

RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CORTE
Y EVACUACION DE LA VIRUTA PARA CENTROS
DE MECANIZADOS CNC.

OSCAR ANDRES ANGULO PINZON
HOLGUER YAHIR RANGEL GOMEZ



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2006

**RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CORTE
Y EVACUACION DE LA VIRUTA PARA CENTROS DE
MECANIZADOS CNC.**

OSCAR ANDRES ANGULO PINZON
HOLGUER YAHIR RANGEL GOMEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2006

RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE
REFRIGERACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CORTE
Y EVACUACION DE LA VIRUTA PARA CENTROS
DE MECANIZADOS CNC.

OSCAR ANDRES ANGULO PINZON
HOLGUER YAHIR RANGEL GOMEZ

Trabajo de grado para optar al titulo de
Ingeniero Mecánico.

Director
ISNARDO GONZALEZ
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA

2006

A mis padres, a mis hermanos,
familiares y amigos que de una
manera u otra me han apoyado
incondicionalmente en la
obtención de esta meta.

Oscar Andrés Angulo Pinzón

A Dios, fortaleza en todo tiempo. A mis padres, forjadores de esta meta. A mis hermanos, por su apoyo en cada instante.

Holguer Yahir Rangel Gómez

AGRADECIMIENTOS

Los autores del presente proyecto agradecen a todos los que colaboraron de una u otra forma con su desarrollo y de manera especial a:

A William Sánchez, Ingeniero Mecánico, Gerente de RACSI TOOLS representante de la Firma ISCAR en Colombia, por su valiosa colaboración y disponibilidad como Codirector del proyecto.

Al Dr. Isnardo González Jaimes, Ingeniero Mecánico, director del proyecto, por servirnos de manera atenta y diligente como guía en el desarrollo del presente trabajo.

A Vita por todo su cariño, apoyo y colaboración.

Compañeros y amigos por su valiosa colaboración.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	18
1. EL MECANIZADO	19
1.1 CONCEPTOS BASICOS DE MECANIZADO	19
1.1.1 Fuerzas de corte en el mecanizado de metales.	20
1.1.2 Avance de la herramienta y profundidad de penetración	22
1.1.3 Velocidad de corte.	23
1.1.4 Potencia necesaria para el corte.	24
1.2 TIPOS DE OPERACIONES DE MECANIZADO	25
1.2.1 Torneado.	25
1.2.2 Fresado.	26
1.2.3 Taladrado.	29
1.3 MODELO ORTOGONAL DE TALADRADO Y CÁLCULO DE FUERZAS	40
1.3.1 Fuerza de desgarro F_d .	40
1.3.2 Fuerza de penetración P.	42
1.3.3 Momento de torsión necesario.	43
1.3.4 Velocidad tangencial de corte.	44
1.3.5 Potencia de corte	44
1.4 EFECTO DE LA VIRUTA EN EL MECANIZADO.	44

Pág.

1.4.1 Formación de la viruta	44
1.4.2 Tipos de viruta.	46
1.5 TEMPERATURA EN EL MECANIZADO	49
1.5.1 Temperatura vs. Vida de la herramienta	53
1.6 FLUIDOS DE CORTE	55
1.6.1 Propiedades de los fluidos de corte.	59
1.6.2 Tipos de fluidos de corte.	62
1.6.3 Elección del fluido de corte	63
1.6.4 Ventajas de los fluidos de corte.	65
1.6.5 Aplicación de los fluidos de corte.	66
1.6.6 Métodos especiales de aplicación.	69
1.6.7 Presión óptima del fluido de corte vs. diámetro y revoluciones para taladrado de altas profundidades	69
1.6.8 Desventajas y cuidados de los fluidos de corte.	70
2. RECONVERSION DE SISTEMA DE REFRIGERACION	75
2.1 PRUEBA DE DUREZA Y METALOGRAFIA EN VIRUTAS	75
2.1.1 Objetivos de la prueba.	76
2.1.2 Procedimiento	76
2.1.3 Resultados	83
2.1.4 Conclusiones	85
2.2 SISTEMA DE REFRIGERACION ACTUAL	86
2.3 PROPUESTA PRELIMINAR	87
	Pág.
2.3.1 Selección del portaherramientas.	87

2.3.2 Selección del sistema de sujeción de la herramienta.	88
2.3.3 Selección del sistema de refrigeración de la herramienta.	89
3. SISTEMA DEFINITIVO PARA LA RECONVERSION TECNOLOGICA DE LA HERRAMIENTA DE CORTE	94
3.1 NORMALIZACION DE LOS PORTAHERRAMIENTAS.	94
3.1.1 Portaherramientas	94
3.1.2 Característica de trabajo de los portaherramientas.	96
3.1.3. Efectos del desequilibrio.	99
3.1.4 Selección del sistema de sujeción de la herramienta.	100
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DEL COJINETE.	103
3.2.1. Tipo de cojinete	103
3.2.2. Diseño Del Cojinete.	104
3.2.3. Calculo del volumen del cojinete.	108
3.3 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN A TRAVÉS DE LA HERRAMIENTA.	108
3.4 PROCESO DE MECANIZADO.	111
3.4.1 Descripción del proceso.	111
3.4.2 Tipo de sujeción	112
3.4.3 Diagrama final.	113
4 PRUEBAS.	114
4.1 REVISION DEL PRODUCTO: METROLOGIA	114
4.2 MONTAJE, ADECUACION Y PUESTA EN MARCHA	116
4.2.1. Montaje del portaherramientas	116

4.2.2 Revisión del cojinete hidráulico.	117
4.3 MECANIZADO Y REVISION DE CUMPLIMIENTO DE FUNCIONALIDAD.	120
4.4 PROCEDIMIENTO DE USO	122
4.5 ANÁLISIS DE TEMPERATURA EN SOFTWARE ANSYS WORKBENCH.	122
5 COCLUSIONES.	132
BIBLIOGRAFIA.	134
ANEXOS.	137

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Fuerzas de Corte.	20
Figura 2. Herramienta de filos de corte lateral	21
Figura 3. Velocidad de corte v	22
Figura 4. Operación de torneado.	26
Figura 5. Fresado Frontal	27
Figura 6. Operación taladrado.	29
Figura 7. Broca helicoidal	30
Figura 8. Comprobación del ángulo de punta	33
Figura 9. Modo de extraer la broca con el expulsor ó sacabrocas	34
Figura 10. Cabezal de taladrar a) de dos mordazas, b) de tres mordazas, c) de cambio rápido.	35
Figura 11. Cabezal de cambio rápido	35
Figura 12. Variación de la Potencia respecto al diámetro.	37
Figura 13. Variación de Fuerza de avance respecto al diámetro	38
Figura 14. Variación del par torsor con respecto al diámetro	38
Figura 15. Variación de la presión del fluido de corte respecto al Diámetro	39
Figura 16. Variación del caudal de fluido de corte con respecto al Diámetro	39
Figura 17. a) Proceso de Corte, b) Ángulos y fuerzas del Taladrado	40
Figura 18. Momento torsor.	43
Figura 19. Modelo Ortogonal de Corte	45
Figura 20. Tipos básicos de viruta (a) viruta discontinua; (b) y	48

	Pág.
(c) viruta continua	
Figura 21. Zonas de fricción y corte.	50
Figura 22. Distribución de la temperatura en la pieza y viruta en el corte de acero.	52
Figura 23. Comparación del calor desprendido en el proceso de Maquinado.	54
Figura 24. Esquema de la refrigeración a través del interior de la Herramienta.	57
Figura 25. Herramientas con refrigeración interna.	58
Figura 26. Efecto refrigerante y lubricante de los diferentes fluidos de mecanizado.	60
Figura 27. Ángulos involucrados en el proceso de corte de metales	61
Figura 28. Aplicación fluido de corte a chorro.	68
Figura 29. Inefectividad de aplicación a chorro del fluido de corte en el taladrado.	68
Figura 30. Grafica n vs d	70
Figura 31. Grafica P vs d	70
Figura 32. Fluido de corte en operación.	72
Figura 33. Obtención viruta acero aleado 4140: a) sin fluido de corte, b) con fluido de corte.	77
Figura 34. Viruta Acero aleado 4140: a) sin fluido de corte, b) con fluido de corte.	77
Figura 35. Obtención viruta acero al carbono 1020: a) sin fluido de corte, b) con fluido de corte.	78
Figura 36. Viruta Acero al carbono 1020: a) sin fluido de corte,	78

	Pág.
b) con fluido de corte	
Figura 37. Probetas de virutas de: a) Acero 4140 sin fluido de corte, b) Acero 4140 con fluido de corte, c) Acero 1020 sin fluido de corte, d) 1020 con fluido de corte.	79
Figura 38. Desbastadoras de superficie.	79
Figura 39. Probetas desbastadas de virutas de: a) Acero 4140 sin fluido de corte, b) Acero 4140 con fluido de corte, c) Acero 1020 sin fluido de corte, d) 1020 con fluido de corte.	80
Figura 40. Microscopio Olympus V- PMTVC 6B02898	80
Figura 41. Metalografía de la viruta del acero aleado 4140 sin fluido de corte en la operación de mecanizado, en aumentos: a) 10X, b) 20X, c) 50X, d) 100X.	81
Figura 42. Metalografía del acero aleado 4140 con fluido de corte en la operación, en aumentos: a) 20X ferrita, b) 50X ferrita, c) 100X ferrita, d) 20X martensita, e) 50X martensita, f) 100X martensita.	81
Figura 43. Metalografía de la viruta del acero al carbono 1020 sin fluido de corte en la operación de mecanizado, en aumentos: a) 10X, b) 20X, c) 50X, d) 100X.	82
Figura 44. Metalografía de la viruta del acero al carbono 1020 con fluido de corte en la operación de mecanizado, en aumentos: a) 10X, b) 20X, c) 50X, d) 100X.	82
Figura 45. Microdurometro de pequeñas cargas Leitz. a) Vista general, b) Ubicación probeta, c) Aplicación de la carga.	83
Figura 46. Huella en forma de diamante.	83
Figura 47. Grafica prueba de dureza viruta acero aleado 4140, en condiciones de mecanizado sin y con fluido de corte.	84

Figura 48. Grafica prueba de dureza viruta acero al carbono 1020 en condiciones de mecanizado sin y con fluido de corte.	85
Figura 49. Sistema convencional de refrigeración a chorro.	87
Figura 50. ITS Bore acoplamiento MB	89
Figura 51. Portaherramientas propuesta definitiva.	90
Figura 52. Ensamble Portaherramientas - sistema de refrigeración.	91
Figura 53. Cuerpo exterior del portaherramientas y ducto de alimentación	92
Figura 54. Sistema preliminar de refrigeración a través de la herramienta.	93
Figura 55. Portaherramientas BT 40 y DIN 69871	95
Figura 56. Norma para portaherramientas BT	97
Figura 57. Comparación entre vástagos HSK y BT	100
Figura 58. Klikfit	101
Figura 59. Portaherramientas final	102
Figura 60. Cojinete hidráulico.	103
Figura 61. Sistema de refrigeración a través de la herramienta versión 1	119
Figura 62. Manguera Loc -line	110
Figura 63. Torno de control numérico utilizado en el mecanizado.	112
Figura 64. Medidas de diseño cono portaherramientas.	115
Figura 65. Medidas de Aro interno.	115
Figura 66. Montaje del cono en el husillo.	116
Figura 67. Broca con agujeros para refrigeración interna	117
Figura 68. Inicio de la bomba, paso del fluido a través de la herramienta.	118
Figura 69. Dispositivo a 1000 r.p.m.	119
Figura 70. Arandela de retención.	120
Figura 71. Mecanizado con dispositivo	121

Figura 72. Caso 1. a) Modelo. b) Mesh. c) Temperatura en la broca. d)temperatura localizada. e) resultado final.	124
Figura 73. Caso 2. a) Modelo. b) Mesh. c) Temperatura en la broca. d)temperatura localizada. e) resultado final.	127
Figura 74. Caso 3. a) Modelo. b) Mesh. c) Temperatura en la broca. d) Temperatura localizada. e) resultado final.	129

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Ángulos recomendados en trabajos de taladrado para algunos materiales.	32
Tabla 2. Valores de la resistencia al desgarro de materiales σ_s	42
Tabla 3. Valores ponderados de Dureza HV y HRc	84
Tabla 4. Precisión en portaherramientas	98
Tabla 5. Rugosidades en mecanizado.	107
Tabla 6. Caracterización del sistema de refrigeración	110
Tabla 7. Metrología de prueba.	114
Tabla 8. Modelo y enmallado.	123
Tabla 9. Carga termica.	124
Tabla 10. Resultados de la temperatura.	124
Tabla 11. Modelo	126
Tabla 12. Carga termica.	126
Tabla 13. Reultados de la temperatura.	126
Tabla 14. Modelo.	128
Tabla 15. Carga térmica.	129
Tabla 16. Resultados de la temperatura.	129
Tabla 17 . Avances para brocas de acero rápido según el diámetro.	138
Tabla 18 . Propiedades mecánicas del Acero 1020.	140
Tabla 19 . Tratamientos térmicos del Acero 1020.	140
Tabla 20 . Propiedades mecánicas del Acero 4140.	142
Tabla 21 . Tratamientos térmicos del Acero 4140.	142
Tabla 22 . Propiedades mecánicas del Acero 4340.	145
Tabla 23 . Tratamientos térmicos del Acero 4140.	145
Tabla 24. Propiedades de duraluminio.	146

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo a. Caso práctico modelo ortogonal de corte	138
Anexo b. Propiedades del acero 1020	139
Anexo c. Propiedades del acero 4140	141
Anexo d. Mangueras loc- line	143
Anexo e. Propiedades del acero aisi sae 4340	144
Anexo f . Propiedades del duraluminio	146
Anexo g. Propiedades del teflon ptfe	148
Anexo h. Planos definitivos de reconversión tecnológica del sistema de refrigeración de la herramienta de corte y evacuacion de la viruta para centros de mecanizados CNC.	150

RESUMEN

TITULO:

RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CORTE Y EVACUACION DE LA VIRUTA PARA CENTROS DE MECANIZADOS CNC.*

AUTORES:

Oscar Andrés Angulo Pinzón
Holguer Yahir Rangel Gómez**

PALABRAS CLAVES

Sistema de Refrigeración, Refrigeración interna, Evacuación de Viruta, Maquina herramienta, Centro de Mecanizado, Mecanizado.

DESCRIPCIÓN:

El objetivo de este proyecto de grado es el diseño de un dispositivo para adaptar a los centros de mecanizado CNC un sistema de refrigeración interna que es transmitido a la herramienta de corte dispuesta con este mismo tipo de refrigeración, este dispositivo debe lograr evacuar de una mejor forma la viruta obtenida en el corte.

Los dispositivos que se encuentran en el mercado son muy costosos y no tiene la funcionalidad de alojarse en el magazín de los centros de mecanizado que hoy por hoy están aumentando en la industria de nuestro país, en operaciones de mecanizado en serie. Como respuesta a la necesidad de un dispositivo más económico, funcional y de evacuar eficientemente virutas en los procesos de mecanizado, se realizo el diseño del mencionado dispositivo con un cono BT40 (cono más usado en la industria metalmecánica), con la adaptación del sistema de refrigeración interna, a un bajo costo.

La viruta en cualquier operación de mecanizado, es un factor influyente en la obtención de la pieza final y por ende es muy importante su evacuación al encontrarse muchos problemas en el acabado de las piezas, al cambiar su dureza superficial y las transformaciones que sufre el momento del corte.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Isnardo Gonzalez Jaimes.

SUMMARY

TITLE

TECHNOLOGICAL RECONVERSION OF THE REFRIGERATION SYSTEM OF THE CUT TOOL AND REMOVAL OF SHAVINGS FOR CNC MACHINING CENTRES.*

WRITERS

Oscar Andrés Angulo Pinzón
Holguer Yahir Rangel Gómez**

KEY WORDS

Refrigeration system, Internal refrigeration, Shaving's removal, Tool machine, Machining centers, Mechanisation.

DESCRIPTION:

The aim of this degree Project is the design of a device to adapt into CNC machining centres an internal refrigeration system which is transmitted to cut tools with the same sort of refrigeration, this device should efficiently remove the shaving's from the cutting process.

The available devices on the market now that perform this task are expensive and do not have the functionality to place the various cutting tool in the magazine in machining centres that are increasing every day in our industry in operations of mechanisation in series. As a result of the necessity of a cheaper device, functional and efficient at removing shavings from the mechanisation process, it is designed with a BT40 cone (The most common cone in the metal mechanic industry), with the adaptation of the internal refrigeration at a low cost.

The shavings from any mechanisation operation are an influential factor in getting the final piece and in fact successful removal is very important because it has been found to cause too many problems on finishing the pieces by changing their superficial hardness and transformations at the moment of cutting.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Ing. Isnardo Gonzalez Jaimes.

INTRODUCCION

El presente trabajo de grado es el resultado de una investigación realizada para optar al título de Ingeniería mecánica. Presenta una selección, diseño y construcción de un prototipo de un dispositivo de evacuación de viruta y refrigeración a través de la herramienta para operaciones de taladrado y fresado y que es ajustable a los diferentes centros de mecanizado comerciales y existentes en el mercado y asequible al sector industrial del país.

Esta idea nace con el deseo de satisfacer una de tantas necesidades que tiene la industria del mecanizado colombiana, la cual se ve limitada tecnológicamente y económicamente a adquirir ciertos elementos que son de alta relevancia en el mecanizado mundial.

Con el apoyo de ISCAR COLOMBIA y su empresa representante RACSI TOOLS, se pudo llevar a cabo este valioso elemento mecánico que lleva a disminuir tiempos y mejorar la calidad del mecanizado, así como aumentar la vida de la herramienta.

Este trabajo está basado en el estudio del comportamiento de la viruta, se realizaron laboratorios de dureza de virutas que informaran el comportamiento de la viruta en el mecanizado, con ello es posible establecer la necesidad de evacuarla de manera más rápida y el calor generado.

1. EL MECANIZADO

1.1 CONCEPTOS BASICOS DE MECANIZADO

Mediante la aplicación de potencias considerables, las máquinas herramientas realizan el trabajo específico de modificación de la forma de los cuerpos o piezas sobre las cuales actúan, mediante el corte o arranque del material de las mismas. Utilizan elementos especiales de gran resistencia llamados herramientas de corte, las cuales poseen filos cortantes en algunos de sus extremos, con los que se introducen en el material a cortar, arrancando trozos del mismo en formas de hojas, rizo, granillo, aguja, etc., el cual recibe el nombre de viruta. Para realizar la operación, se requiere movimiento relativo entre la herramienta y el material de trabajo. Este movimiento relativo se logra en la mayoría de las operaciones de maquinado por medio de un movimiento primario, llamado la velocidad, y un movimiento secundario, denominado el avance. La forma de la herramienta y su penetración en la superficie de trabajo, combinada con estos movimientos, produce la forma deseada de la superficie resultante del trabajo.

Según la cantidad de filos cortantes que posean, las herramientas pueden clasificarse como:

- a) Herramientas de corte de un solo ángulo de filo.
- b) Herramientas de corte con ángulos de filos múltiples.

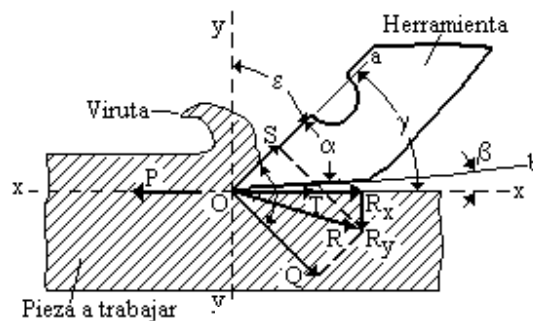
Son varios los factores de los cuales depende el comportamiento de las herramientas de corte, como puede ser el tipo de filo de corte, ángulo de

corte, velocidad de movimiento de la pieza o de la herramienta, enfriamiento, etc. Pero en forma fundamental depende del material del que está construida la herramienta de corte.

1.1.1 Fuerzas de corte en el mecanizado de metales. La herramienta posee en el extremo activo una uña o borde cortante frontal, estando por el otro extremo firmemente sujeta para permitir el trabajo.

Si se observa la figura 1, la herramienta incide como una cuña sobre el material de la pieza sobre la cual trabaja, arrancando parte de él en forma de viruta.

Figura 1. Fuerzas de Corte.



Fuente : autores.

La herramienta consta de una cara anterior Oa y una cara posterior Ob , las cuales determinan el ángulo de filo α de la cuña de corte. La herramienta incide sobre el material formando con su cara posterior Ob y la línea de corte xx de la pieza el ángulo de incidencia β , el cual sumado al ángulo de filo α , forman el ángulo de corte γ . Entre la cara anterior Oa y la perpendicular yy a la línea de corte xx se forma el ángulo de despojo ϵ .

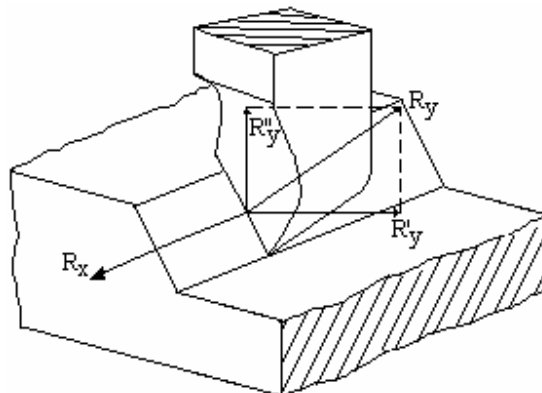
Al incidir la cuña formada por el filo de la herramienta, el material de la pieza trabajada es cortado, de tal forma que en el arranque de la viruta se producen sobre la herramienta las siguientes fuerzas:

- Fuerza de corte T , el cual utiliza la mayor parte de la potencia de la máquina herramienta. Es realizado en la dirección de la trayectoria del movimiento, siendo directamente proporcional a la resistencia a la rotura del material de la pieza que se trabaja, a la longitud de la arista de corte y al espesor de la viruta arrancada.
- Fuerza de deformación Q , que actúa en forma perpendicular a la cara anterior Oa de la herramienta, dependiendo de la elasticidad del material a arrancar, siendo directamente proporcional a la longitud del filo cortante y al espesor de la viruta e inversamente proporcional al ángulo ϵ de despojo.
- Fuerza de roce o resbalamiento S , que se produce por el rozamiento de la viruta sobre la cara anterior Oa de la herramienta, aumentando al aumentar Q y disminuyendo con la disminución del ángulo de incidencia ϵ .

Q y S son componentes de fuerza R , la cual a su vez puede descomponerse en la fuerza vertical R_y y en la fuerza horizontal R_x , perpendicular y paralela respectivamente a la trayectoria de corte. La fuerza principal de corte estará dada por la suma de las fuerzas:

$$P = T + R_x \quad (\text{Ec. 1})$$

Figura 2. Herramienta de filos de corte lateral

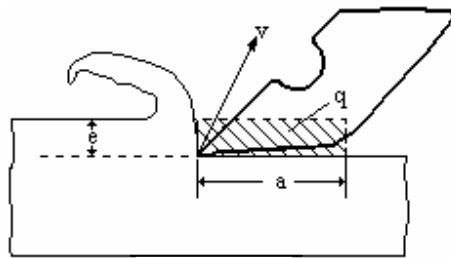


Fuente: autores.

La fuerza R_y es resistida por la mordaza de la máquina que sujeta a la herramienta. Para el caso de herramientas de filos de corte lateral, según se muestra en la figura 2, el movimiento principal de corte es también de traslación rectilínea, pero las fuerzas actúan sobre el plano oblicuo de corte. La fuerza R_y es normal al plano oblicuo de corte y tiene dos componentes, una horizontal R'_y y una vertical R''_y las que son contrarrestadas por los órganos de sujeción de la máquina. La fuerza principal de corte también está dada por la ecuación 1.

1.1.2 Avance de la herramienta y profundidad de penetración. Al ser arrancada la viruta metálica por la herramienta, ésta pasa sobre la cara anterior de la misma con una velocidad de corte o tangencial v según se observa en la figura 3.

Figura 3 Velocidad de corte v



Fuente: autores.

Si la herramienta avanza una cantidad a con una profundidad de penetración e , llamadas avance de la herramienta y profundidad de corte o grueso de pasada respectivamente, la sección q de viruta arrancada será:

$$q = e.a \quad (\text{Ec. 2})$$

Si a y e están en milímetros (mm), resulta q en milímetro cuadrado (mm^2).

1.1.3 Velocidad de corte. Es la velocidad del movimiento que provoca el desprendimiento de la viruta. Si el movimiento es rectilíneo, la velocidad de corte coincide con la velocidad de traslación de la herramienta, caso de la limadora, o de la pieza en el caso de la cepilladora. Si el movimiento es giratorio, la velocidad de corte coincide con la velocidad periférica de la pieza, como en el torneado, o de la herramienta, como en el fresado.

- **Cálculo de la velocidad de corte.** Para el movimiento rectilíneo, la velocidad v de corte se calcula teniendo en cuenta la longitud L recorrida y el tiempo t empleado, siendo:

$$v = \frac{L}{t} \quad (\text{Ec. 3})$$

Para L en metros (m) y t en minutos (min), v resulta en m/min.

Para calcular la velocidad de corte v en el movimiento giratorio, se tiene en cuenta el número n de vueltas por minuto que da la pieza o herramienta y el diámetro medio d_m de la pieza o herramienta considerada, o sea que la velocidad tangencial v estará dada por la expresión:

$$v = \pi d_m n \quad (\text{Ec. 4})$$

Si está d_m en mm resulta v en mm/min. Para obtener esta velocidad en m/min se divide por 1000 m/mm:

$$v = \frac{\pi d_m n}{1000} \frac{m}{\text{min}} \quad (\text{Ec. 5})$$

En la práctica se considera el diámetro medio coincidente con el diámetro exterior d , por lo que la (5.5) se puede escribir:

$$v = \frac{\pi d n}{1000} \frac{m}{\text{min}} \quad (\text{Ec. 6})$$

La velocidad de corte para los distintos materiales varía según distintos factores, que según Taylor, los más importantes serían:

- Dureza del material que hay que trabajar, el cual es el factor predominante. Por ejemplo, para metal duro es $v = 1$ m/min y para metal blando $v = 100$ m/min.
- Calidad del material de la herramienta, dependiendo de la duración de su filo por el desgaste que experimenta el mismo. Cuanto menos desgaste presentan, mayor puede ser la velocidad de corte.
- Sección de la viruta, cuando aumenta ésta, disminuye la velocidad de corte debido a la mayor resistencia que opone. Para trabajos de desbaste, la velocidad de corte es mínima siendo máxima la sección de la viruta; para trabajos de acabado, la velocidad es máxima, siendo mínima la sección de la viruta.
- Enfriamiento de la herramienta, ya que al refrigerarla se disminuye el desgaste, pudiendo aumentar la velocidad de corte.
- Duración de la herramienta, ya que al aumentar la velocidad de corte disminuye la duración del filo. Se debe lograr la velocidad de máximo rendimiento teniendo en cuenta la cantidad de afiladas de la herramienta con la producción del trabajo que realiza. Según Taylor, obtuvo experimentalmente para la velocidad de corte y la duración del filo de la herramienta, la relación:

$$v \cdot t^k = \text{constante} \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde k es un coeficiente de vida hallado experimentalmente, siendo para los aceros corrientes al carbono $k = 1/8$ y para fundición gris corriente $k = 1/12$.

1.1.4 Potencia necesaria para el corte. Si la resistencia específica de corte o presión específica de corte del material es k_s , la fuerza necesaria para realizar el corte de la viruta de sección q es:

$$P = q \cdot k_s = e \cdot a \cdot k_s \quad (\text{Ec. 8})$$

Estando P en N si están k_s en N/m^2 y q en m^2 , o P en kg si están k_s en kg/mm^2 y q en mm^2 . La presión específica k_s se toma por lo general de 3 a 5 veces mayor que la resistencia unitaria a la rotura por tracción k_z del material que se trabaja, debido a los distintos factores que intervienen en el corte del material. Por lo general se encuentra tabulado o graficado según datos prácticos. La potencia N necesaria para el corte, para la fuerza P y la velocidad v , está dada por la expresión:

$$N = P \cdot v = q \cdot k_s \cdot v = e \cdot a \cdot k_s \cdot v \quad (\text{Ec. 9})$$

Estando N en W si v está en m/s , o en kgm/min si v está en m/min . Para obtenerla en CV se aplica:

$$N = \frac{P \cdot v}{75.60} = \frac{e \cdot a \cdot k_s \cdot v}{4500} \quad (\text{Ec. 10})$$

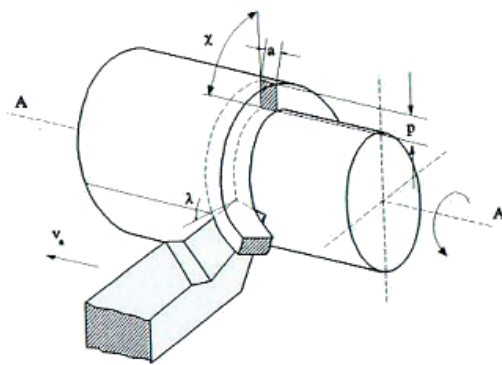
1.2 TIPOS DE OPERACIONES DE MECANIZADO

Hay muchas clases de operaciones de maquinado, cada una de las cuales es capaz de generar una cierta geometría y textura superficial. Se definirán los tres tipos más comunes: Torneado, fresado y taladrado.

1.2.1 Torneado. En el torneado se usa una herramienta de corte con un borde cortante simple destinado a remover material de una pieza de trabajo giratoria para dar forma a un cilindro (Figura 4).

El movimiento de velocidad del torneado lo proporciona la parte de trabajo giratoria y el movimiento de avance lo realiza la herramienta de corte, moviéndose lentamente en una dirección paralela al eje de rotación de la pieza de trabajo.

Figura 4. Operación de torneado.



Fuente: autores.

1.2.2 Fresado. En el fresado, una herramienta rotatoria con múltiples filos cortantes llamada fresa se mueve lentamente sobre el material para generar un plano o superficie recta. La dirección del movimiento de avance es perpendicular al eje de rotación. El movimiento velocidad lo proporciona la fresa rotatoria.

Las virutas son arrancadas en el fresado por medio de la rotación de la fresa cuyos filos están dispuestos en forma circunferencial. Para poderse introducir en el material, los filos de la fresa tiene forma de cuña (compárese con el útil de torno). El movimiento de rotación de la fresa se llama movimiento principal o de corte. Para conseguir el espesor de viruta, la pieza ejecuta un movimiento de avance lineal. Los movimientos principal y de

avance son originados por la máquina fresadora. Durante el fresado cada filo no está nada más que durante una parte de la revolución de la fresa, dedicado al arranque de viruta. El resto del tiempo el diente gira en vacío y puede refrigerarse. El trabajo del útil no es, por tanto, tan fuerte como en el caso del útil del torno cuyo filo está continuamente cortando.

- Fresado plano y fresado frontal

En el fresado plano o periférico el eje de la fresa se halla dispuesto paralelamente al plano de trabajo en la pieza. La fresa es de forma cilíndrica y arranca las virutas con los filos de la periferia. Las virutas producidas tienen forma de coma.

En el caso de fresado frontal el eje de la fresa es normal a la superficie de trabajo (Figura 5). La fresa, corta no solamente con los dientes de su periferia, sino también con los frontales. Las virutas son de espesor uniforme.

Figura 5. Fresado Frontal



Fuente: autores.

- Parangón entre los fresados plano y frontal. En el fresado plano la máquina fresadora experimenta una carga irregular en virtud de la forma de coma de las virutas. Es difícil evitar un ligero golpe en la periferia, cuya

consecuencia es una señal ondulada que se forma a cada revolución de la fresa. En el fresado frontal cada diente arranca viruta de espesor uniforme. La carga de la fresadora es por esta razón uniforme. El rendimiento de viruta es, por lo general, 15 a 20 % más alto que en el fresado plano. El pequeño golpe que pueda producirse en la periferia de la fresa frontal no tiene influencia alguna sobre la lisura de la superficie y las superficies obtenidas presentan por eso una superficie más lisa. Cuando ello sea posible deben mecanizarse las superficies planas mediante fresado frontal.

- Fresado en contra dirección y Fresado Paralelo. El movimiento de avance en el fresado plano tiene lugar generalmente contra el sentido de giro de la fresa, pero puede verificarse también en el mismo sentido que éste. Se distinguen, de acuerdo con esto, el fresado en contra dirección y el fresado en dirección paralela.

El fresado en contra dirección es el procedimiento corrientemente empleado en el fresado plano. La viruta se arranca aquí primeramente por el sitio más delgado. Antes de que los dientes de la fresa penetren en el material, resbalan sobre la superficie que se trabaja. Con esto se produce un fuerte rozamiento. El esfuerzo de corte hace levantar la pieza.

En el fresado paralelo los filos de la fresa arrancan la viruta por su sitio más grueso. Como la pieza es fuertemente presionada contra su apoyo, se presta el procedimiento para el fresado de piezas delgadas. Se emplean también grandes profundidades de corte. La máquina debe, sin embargo, ser apropiada para este modo de trabajar. Ante todo la mesa no debe tener juego alguno, pues en caso contrario la fresa empujará a la pieza, pudiéndose estropear una u otra o ambas a la vez.

- El útil de fresado. Las fresas pueden hacerse o de acero rápido o de acero

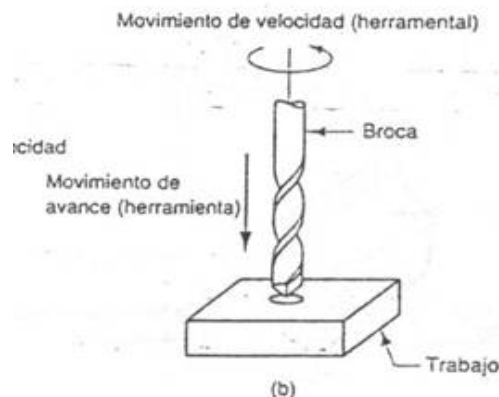
de herramientas, sin alear. Frecuentemente los filos se disponen con una pieza de metal duro.

Las fresas de acero de herramientas sin alear no pueden trabajar sino con reducidas velocidades de corte. Con las fresas de acero rápido (HSS) pueden emplearse velocidades de corte mayores. Como el acero rápido es costoso, las fresas grandes se hacen a base de un cuerpo de acero de construcción en que se insertan filos de acero rápido. Las fresas con filos de metal duro se prestan para trabajar materiales que ejerzan una fuerte acción de desgaste sobre los filos.

La distancia o paso entre los dientes queda también determinada por el material a trabajar. Al fresar materiales blandos se pueden producir, por ejemplo, grandes cantidades de viruta que pueden ser recibidas y separadas gracias a los grandes huecos existentes entre diente y diente.

1.2.3 Taladrado. El taladrado se usa para crear un agujero redondo. Esto se realiza generalmente con una herramienta rotatoria que tiene dos filos cortantes. La herramienta avanza en una dirección paralela a su eje de rotación dentro de la parte de trabajo para formar el agujero redondo (figura 6).

Figura 6. Operación taladrado.

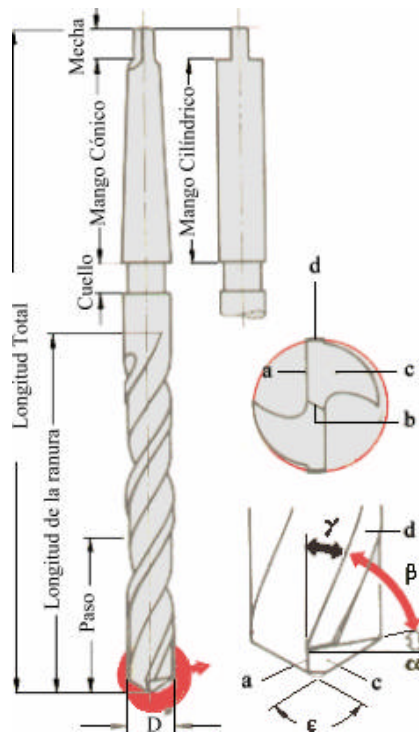


Fuente: autores.

Las brocas se fabrican de acero de herramientas aleadas o sin alear. En algunos casos se utilizan brocas con cuchillas de metal duro, como, por ejemplo, para trabajar materiales especialmente duros, que por su acción esmerilante produzcan fuerte desgaste en las brocas (goma dura, papel duro, piedra, vidrio, y por supuesto aceros).

Los útiles de taladrar que más frecuentemente se utilizan son las brocas espirales, empleándose también otros útiles, como, por ejemplo, la broca de centrar, la de taladrar agujeros profundos, la hueca, etc.

Figura 7. Broca helicoidal. α Ángulo de destalonado; β ángulo de corte o ángulo de labio; γ ángulo de ataque o de desprendimiento de viruta (igual aproximadamente al ángulo de hélice); ϵ ángulo de punta; a) filo principal o labio; b) filo transversal; c) superficie de incidencia, o de afilado, del labio; d) bisel o faja de guía.



Fuente: autores.

La broca espiral, o helicoidal (Figura 7), obtiene su forma básica por el concurso de dos ranuras helicoidales. Mediante el afilado de la punta cónica se constituyen dos filos principales o labios, que dan lugar a desprendimiento de la viruta. La inclinación de las ranuras helicoidales corresponde al ángulo de desprendimiento de viruta. Con objeto de que los filos principales puedan introducirse en el material se afila, destalona o despulla el labio en el valor de lo que se llama ángulo de destalonado o afilado del labio en la periferia. Además de los filos principales lleva la punta el filo transversal. Mediante los biseles o fajas de guía se disminuye el rozamiento de la broca en el interior del taladro. Para evitar que se deterioren las fajas de guía cuando ejecutan taladros profundos se disminuye el diámetro de la broca hacia el mango en 0,1 mm por 100 mm de longitud. El mango utilizado para sujeción del útil es cilíndrico para brocas hasta los 10 mm de diámetro de este y cónico en las brocas mayores.

Al elegir una broca para un determinado trabajo de taladrado hay que tener en cuenta la magnitud de los huecos a efectuar, el material de la pieza, el afilado de la broca.

La magnitud de taladros a efectuar nos indicará el diámetro de la broca. Toda broca da lugar a un agujero de diámetro un poco mayor al de aquélla, llamándose juego a la diferencia de ambos.

El material de la pieza a taladrar determina el ángulo de desprendimiento de viruta y el de la punta. El ángulo de desprendimiento viene constituido por el de inclinación de las ranuras. Los materiales duros exigen, por ejemplo, un ángulo de desprendimiento pequeño y los blandos uno grande, ver tabla 1.

El afilado de La broca influye sobre el rendimiento del taladrado y además sobre el tamaño y la calidad de la superficie del taladro obtenido. Los filos principales deben estar bien afilados y ser, por lo general, rectos. Cuando el ángulo en la punta no tiene la magnitud correcta, los filos resultan o bien abombados o bien cóncavos.

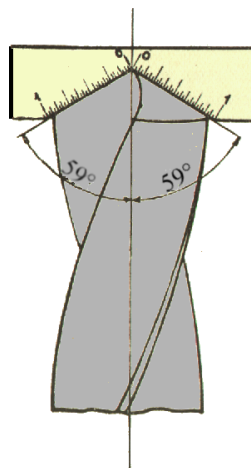
Tabla 1. Ángulos recomendados en trabajos de taladrado para algunos materiales.

MATERIAL	ANGULO DE PUNTA ϵ	ANGULO DE DESPRENDIMIENTO DE LA VIRUTA – ANGULO DE INCLINACION DE LA HELICE
Acero, fundición gris, aleaciones de aluminio templadas	118° ... 124°	20° ... 30°
Latón, bronce rojo,	130°	10° ... 15°

bronce		
Aleaciones de aluminio cobre, tumbaga	140° 120° ... 130	35° ... 40°
Aleaciones de Magnesio Tejido duro (Novotex)	90° 80° ... 110°	35° ... 40°
Goma dura	30°	10° ... 15
Material prensado: sin formar capas	50° ... 80°	10° ... 15°
Papel duro, bakelita, mármol, pizarra, carbón	80° ... 90°	10° ... 15°

Aparte de esto los filos principales tienen que ser de la misma longitud y guardar una posición simétrica respecto al eje de la broca. Para comprobación del ángulo en la punta se utiliza una galga o calibre de afilados (Figura 8).

Figura 8. Comprobación del ángulo de punta

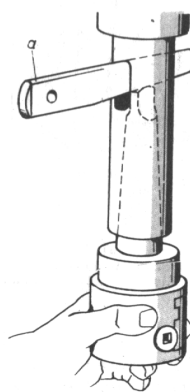


Fuente: exposición diseño herramientas Ing. Mecánica, UIS.

Los ángulos de destalonado, o de incidencia, tienen una magnitud adecuada, cuando los filos principales forman con el transversal un ángulo de 55° . El filo transversal no levanta viruta alguna, sino que va apretando el material del centro del agujero por delante del filo principal. Para esto es necesario una elevada fuerza de avance. Con objeto de disminuir esta última, en las brocas grandes se acorta el ángulo transversal mediante amolado anterior despullado. Este despullado no es necesario cuando en agujeros grandes ha habido un taladrado previo.

- Sujeción de la broca. Al sujetar la broca, lo más importante es conseguir que esta gire "redondo", o sea con céntricamente, pues en caso contrario el útil se quiebra con facilidad. Las brocas provistas de mango cónico se introducen en la cavidad cónica del husillo porta útil (Figura 9).

Figura 9. Modo de extraer la broca con el expulsor ó sacabrocas



Fuente: exposición diseño herramientas Ing. Mecánica, UIS.

La mecha se aloja en el agujero largo del husillo. Las diferencias de tamaño entre el mango cónico de la broca y la citada cavidad cónica del husillo porta útil se compensan mediante casquillos cónicos normalizados.

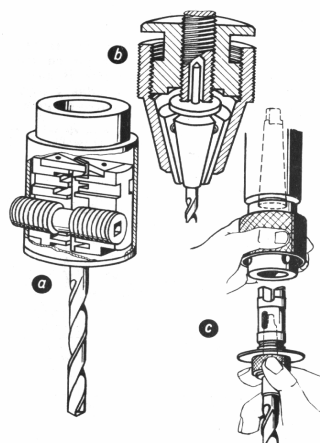
Durante el trabajo, la broca es arrastrada en virtud del rozamiento con la superficie cónica interior del casquillo o del husillo en que se ha introducido a presión. Para esto no resulta posible nada más que cuando el cono exterior y el interior están exentos de deterioros o de materias extrañas.

La existencia de cuerpos extraños entre las superficies cónicas tiene como consecuencia el giro excéntrico de la broca, por lo cual antes de introducir la broca en el alojamiento correspondiente han de ser limpiados cuidadosamente ambos conos.

La mecha del mango de la broca no tiene por objeto actuar como elemento de arrastre, sino que se utiliza para soltar la broca por medio de un expulsor o sacabrocas (Figura 9). Antes de extraer la broca, dispóngase debajo de ella un trozo de madera con objeto de que al caer no se deteriore su punta.

Para sujetar brocas provistas de mango cilíndrico se utilizan cabezales de taladrar o porta brocas con dos o tres mordazas de sujeción (Figuras 10 b y 10 c).

Figura 10. Cabezal de taladrar a) de dos mordazas, b) de tres mordazas, c) de cambio rápido.

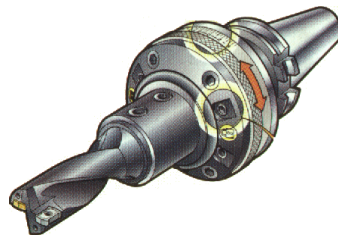


Fuente: exposición diseño herramientas Ing. Mecánica, UIS.

Hay que poner atención en que la broca pegue en el fondo del cabezal con objeto de que no resbale hacia adentro durante el trabajo. Los cabezales tienen frecuentemente, en el fondo, dos superficies a las cuales se adaptan las del extremo del mango de la broca, consiguiéndose de este modo un más seguro arrastre de esta última.

Los cabezales de cambio rápido (figura 11) permiten la sujeción y la extracción de los útiles de taladrar sin necesidad de tener que parar la máquina. Se utilizan especialmente en los trabajos en serie.

Figura 11. Cabezal de cambio rápido



Fuente: exposición diseño herramientas Ing. Mecánica, UIS.

- Taladrado de altas profundidades. Debido a las condiciones de trabajo, se crean grandes esfuerzos en la pieza por lo cual, no es recomendable utilizar broca enteriza, sino plaquitas intercambiables las cuales son apoyadas a un dispositivo formando así la cabeza de la broca.

Las operaciones de taladrado profundo se realizan normalmente en máquinas convencionales o especialmente preparadas, las cuales requieren portaherramientas específicos para su utilización, con aditamentos especiales debido a las exigencias en cuanto a suministro de refrigerante a alta presión para permitir una buena evacuación de viruta, sujeción de la pieza, control de vibraciones, etc.

El taladrado profundo se realiza con aceites de corte sintético. Debido a las estrictas normativas ecológicas, las líneas de fabricación tienden a reducir el empleo de los fluidos de corte y si es posible a eliminarlos.

La aplicación del taladrado profundo en centros de mecanizado flexibles permite integrar esta operación en las grandes líneas de mecanizado, reduciendo la inversión en maquinaria especial y adicionalmente aprovechando mejor tanto el suelo del taller como los flujos de producción. Para ello se han realizado ensayos con brocas de metal duro enterizas en operaciones desde 5xD hasta 15xD mecanizando fundición gris y acero de baja aleación, modificando aspectos geométricos y recubrimientos. El efecto del fluido de corte se ha estudiado con distintos tipos de lubricantes y sobre todo variando los parámetros de ajuste (tanto caudal de lubricante como presión de aire) con técnicas y equipos avanzados de mínima lubricación (MQL o Minimum Quantity Lubricant). Los ensayos han permitido comprobar la viabilidad del taladrado con MQL y conocer los puntos críticos y limitaciones de esta operación en los centros de mecanizado.

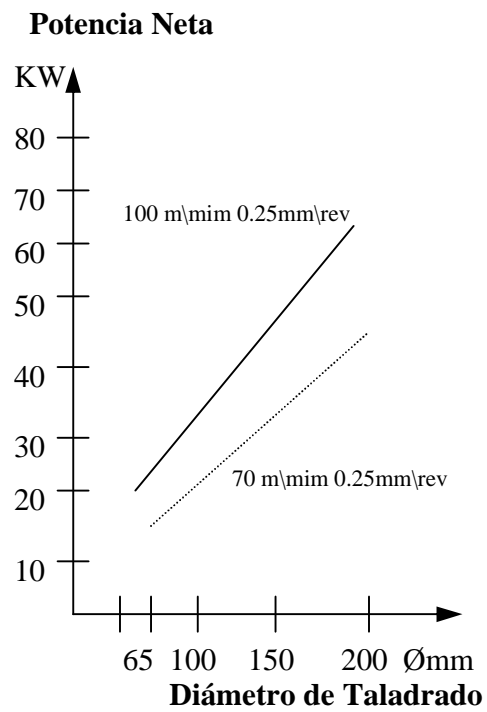
En los últimos años se han venido desarrollando, tecnologías tanto en máquinas – herramienta, como en las herramientas, elementos de sujeción, lubricación y portaherramientas, sellos y es ese nuestro principal objetivo hacer una integración de estos elementos para brindar parte de lo que la tecnología nos ofrece y que debido a los costos elevados no utilizamos.

- Influencia de la magnitud del taladro sobre parámetros de mecanizado.

A continuación, se ilustra:

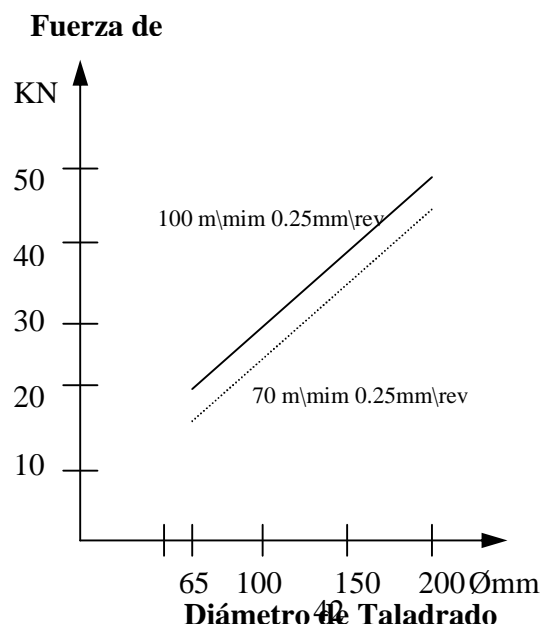
- a. Variación de la potencia respecto al diámetro
- b. Variación de fuerza de avance respecto al diámetro.

Figura 12. Variación de la Potencia respecto al diámetro.



Fuente: Catalogo Sandvik.

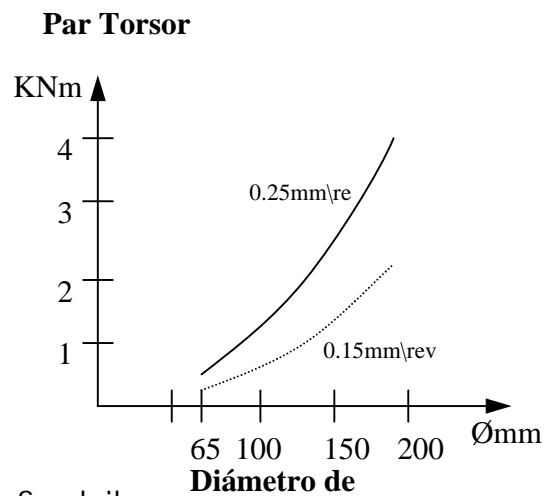
Figura 13. Variación de Fuerza de avance respecto al diámetro



Fuente: Catalogo Sandvik.

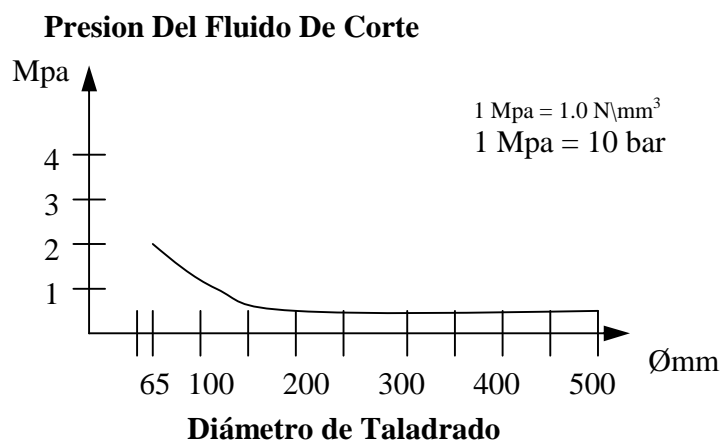
- Par torsor y presión del fluido de corte con respecto al diámetro.

Figura 14. Variación del par torsor con respecto al diámetro



Fuente: Catalogo Sandvik.

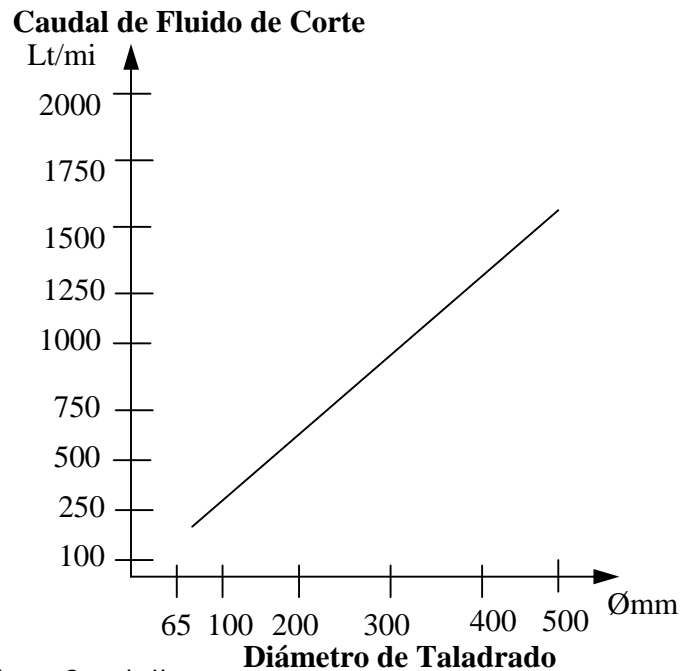
Figura 15. Variación de la presión del fluido de corte respecto al diámetro



Fuente: Catalogo Sandvik.

- Variación del caudal del fluido con respecto al diámetro.

Figura 16. Variación del caudal de fluido de corte con respecto al diámetro



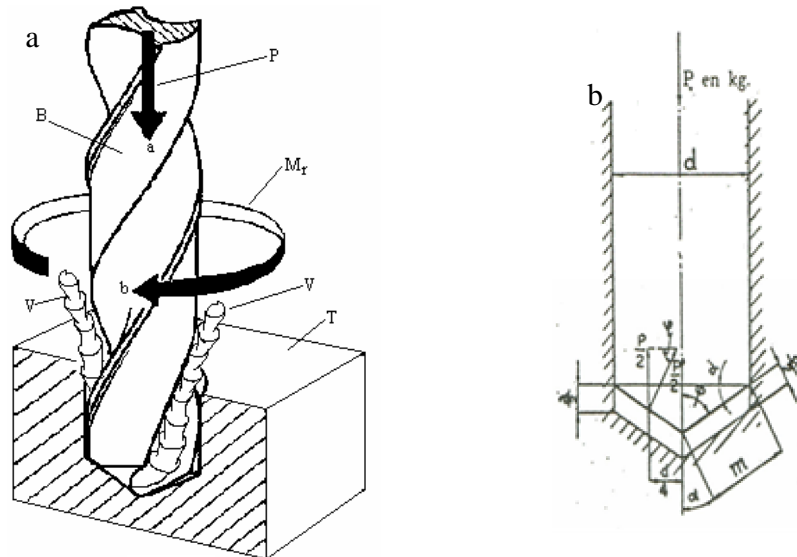
Fuente: Catalogo Sandvik.

Además del torneado, el taladrado, y el fresado, existen otras operaciones convencionales que incluyen brochado, cepillado, escariado, y aserrado. Otro grupo de procesos frecuentemente incluidos en la categoría del maquinado, son aquellos que utilizan abrasivos para cortar materiales. Estos procesos incluyen esmerilado y operaciones similares que se usan comúnmente para lograr acabados superficiales superiores de la parte de trabajo.

1.3 MODELO ORTOGONAL DE TALADRADO Y CÁLCULO DE FUERZAS

El cálculo de fuerzas que intervienen en el taladrado se hace basándose en un modelo ortogonal de taladrado ya que esta operación es la más crítica del mecanizado de materiales y en esta se basa el diseño. (Ver figura 17)

Figura 17 a) Proceso de Corte, b) Ángulos y fuerzas del Taladrado



Fuente: exposición diseño herramientas Ing. Mecánica, UIS.

1.3.1 Fuerza de desgarro F_d . Según se muestra en la figura 17, la broca B para arrancar las virutas V del material T necesita dos movimientos simultáneos, uno el movimiento de avance o penetración a y el otro el movimiento de rotación b, que es el que corresponde al movimiento principal de corte, siendo P la fuerza de penetración y M_r el momento de rotación. Por lo general, como en el caso de la figura 17a), la herramienta presenta dos bordes cortantes. Si se analiza la figura 17b), es a el avance por vuelta de la herramienta, la cual tiene un diámetro d, cada uno de los bordes cortantes cortará una viruta de sección, dada por la expresión:

$$q_1 = m * \frac{a_1}{2} \quad (\text{Ec. 11});$$

en donde

$$\frac{a_1}{2} = \frac{a}{2} \cos(\alpha) \quad (\text{Ec. 12});$$

luego
$$q_1 = m * \frac{a}{2} * \text{Cos}(\alpha) \quad (\text{Ec. } 13);$$

pero
$$m * \text{Cos}(\alpha) = \frac{d}{2} \quad (\text{Ec. } 14);$$

entonces
$$q_1 = \frac{d}{2} * \frac{a}{2} \quad (\text{Ec. } 15)$$

para un solo filo,

Siendo:

d = el diámetro de la broca en mm

a = el avance en mm/vuelta de la broca

q_1 = Área de la viruta arrancada por una arista de corte.

Para los dos filos se tiene el área de la viruta

$$q = 2 * q_1 = \frac{d}{2} * a \text{ [mm}^2\text{]} \quad (\text{Ec. } 16)$$

y se puede calcular la Fuerza de desgarro F_d que esta dada por la expresión:

$$F_d = \sigma_s * q \text{ [Kg]} \quad (\text{Ec. } 17);$$

$$\text{es decir: } F_d = \sigma_s * \frac{d}{2} * a \text{ [Kg]} \quad (\text{Ec. } 18)$$

en donde σ_s = Resistencia al desgarro del material y se puede obtener de la tabla 2.

Tabla 2. Valores de la resistencia al desgarro de materiales σ_s

MATERIAL	Carga de rotura a tracción σ_r [Kg/mm ²]	Dureza Brinell esfera 10 carga 3000	σ_s [Kg/mm ²]		
			q = 1 mm ²	q = 10 mm ²	q = 50 mm ²
Acero dulce	30 – 40	90 – 120	170	125	102
Acero de mediano contenido	40 -50	120 – 140	210	155	127

de C					
Acero de mediano contenido de C	50 – 60	140 – 170	230	188	151
Acero duro	60 – 70	170 – 195	300	232	181
Acero duro	70 – 80	195 – 235	359	265	217
Acero al Cr-Ni	65 – 80	190 – 225	241	193	164
Acero fundido	45 – 55	135 – 160	176	124	98
Fundición	14 – 20	100 – 200	85	64	50
Latón en barras	30 – 35	80 – 110	70	49	38
Bronce	20 – 25	70 – 90	79	46	32
Aluminio fundido	9 – 12	65 – 70	54	47	43
Elektron	-	50 - 60	24	20	16

1.3.2 Fuerza de penetración P. Según la figura 18b), P/2 es la Fuerza de penetración relativa a cada arista de corte en Kg y P'/2 la Fuerza normal para cada una de las aristas de corte en Kg.

Según Taylor la fuerza normal se puede considerar igual a la fuerza de desgarro.

$$\frac{P'}{2} = \sigma_s * d * \frac{a}{4} [Kg] \quad (\text{Ec. 19})$$

y

$$\frac{P}{2} = \frac{P'}{2} \text{sen}(\varphi) \quad (\text{Ec. 20});$$

siendo φ = el semiángulo de punta de la broca.

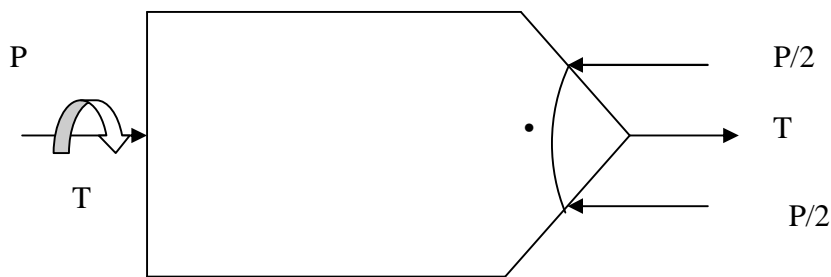
Entonces se tiene

$$P = \sigma_s * d * \frac{a}{2} * \text{sen}(\varphi) [Kg] \quad (\text{Ec. 21})$$

1.3.3 Momento de torsión necesario. El movimiento principal de corte lo tiene la mecha o broca en su rotación alrededor de su eje, el cual lo obtiene

del mecanismo principal correspondiente de la taladradora. Si se analiza la fuerza de desgarro F_d , se supone aplicada en el centro de cada uno de los filos a una distancia del centro de rotación igual a $d/4$, el momento de rotación M_r (ver figura 18) que debe ejercer el mecanismo principal para vencer la resistencia horizontal al corte presentada por el material y esta dada por:

Figura 18. Momento torsor.



Fuente: exposición diseño herramientas Ing. Mecánica, UIS.

$$M_t = \omega_s * a * \frac{d^2}{8} [Kg - mm] \text{ (Ec. 22)}$$

1.3.4 Velocidad tangencial de corte. La velocidad v de corte es tangencial al movimiento de rotación de la broca. Varía desde cero en el centro o punta de la herramienta, hasta un máximo en la periferia del filo.

$$V = 2 * \pi * R * n \text{ (Ec. 23)}$$

Donde:

R = Radio exterior de la broca en mm.

n = rpm del elemento que gira.

1.3.5 Potencia de corte¹. La potencia N que se debe suministrar a la herramienta para efectuar el corte del material, teniendo en cuenta el momento de rotación M_t y la velocidad de rotación n, es:

$$N = \frac{q * \sigma_s * V}{4500} [CV] \quad (\text{Ec. 24});$$

pero $F_d = q + \sigma_s$ (Ec. 25)

entonces se tiene: $N = \frac{F_d * 2 * \pi * R * n}{4500} [CV]$ (Ec. 26)

1.4 EFECTO DE LA VIRUTA EN EL MECANIZADO.

A continuación se presentara la formación y el efecto de la viruta en el mecanizado.

1.4.1 **Formación de la viruta.** Al observar con detenimiento el proceso de corte del metal como se mostró en el primer capítulo en el proceso de corte y modelo ortogonal ver figura 19, se revelan varias características importantes de la formación de la viruta:

§ El proceso de corte genera calor.

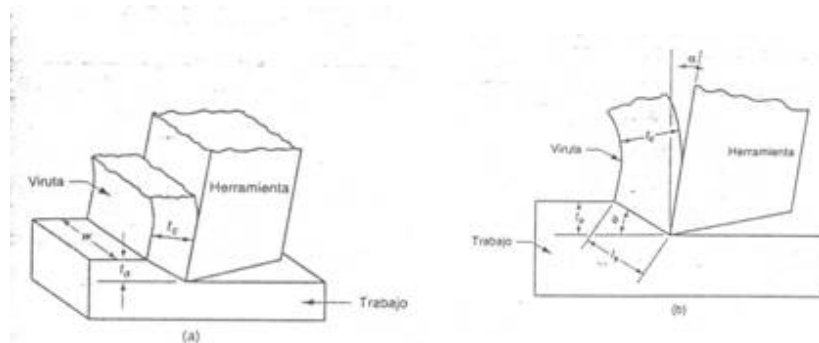
§ El espesor de la viruta es mayor que el espesor de la capa de donde procede.

§ La dureza de la viruta es en la mayoría de los casos mucho mayor que la dureza del material de origen.

§ Los anteriores valores relativos son afectados por cambios en las condiciones de corte y en las propiedades del material que se ha de maquinar, para dar virutas que vayan desde pequeños trozos a tiras largas y continuas.

Figura 19. Modelo Ortogonal de Corte

¹ CASO PRACTICO de cálculo, anexo A



Fuente: Universidad centroamericana Jose Simon Cañas. Proceso de manufactura II

Estas observaciones indican que el proceso de formación de la viruta es de deformación o flujo plástico del material, en el que el grado de deformación dicta el tipo de viruta que se producirá. El flujo plástico se produce por medio de un fenómeno llamado deslizamiento, junto con los denominados planos de deslizamiento. La capacidad para el flujo plástico depende del número de estos planos de deslizamiento que se encuentren disponibles, el número de planos, a su vez, dependen de la estructura de la red cristalina del material y del tratamiento anterior. Cuando las tensiones en un material exceden de su límite elástico, se produce un movimiento relativo permanente entre los planos de deslizamiento que estén más favorablemente orientados en la dirección de la fuerza aplicada. Una vez que se produce este movimiento deslizante, estos planos particulares se fortalecen y resisten la deformación posterior de preferencia a otros planos, ahora más débiles, que están disponibles. Este fortalecimiento se denomina endurecimiento por trabajo en frío o por deformación plástica, y es característico de todos menos unos cuantos de los materiales comunes.

Según avanza la herramienta dentro de la pieza, la resistencia fricción al flujo, a lo largo de la cara de la herramienta, produce deformación por trabajo la cual causa la deformación por corte que se produce adelante de la herramienta a lo largo de un plano de corte Este plano se extiende desde la vecindad del borde cortante hacia la superficie libre de la pieza a cierto ángulo de corte. Si el material de la pieza a trabajar es frágil y tiene poca capacidad para deformación antes de la fractura, cuando se alcance el esfuerzo cortante de fractura se producirá la separación a lo largo del plano de corte para formar una viruta discontinua o segmentaria. Los materiales dúctiles, sin embargo, contienen suficiente capacidad de flujo plástico para deformarse a lo largo del plano de corte sin ruptura. El endurecimiento por deformación plástica permite una transferencia del deslizamiento a los sucesivos planos de corte, y la viruta tiende a fluir en una tira continua a lo largo de la cara de la herramienta y lejos de la superficie de la pieza. La viruta recibe mucha deformación por trabajo, y es mucho más dura que el material del que procede.

1.4.2 Tipos de viruta. La viruta brinda información muy importante acerca del proceso real de corte, pues algunos tipos de virutas indican una mejor eficiencia que otros. El tipo de viruta está determinado por las propiedades del material de trabajo, la geometría de la herramienta de corte y las condiciones de corte. Es posible diferenciar tres tipos de virutas (Ver figura 20).

- Viruta discontinua. Este caso representa el corte de la mayoría de los materiales frágiles tales como el hierro fundido y el latón fundido; para estos casos, los esfuerzos que se producen delante del filo de corte de la herramienta provocan fractura. Lo anterior se debe a que la deformación real

por esfuerzo cortante excede el punto de fractura en la dirección del plano de corte, de manera que el material se desprende en segmentos muy pequeños. Por lo común se produce un acabado superficial bastante aceptable en estos materiales frágiles, puesto que el filo tiende a reducir las irregularidades.

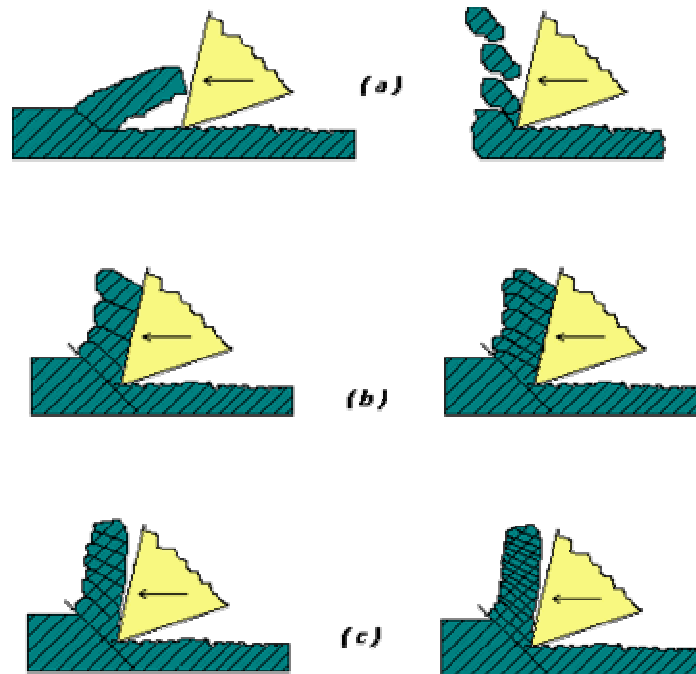
Las virutas discontinuas también se pueden producir en ciertas condiciones con materiales más dúctiles, causando superficies rugosas. Tales condiciones pueden ser bajas velocidades de corte o pequeños ángulos de ataque en el intervalo de 0° a 10° para avances mayores de 0.2 Mm. El incremento en el ángulo de ataque o en la velocidad de corte normalmente elimina la producción de la viruta discontinua.

- Viruta Continua. Presente en el corte de la mayoría de los materiales dúctiles, puesto que permite el corte sin lugar a la fractura. Es producto de velocidades de corte relativamente altas, ángulos grandes de rebaje (10 a 30°) y poca fricción entre la viruta y la cara de la herramienta. Las virutas continuas y largas pueden ser difíciles de manejar, por lo que la herramienta debe cortar con un rompe virutas que retuerce la viruta y la quiebra en tramos cortos.

§ Viruta Continua con Borde acumulado. Tipo de viruta producto de bajas

velocidades en maquinado de materiales dúctiles, en el cual existe alta fricción sobre la cara de la herramienta. Dicha fricción hace que una capa de viruta quede cortada de la parte inferior y se adhiera a la cara de la herramienta.

Figura 20. Tipos básicos de viruta (a) viruta discontinua; (b) y (c) viruta continua



Fuente: < <http://www.monografias.com/trabajos14/maq-herramienta/maq-herramienta.shtml#TIPOS>>

La viruta es similar a la continua, pero es producida por una herramienta que tiene una saliente de metal aglutinado soldada a su cara. Regularmente se separan porciones de la saliente y quedan depositadas en la superficie del material, dando como resultado una superficie rugosa, el resto de la saliente queda como protuberancia sobre la superficie maquinada.

§ Virutas no homogéneas. Las virutas no homogéneas tienen regiones de deformación grande y pequeña. Tales virutas son características de metales de baja conductividad térmica o metales cuya resistencia a la cedencia decrece agudamente con la temperatura. Las virutas de aleaciones de titanio son frecuentemente de este tipo.

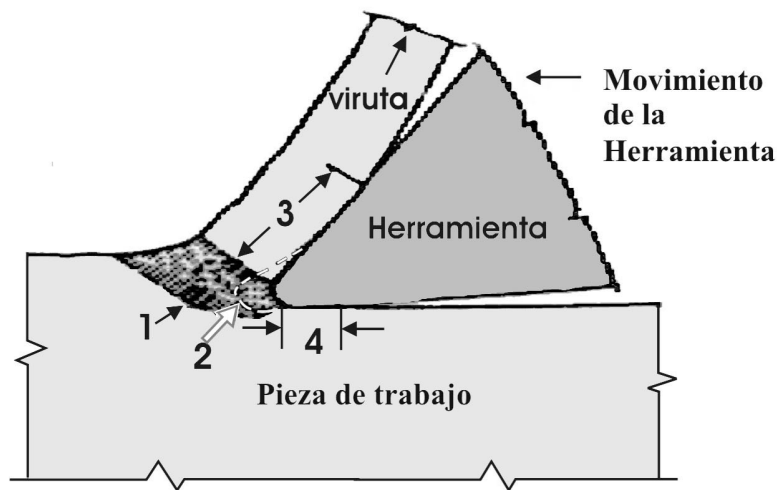
1.5 TEMPERATURA EN EL MECANIZADO

La figura 21 muestra la ubicación aproximada del principio de las zonas de fricción y corte en una operación de mecanizado. Al moverse la herramienta a lo largo de la pieza, la mayoría de la energía se consume en deformar (principalmente en el corte) el metal en la zona 1. Esta es la principal zona de deformación y puede considerarse centrada alrededor de la línea del ángulo de corte. Un ángulo de corte grande, tiende a reducir la línea de corte y así se minimiza el volumen de la zona principal de deformación.

La zona secundaria de deformación (zona 2) es la región del filo de aportación (BUE), el cual es una masa en forma de cuña del material de la pieza fundido sobre la punta de la herramienta, es decir el BUE, es usualmente mucho más duro que el material de la pieza. Un BUE muy grande disminuye el ángulo efectivo de ataque de la herramienta.

Además el BUE está continuamente formándose, rompiéndose y reformándose, causando irregularidades en el acabado de la superficie de la pieza, incrementando el agotamiento en el flanco de la herramienta y formando cráteres en la cara de la herramienta. La formación del BUE es en gran parte función de la velocidad de corte.

Figura 21. Zonas de fricción y corte.



Fuente: exposición diseño herramientas Ing. Mecánica, UIS.

Sus características pueden ser controladas en parte, mediante la selección de un fluido de corte apropiado. La fricción de deslizamiento influye en una fracción menor ($1/4$ a $1/3$) del consumo de energía en una operación de corte. Las dos fuentes de fricción tiene lugar en la interfase herramienta/viruta (zona 3) y la interfase pieza/herramienta (zona 4).

La fricción herramienta/viruta a lo largo de la cara de ataque, generalmente se considera más significativa porque las presiones de contacto son usualmente 2 a 3 veces más grandes que a lo largo del flanco y pueden exceder hasta 200 ksi. La fricción herramienta/viruta depende entre otras cosas del agotamiento en la cara de ataque y del ángulo de ataque de la herramienta. En cambio la fricción herramienta/pieza parece ser una fuerte función del agotamiento en el flanco sobre la herramienta. La energía disipada en la deformación del metal y en la fricción de deslizamiento en un corte se manifiesta en energía térmica o calor. Alrededor del 60% del calor, es generado en la zona primaria de deformación; el balance se genera en la zona secundaria de deformación y en las zonas de fricción.

Durante el corte de materiales se generan temperaturas elevadas en la región del filo de la herramienta, esto tiene influencia en el desgaste de la herramienta y la fricción entre la viruta y la herramienta.

Cuando el material es deformado elásticamente la energía requerida para hacerlo es almacenada en el material como energía de deformación y no genera calor. Sin embargo, cuando un material es deformado plásticamente, la mayor parte de la energía utilizada se convierte en calor. El material es sometido a grandes deformaciones en los procesos de corte de metales y la deformación elástica es pequeña comparada con la anterior, lo que puede suponerse que toda la energía es convertida en calor; la conversión de energía ocurre en las dos regiones principales de deformación plástica: La zona de cizalladura o primaria (Zona 1), y la zona de deformación secundaria (Zona 3). Como la herramienta tiene la punta redondeada, se genera otra fuente de calor (Zona 4), debido a la fricción entre la herramienta y la superficie generada en la pieza; cuanto mayor sea el desgaste de la herramienta, mayor será la temperatura alcanzada.

La Distribución de la temperatura en los cortes de metales se muestra en la figura 22 para la viruta y la pieza determinada experimentalmente en el proceso de corte ortogonal de un material. Un punto X en el material que avanza hacia la herramienta, se acerca y pasa a través de la zona de deformación primaria, es calentado hasta que abandona la zona y arrastrado con la viruta. Un punto Y es calentado hasta abandonar la zona de deformación secundaria, entonces es enfriado en la medida en que el calor es conducido hacia la zona de la viruta que está a más baja temperatura y eventualmente pueda adquirir la temperatura uniforme. La temperatura

máxima se alcanza en la cara de la herramienta a alguna distancia del filo. Un punto Z es calentado por conducción de calor en la pieza, desde la zona de deformación primaria.

La cantidad de calor conducida de la zona de deformación secundaria hacia la herramienta está dada por:

$$Q_m = \Phi_c + \Phi_w + \Phi_r \dots (Ec.27)$$

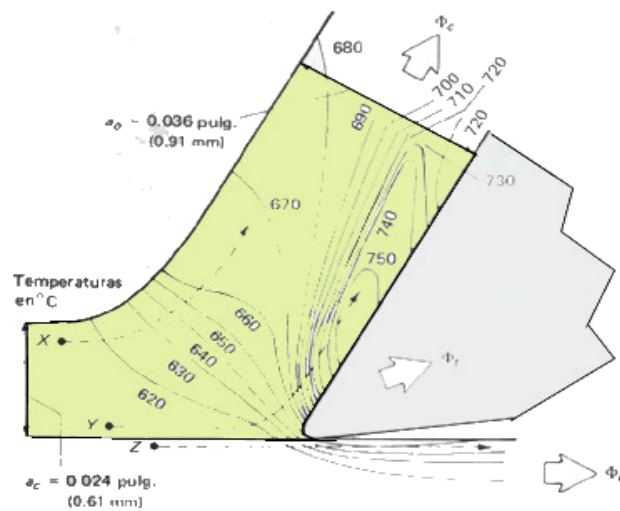
Q_m = Cantidad de calor total por unidad de tiempo.

Φ_c = Calor transportado por la viruta por unidad de tiempo.

Φ_w = Calor conducido hacia la pieza por unidad de tiempo.

Φ_r = Calor conducido hacia la herramienta por unidad de tiempo.

Figura 22. Distribución de la temperatura en la pieza y viruta en el corte de acero



Fuente: exposición diseño herramientas Ing. Mecánica, UIS.

El material de la viruta cercano a la cara de la herramienta posee mayor capacidad para remover calor que la herramienta, porque está fluyendo rápidamente, por esta razón esta última componente del calor se constituye como una pequeña cantidad de calor del total y usualmente despreciada, excepto para velocidades de corte bajas.

La velocidad de corte tiene un efecto importante sobre la temperatura de la cara de la herramienta, por lo que se requiere que se use refrigerante en este sector para evitar que pierda el filo la herramienta.

1.5.1 Temperatura vs. Vida de la herramienta. La correlación entre la vida de la herramienta y la temperatura de corte puede ser descrita de la siguiente fórmula empírica:

$$T * t^n = K \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

T = vida de la herramienta (minutos)

t = temperatura en la interfase Viruta/herramienta (°C)

n = exponente dependiente de la herramienta (entre 20 y 30)

K = constante dependiente de los materiales de la herramienta y la pieza.

Esta correlación muestra que con pequeñas reducciones en la temperatura de corte, se producen incrementos importantes en la vida de la herramienta o en las velocidades permisibles de corte. La experiencia ha demostrado que esta correlación general es razonable en la mayoría de las áreas.

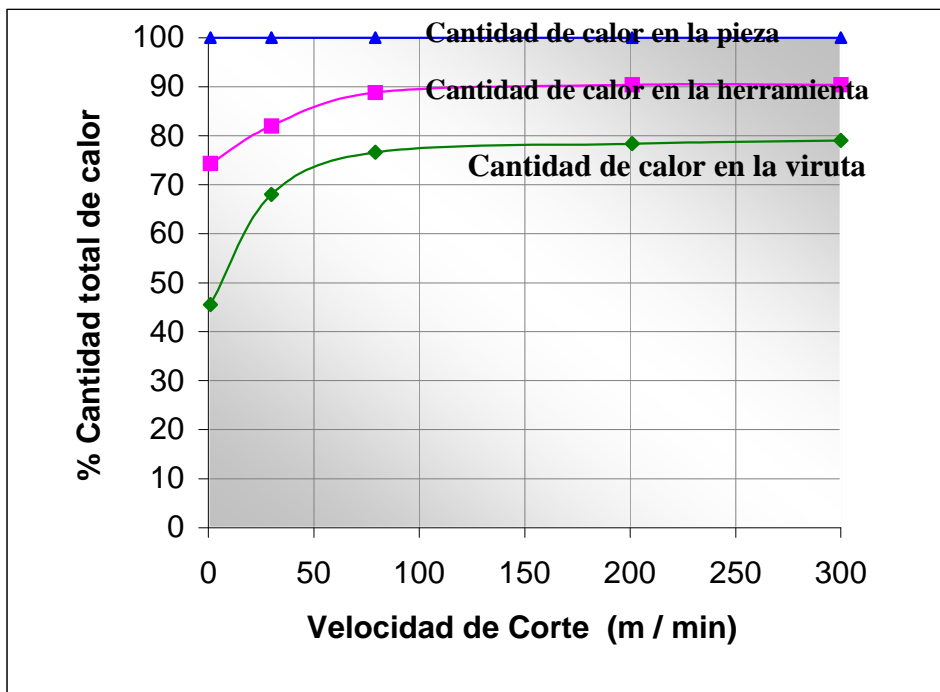
Las fallas en las herramientas por temperatura ocurren cuando la temperatura de corte es demasiado alta para el material de la herramienta, causando ablandamiento en la punta, deformación plástica y pérdida del filo en el borde.

El calor se origina durante el desprendimiento de viruta, en tres secciones principalmente:

- § En la zona de cizallamiento.
- § En la zona de fricción entre herramienta y viruta.
- § En la zona de fricción entre pieza y superficie de incidencia.

También se puede establecer un porcentaje del calor total desprendido en los tres elementos que intervienen en el mecanizado; en la viruta, en la

Figura 23. Comparación del calor desprendido en el proceso de maquinado



Fuente: exposición diseño herramientas Ing. Mecánica, UIS.

herramienta y en la pieza. En la figura 23, se ilustra comparativamente una proporción de dicho calor entre los elementos.

1.6 FLUIDOS DE CORTE

Los fluidos de corte se utilizan en la mayoría de las operaciones de mecanizado por arranque de viruta. Estos fluidos, generalmente en forma líquida, se aplican sobre la zona de formación de la viruta, para lo que se utilizan aceites, emulsiones y soluciones. La mayoría de ellos se encuentran formulados en base a un aceite de base mineral, vegetal o sintético, siendo el primero el más utilizado, pudiendo llevar varios aditivos (antiespumantes, aditivos extrema presión, antioxidantes, biocidas, solubilizadores, inhibidores de corrosión, etc.).

Es difícil determinar con precisión cuándo y cómo empezaron a usarse los fluidos de corte en las operaciones de corte de los metales. La pérdida de dureza que experimentan los filos con el calor originado por el corte de los metales, indujo a los técnicos a buscar unos procedimientos para conservar la capacidad de corte de las herramientas refrigerando sus filos. Estos han sido desarrollados y aplicados en operaciones de corte para reducir costos y mejorar las características de las piezas desde hace 200 años aproximadamente. W. H. Northcott fue el primero en escribir acerca de mejoras significativas en la productividad, debido a la aplicación de los fluidos de corte. Sabemos también que en el trabajo con herramientas de acero a que se dedicaba F. W. Taylor uno de sus descubrimientos, hecho alrededor de 1890, fue que dirigiendo una corriente de agua un poco por delante de la punta de la herramienta de corte, en la interfase pieza/herramienta, la velocidad de corte se podía incrementar en un 30% a 40%. Desde entonces, han sido numerosos los desarrollos en fluidos de corte.

Cada vez más se está intentando mecanizar sin refrigerante, por razones del medio ambiente y económicas. El tratamiento de los refrigerantes líquidos después de su utilización es muy costoso y problemático. Así, se están ensayando nuevas estrategias de mecanizado orientadas a trabajar sin refrigerantes líquidos, o a reducirlos, utilizando materiales que no necesiten refrigeración, que alcancen bajos incrementos de temperatura a la hora del corte y utilizando aire para remover eficazmente la viruta.

Sin embargo hay aplicaciones donde, por el momento, esta supresión, y ni siquiera reducción, es posible, como en el caso del mecanizado de aluminio. En materiales pastosos tales como el aluminio o el cobre es imprescindible el uso de taladrina (refrigerante líquido en base agua) en abundancia, pues ello ayuda al arranque y a la expulsión de la viruta en la totalidad de las operaciones de mecanizado: desbaste, semiacabado y acabado.

En el caso de aceros de alta dureza las temperaturas de trabajo son demasiado elevadas, y la taladrina provoca un choque térmico que es perjudicial para la herramienta ya que es difícil que esta taladrina se reparta uniformemente por el corte de la herramienta y lo refrigere por igual. Esto es especialmente importante en las operaciones de desbaste.

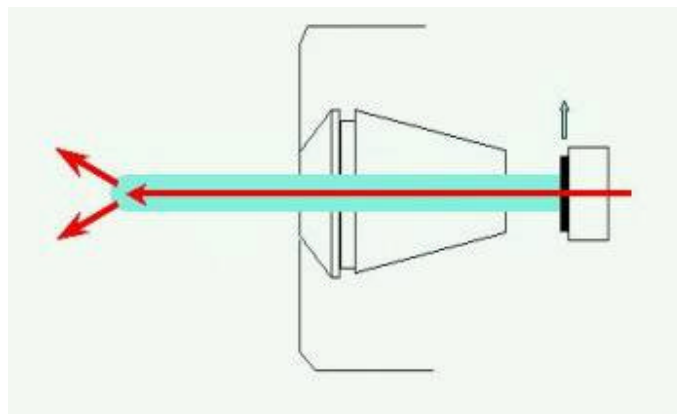
Normalmente, para operaciones de acabado la utilización de refrigerante líquido asegura una mejor calidad superficial, especialmente si la máquina dispone de sistemas para estabilizar la temperatura. Es habitual entonces utilizar refrigerante líquido en operaciones de acabado incluso en materiales muy duros.

Opcionalmente se puede emplear aceite como refrigerante (ya sea en estado líquido o en forma pulverizada) porque proporciona mejores resultados en la calidad superficial de la pieza para aceros en general, cobre y grafito. El problema del aceite es su potencialidad a la inflamación, especialmente cuando las temperaturas de trabajo son tan elevadas. Por este motivo no es el

refrigerante más empleado en los talleres de mecanizado. De todas formas es muy adecuado para el mecanizado de electrodos de cobre y grafito, debido a que las temperaturas de trabajo no son tan elevadas, reduciéndose así el riesgo.

Pero el sistema de refrigeración que se está imponiendo en el mecanizado de los aceros es el de utilizar solamente aire a presión dirigido al corte. Las propiedades refrigerantes del aire a presión no son tan buenas como las de los refrigerantes líquidos, pero es sin duda alguna un muy buen sistema para evacuar la viruta, al ofrecer la seguridad de llegar a toda la superficie de corte. Además, no requiere de ningún tratamiento residual después de su uso. Incluso se pueden encontrar actualmente sistemas donde este aire a presión es previamente enfriado a muy baja temperatura para aumentar su poder refrigerante sobre el corte.

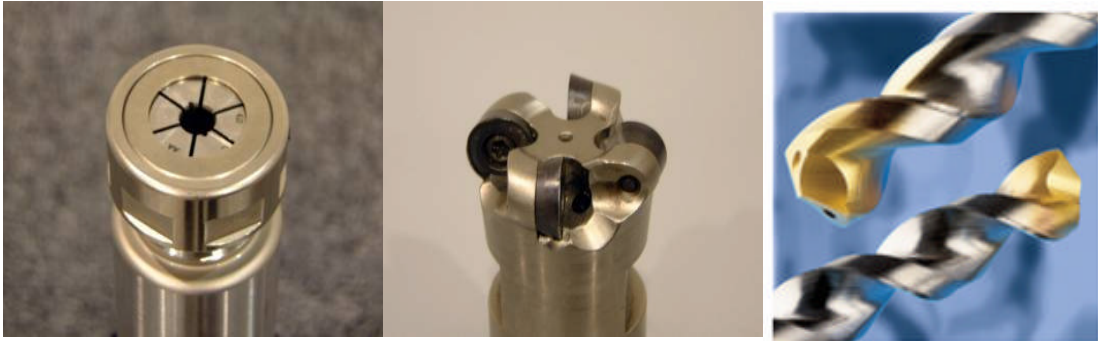
Figura 24. Esquema de la refrigeración a través del interior de la herramienta



Fuente: autores.

Sea cual fuere el refrigerante elegido se encuentran también distintas opciones constructivas que permiten la aplicación de éste sobre el corte de una manera más o menos efectiva.

Figura 25. Herramientas con refrigeración interna



Fuente: autores.

Las muy usuales lanzas o surtidores laterales presentan el problema de que es muy difícil su correcta orientación, especialmente si se han de utilizar herramientas de longitud muy diferente de manera automática. Además, no garantizan una distribución homogénea de la refrigeración.

La solución constructiva más adecuada es la utilización de la refrigeración a través del cabezal. Ésta puede ser directamente a través de la herramienta (existen herramientas que disponen de canales interiores de flujo del refrigerante que orientan a este directamente a la zona de corte) (Ver figura 24) o a través del portaherramientas (Ver figura 25). La primera es la mejor, pero presenta el gran problema de que estos tipos de herramientas tienen un precio mucho más elevado que las normales. En la segunda opción, la más empleada, las herramientas son estándar y los portaherramientas por esta tecnología ya están normalmente preparados para estos tipos de refrigeración.

1.6.1 Propiedades de los fluidos de corte.

- Poder refrigerante. El fluido de corte cumple la función de refrigerar la

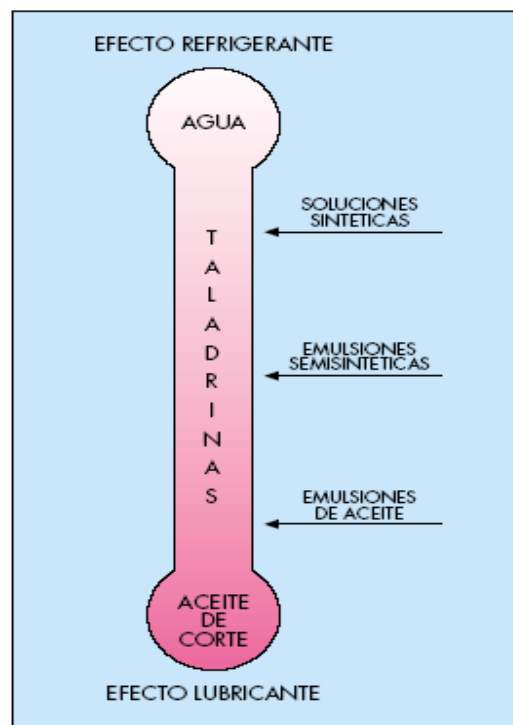
zona de trabajo (Ver figura 44). Para ser bueno el líquido debe poseer una baja viscosidad, la capacidad de bañar bien el metal (para obtener el máximo contacto térmico); calor de vaporización; un alto calor específico y una elevada conductibilidad térmica para ayudar a la disipación del calor generado durante la creación de la viruta.

- Poder lubricante. Tiene la función de reducir el coeficiente de rozamiento en una medida tal que permita el fácil deslizamiento de la viruta sobre la cara anterior de la herramienta y evitar la rotura o desafilado de la herramienta (Ver figura 26).

- Remoción eficiente de viruta. El fluido de corte es el encargado de evacuar la viruta de la zona de corte. Esta acción también protege la zona de corte de rayones en las superficies mecanizadas. Esta acción es útil en la perforación de huecos profundos, en la trepanación, etc., en las cuales se usa fluido a presión y se inyecta a través de la herramienta cortante para sacar las virutas del hueco. En estas operaciones, cuando se requiere fluido a altas ratas de flujo, es importante la selección apropiada del fluido para evitar una formación

que puede proceso de de corte y

Figura 26. y lubricante de fluidos de



excesiva de espuma interrumpir el filtración del fluido mecanizado.

Efecto refrigerante los diferentes mecanizado.

Fuente: autores.

Además el fluido de corte debe tener características tales como:

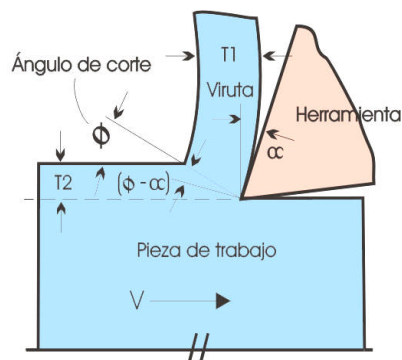
- § Proteger a la pieza, herramienta y máquina contra la oxidación y corrosión.
 - § No ser tóxico, para que no produzca irritación de la piel del usuario.
 - § No ser inflamable, para que no arda con facilidad, y de preferencia que sea incombustible y que no produzca humo excesivo ni depósitos gomosos, que puedan ocasionar que las correderas de la máquina se pongan pegajosas o que se obstruya el sistema de circulación.
 - § Poseer estabilidad (larga duración), tanto en almacén como durante el uso.
- Un análisis con mayor detalle de cómo un fluido de corte reduce la cantidad de calor producido es mostrado a continuación. Este calor producido en el corte depende esencialmente del valor del ángulo del plano de corte • (véase

la Figura 27). Si este ángulo es pequeño el índice de deformación es grande de modo que la capa de metal eliminado se deforma mucho, formando una viruta corta y gruesa, lo que origina un considerable desprendimiento de calor. En cambio, si el ángulo del plano de corte es grande ($r = \cos(\phi - \alpha) / \sin \phi$), el recorrido del material al deformarse es más corto, resultando una viruta más larga y estrecha y produciendo menos calor.

Ahora bien, el valor del ángulo del plano de cortadura depende del coeficiente de fricción entre la viruta y la herramienta.

Por lo tanto, si se reduce la fricción entre la viruta y la cara de la herramienta, aplicando un refrigerante con poder lubricante, se reduce el calor producido por la fricción, pero la reducción de la fricción causará también que el ángulo del plano de cortadura sea mayor, reduciéndose por lo tanto el calor producido por la deformación plástica. Además al reducir la fricción viruta-herramienta, se reduce la soldadura entre ellas, lo que tiene como consecuencia un control del filo de aportación.

Figura 27. Ángulos involucrados en el proceso de corte de metales



Fuente: autores.

1.6.2 Tipos de fluidos de corte. A pesar de que existen cientos de fluidos y formulaciones especiales, todos estos pueden clasificarse de acuerdo a uno de cuatro tipos. Cada uno de los cuatro tipos básicos de aceites normales de

corte, aceites emulsificables, fluidos químicos y productos gaseosos, tienen diferentes características, beneficios y limitaciones. Frecuentemente las diferencias no son claramente identificables, pero se necesita un entendimiento de las semejanzas y diferencias entre los varios tipos para obtener un óptimo comportamiento del fluido gracias a una selección apropiada.

- Aceites de corte. Están hechos de aceite mineral y pueden usarse solos o combinados con aditivos polares y/o aditivos químicos activos. Los fluidos basados en aceite mineral se clasifican como activos o inactivos. Las aplicaciones de los aceites combinados tanto activos como inactivos son generalmente limitadas a condiciones de baja velocidad, poca inyección y excesiva formación de virutas en metales difíciles de mecanizar o en formar polvo del sólido. Los problemas de alto costo, peligro con humo o fuego y la salud del operador limitan la aplicación en las máquinas que no están diseñadas para usar un fluido miscible en agua o para aquellas operaciones en las que un fluido miscible no tiene buen desempeño. Los aceites combinados generalmente son más caros que los fluidos miscibles en agua.
- Aceites emulsificables. También llamados aceites solubles, fluidos miscibles en agua o fluidos emulsificables, son gotas de aceite suspendidas en agua al licuar el aceite con agentes emulsificantes. La adición de aditivos polares y/o aditivos extrema presión produce emulsiones más lubricantes.
- Fluidos químicos y semiquímicos. Se definen como los que no contienen aceite de petróleo. Pueden formar soluciones claras, dispersiones coloidales o emulsiones traslúcidas.

- Fluidos gaseosos. El más usado es el aire. Es el único que se usa en corte seco y también está presente cuando se usan fluidos líquidos. La acción refrigerante y lubricante se supone porque siempre está presente. El aire también se puede usar como gas comprimido para dar un mejor enfriamiento. Un chorro de aire comprimido dirigido a la zona de corte remueve más calor por convección forzada que lo que se removiera por convección natural. Además sirve también para alejar las virutas. (Hay que considerar la seguridad).

1.6.3 Elección del fluido de corte. Esta elección debe basarse en criterios que dependen de los siguientes factores:

- Del material de la pieza en fabricar. Para las aleaciones ligeras se utiliza petróleo; para la fundición, en seco. Para el latón, bronce y cobre, el trabajo se realiza en seco o con cualquier tipo de aceite que este exento de azufre; para el níquel y sus aleaciones se emplean las emulsiones. Para los aceros al carbono se emplea cualquier aceite; para los aceros inoxidable auténticos emplean los lubricadores al bisulfuro de molibdeno.
- Del material que constituye la herramienta. Para los aceros al carbono dado que interesa esencialmente el enfriamiento, se emplean las emulsiones; para los aceros rápidos se orienta la elección de acuerdo con el material a trabajar. Para las aleaciones duras, se trabaja en seco o se emplean las emulsiones.
- Según el método de trabajo. Para los tornos automáticos se usan los

aceites puros exentos de sustancias nocivas, dado que el operario se impregna las manos durante la puesta a punto de la máquina; para las operaciones de rectificado se emplean las emulsiones. Para el taladrado se utilizan los aceites puros de baja viscosidad; para el fresado se emplean las emulsiones y para el brochado los aceites para altas presiones de corte o emulsiones.

- Compatibilidad metalurgia / fluido de corte. Los efectos de las películas residuales en las partes metálicas bajo condiciones de alto esfuerzo y temperatura se ha convertido en un tema controversial, sobre todo entre los productores de materiales aeroespaciales y nucleares. Esto se generó ante todo por fallas en el servicio de componentes, a los que se les ha atribuido de rompimiento por esfuerzo y corrosión, y corrosión intergranular. En general, los estudios asocian estas fallas con la presencia de cloro (y posiblemente otros iones de halógenos) y iones sulfito y solventes orgánicos.

Los procedimientos de limpieza pueden establecerse para remover todas las trazas de fluido de las superficies de las partes mecanizadas que no contiene depresiones internas o grietas que pueden atrapar el fluido. Para componentes muy críticos que no se pueden limpiar bien, o cuando existe duda acerca del efecto de la contaminación residual, o cuando el procedimiento puede ser incierto o costoso, el único arreglo confiable es llevar a cabo una simulación de servicio, probando el material sujeto al fluido en consideración.

- Criterios secundarios.
 - Tiempo de mecanizado.
 - Número de rechazos por un acabado de superficie inaceptable y partes con dimensiones fuera de tolerancia.
- § Retrasos en las máquinas por cambios de herramientas y mantenimiento.

- § Consumo de fluido de corte.
- § Vida discontinua del fluido.
- § Disposición del fluido o costos de reciclaje.

1.6.4 Ventajas de los fluidos de corte. Durante un proceso de maquinado, se generan calor y fricción considerables. La selección y aplicación correctas de los fluidos para corte pueden evitarlas, porque producen enfriamiento y reducen la fricción en la pieza de trabajo.

Además, su uso ofrece las siguientes ventajas económicas:

- Reducción de costos de herramientas. Los fluidos para corte reducen el desgaste de las herramientas, las cuales duran más y se requiere menos tiempo para afilarlas y volver a ajustarlas.
- Aumento en la velocidad de producción. Debido a que los fluidos para corte reducen la fricción y el calor, se pueden utilizar velocidades de corte más altas para el maquinado.
- Reducción de los costos de potencia y energía. Dado que se reduce la fricción con el fluido de corte, se requiere menos potencia para las operaciones de maquinado y se logra un ahorro correspondiente en los costos de energía.
- Mejor acabado de superficie. Al disminuirse la fricción, se prolonga la duración del filo de las herramientas de corte, se pueden obtener mejores acabados de superficie y mayor exactitud dimensional.
- Aumenta la duración de las herramientas y mejora la exactitud dimensional.

Los inconvenientes del trabajo realizado sin refrigeración se deben al calentamiento simultáneo de la herramienta, de las virutas y de la pieza.

Cuando la cuchilla es de metal duro, puede llegar a alcanzar durante el trabajo, una temperatura a partir de la cual su dureza disminuye rápidamente. El calentamiento de la pieza es muy perjudicial: la dilatación falsea las dimensiones y hace imposible una comprobación precisa. En el caso de una pieza larga, el calentamiento puede ocasionar una deformación permanente de la misma.

Por último, la temperatura a que salen las virutas en trabajos de desbaste, puede representar un serio peligro para el obrero si no se adoptan unas precauciones especiales para dirigir las virutas.

1.6.5. Aplicación de los fluidos de corte. La aplicación adecuada a veces no se tiene en cuenta, desafortunadamente. Un fluido escogido por sus cualidades lubricantes debe dirigirse de manera que pueda formar una película en las superficies deslizantes, y un fluido usado para refrigerar debe tener un acceso razonable al borde del corte de la herramienta. A las condiciones de mecanizado y triturado se requiere que el fluido se “dispare” alrededor del área de corte para que el calor generado por la deformación del metal sea removido eficientemente. Se tiene aceptado que la aplicación continua de un fluido de corte es preferible a una aplicación intermitente, ya que esta causa ciclos térmicos, lo cual lleva a la formación y propagación de micro grietas en materiales duros y frágiles, como el carburo y acero HSS, lo cual acorta la vida de la herramienta. También se puede producir un acabado irregular de la superficie debido a la expansión y contracción de la pieza. Una ventaja secundaria de una aplicación adecuada, que a veces se pasa por alto es la remoción de viruta. Esto también puede ayudar a prolongar la vida de la herramienta.

- **Aplicación manual.** Los fluidos de corte, pastas y lubricantes sólidos frecuentemente se aplican en forma manual cuando son pequeños trabajos u operaciones de una sola clase, simplemente porque es método más fácil y menos costoso. Las desventajas de esta aplicación es que se evita su uso en una cantidad en grande. Estas desventajas incluyen la aplicación intermitente, poca remoción de la viruta, y acceso limitado a la zona de corte.
- **Aplicación a chorro.** Es el método más común. Permite un flujo continuo en la zona de corte y es lo más eficiente para remover la viruta. Una bomba de baja presión manda el fluido por las tuberías y válvula a una boquilla cerca del corte. La efectividad del chorro depende de la geometría de la aplicación. Se debe tener en cuidado, por ejemplo, en la orientación de las boquillas para que no se desvíe el fluido de corte. Frecuentemente se usan dos boquillas por operación; una se dirige a la zona de corte y la otra se usa para enfriar y remover la viruta. A continuación se presentan algunas recomendaciones para la aplicación a chorro de los fluidos de corte para varias operaciones de mecanizado.
- **Torneado y perforado.** El fluido debe ir hacia la zona de corte. Para la operación de herramientas de torno se ha desarrollado una regla empírica, que es que el diámetro interno de la boquilla debe ser mínimo del 75% del ancho de la herramienta de corte. El fluido debe cubrir completamente la porción de la herramienta donde se produce la viruta. Es deseable una segunda boquilla en operaciones de torneado y perforado de servicio pesado; esta boquilla debe dirigir el fluido al flanco de la herramienta para ayudar en la lubricación con velocidades menores de corte.

Figura 28. Aplicación fluido de corte a chorro.



Fuente: autores.

- Taladrado. (Ver Figura 28) El sistema convencional de chorro a veces es inefectivo en las operaciones de taladrado (Ver Figura 29), por la acción de bombeo de las brocas que tiende a remover el fluido de la zona de corte. Sin embargo, la máxima efectividad se puede lograr al aumentar la presión de la bomba, y alineando el fluido con el eje del taladro, no en un ángulo obtuso.

Figura 29. Inefectividad de aplicación a chorro del fluido de corte en el taladrado.



Fuente: autores.

- Aplicaciones por rociado. También se puede aplicar fluido en forma de

rocío. Esta forma es la mejor para operaciones en las que la velocidad de corte es alta y las áreas de corte son bajas. El rociado es mejor para la vida de la herramienta más que el corte en seco; es un medio de refrigeración y lubricación en los casos en que la aplicación a chorro es impráctica; llega a áreas inaccesibles para otras formas de aplicación y deja mejor visibilidad en la zona de corte.

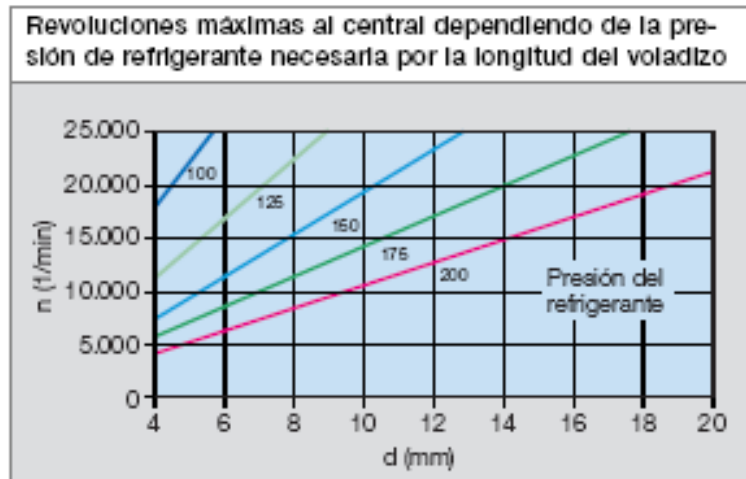
1.6.6 Métodos especiales de aplicación. Los fluidos enfriados y el gas envasado a presión han sido efectivos en la prolongación de la vida de la herramienta en algunas aplicaciones. Estas técnicas son un poco más exóticas que los métodos convencionales para la aplicación de fluidos y en el caso particular de fluidos de bajas temperaturas, pueden no ser justificables económicamente. Los fluidos enfriados requieren, por ejemplo, del uso de tubería bien aislada, bombas y válvulas diseñadas para el uso a bajas temperaturas.

1.6.7. Presión óptima del fluido de corte vs. diámetro y revoluciones para taladrado de altas profundidades².

Se puede observar en las figuras 30 y 31 que las presiones teóricas para la evacuación de viruta en taladrado de altas profundidades o relaciones de esbeltez grandes son elevadas estando relacionadas directamente con el valor de la presión, menores valores de esbeltez menor la presión.

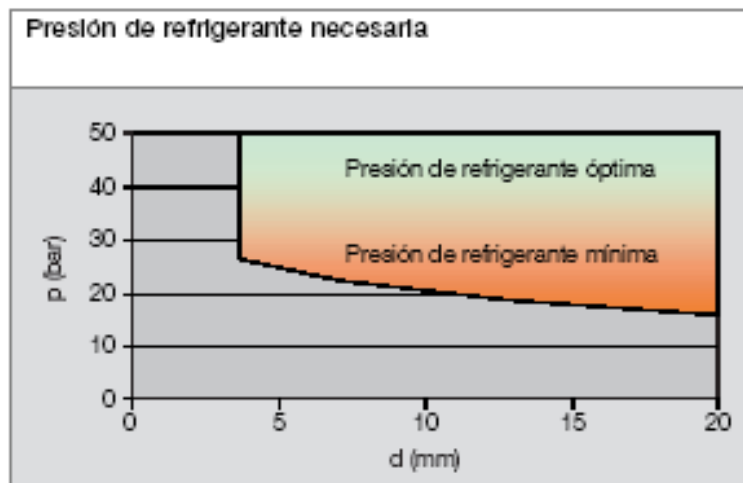
Figura 30. Grafica n vs d

² ALPHAJET, refrigerantes. (online) Madrid 2001. Disponible en internet <URL :http://www.hepresan.es/titex/ALPHAJET_span%20f.pdf >



Fuente: < http://www.hepresan.es/titex/ALPHAJET_span%20f.pdf>

Figura 31. Grafica P vs d



Fuente: < http://www.hepresan.es/titex/ALPHAJET_span%20f.pdf>

1.6.8. Desventajas y cuidados de los fluidos de corte. En la última década los problemas asociados al impacto del medio ambiente de los procesos de fabricación han sido objeto de amplios estudios y consideraciones. Las condiciones ambientales en los puestos de trabajo se vuelven necesariamente

malas cuando los lubricantes se evaporan debido al calor generado en el proceso de corte. Los lubricantes poseen gran cantidad de componentes y aditivos (del tipo clorado y sulfúrico) que tienen alta influencia no sólo en la salud de los operarios sino también en el posterior tratamiento y almacenaje de los residuos. Las emisiones a la atmósfera, de productos agresivos procedentes de la incineración de residuos aceitosos conteniendo cloro orgánico (lluvia ácida, deterioro de la capa de ozono, etc.) y los vertidos de aguas residuales conteniendo restos de derivados fenólicos que pueden contaminar un ecosistema.

La suciedad mezclada con los fluidos de corte (Figura 32) tiene la tendencia a cubrir los poros de la piel y las raíces del pelo. Se han perdido muchos días de trabajo a causa de irritaciones y erupciones de la piel, causadas en parte por el uso de los aceites de corte. Las espinillas y la grasa de la piel no encuentran su salida natural. La acumulación bajo las espinillas produce una irritación que puede conducir a una erupción de granos. Es esta una forma de dermatitis llamada dermatitis folicular, y el que use fluidos de corte debe cuidarse de ella. Las personas con vello en los brazos y manos son más susceptibles a este tipo de dermatitis que las que están libres de él. Como los fluidos de corte contienen muchos ingredientes, entre ellos se encuentran grasas animales y vegetales, azufre, cloro y derivados del petróleo. Cada uno de éstos puede irritar muchos tipos de piel humana. Los fluidos de corte recién refinados no contienen ninguna bacteria perjudicial. Pero como las bacterias se encuentran en el aire, en la tierra, en el agua y en la piel de las personas, es posible que algunas de ellas pasen al fluido de corte mientras se está utilizando.

La limpieza personal y la higiene son los preventivos de las enfermedades de la piel. Mediante la limpieza frecuente de las manos, brazos y cara con jabón

y agua caliente, se consigue eliminar cualquier acumulación de aceite y suciedad en los poros de la piel.

Figura 32. Fluido de corte en operación.



Fuente: autores.

La descomposición térmica que experimentan los fluidos de corte durante el mecanizado origina la formación de aerosoles y nieblas, cuya inhalación puede ocasionar riesgos para la salud de las personas expuestas. Irritación de vías respiratorias, neumonía lipóide, fibrosis pulmonar y asma bronquial son algunos de los efectos recogidos en la bibliografía que las nieblas de dichos fluidos pueden ocasionar sobre el aparato respiratorio. Sin embargo, la incidencia de estos efectos no está claramente definida ni tan profundamente estudiada como las afecciones cutáneas.

El potencial cancerígeno de los fluidos de corte reside en ciertas sustancias que algunos de estos productos pueden llevar en su composición. Entre tales sustancias destacan los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), contenidos originariamente en los aceites minerales y las N-nitrosaminas que se forman a partir de las aminas y los agentes nitrosantes presentes en algunas taladrinas. En la última década, se ha especulado acerca de la posible naturaleza cancerígena del formaldehído, sustancia que puede aparecer en

algunos fluidos acuosos como producto de la hidrólisis de ciertos bactericidas (por ejemplo las triacinas) utilizados ocasionalmente.

Durante el proceso de aplicación, de los fluidos de corte, entre ellos la taladrina pierde cualidades, es decir, envejece. Existen dos causas fundamentales para ello. Por un lado el "stress" mecánico y térmico del proceso sobre el fluido de corte y por otro la acumulación de sustancias contaminantes importadas, como aceites parásitos, partículas sólidas y bacterias.

Los fluidos de corte se desechan, considerándose agotados cuando:

§ El resultado del mecanizado no es óptimo (calidad superficial de piezas, precisión, corrosión de herramientas).

§ La composición inicial ha sufrido alteraciones importantes (p.e. disminución de concentración de aditivos) que dificultan una redosificación.

§ Se inicia el proceso de descomposición microbiológico, con los consiguientes olores.

§ La concentración de sustancias contaminantes como nitritos, nitrosaminas, gérmenes, metales pesados... es elevada y puede causar problemas de salud laboral.

Pese a clasificar los fluidos de corte agotados como residuos tóxicos y peligrosos, una gran cantidad de ellas continúan siendo vertidas tanto a cauces como a colectores de saneamiento. La evacuación de taladrinas colector, puede ocasionar serios problemas de operación en una planta de tratamiento de aguas residuales, originados básicamente por los aceites y emulgentes. Además, la acumulación de metales pesados en los lodos contribuye a elevar el costo de los tratamientos de aguas. En caso de vertido a cauce, las taladrinas agotadas pueden causar una importante mortandad en la fauna piscícola debido a los numerosos componentes tóxicos que contienen,

tales como nitritos y fenoles. Las emulsiones aceitosas dificultan aún más el intercambio de oxígeno entre aire y atmósfera, contribuyendo a la desoxigenación de las aguas con los consiguientes efectos negativos. Además, compuestos persistentes como las parafinas cloradas y los metales pesados se acumulan en organismos de consumo humano con los consiguientes riesgos para la salud.

2. RECONVERSION DE SISTEMA DE REFRIGERACION

Antes de desarrollar el dispositivo es necesario tener un conocimiento practico de la aplicación del fluido en la viruta, para cumplir tal objetivo se llevara acabo una prueba de dureza y metalografía de virutas.

2.1 PRUEBA DE DUREZA Y METALOGRAFIA EN VIRUTAS

En todos los procesos de corte ocurren varias situaciones que determinan el éxito y acabados en piezas como lo son los cambios en la estructura y en la dureza del material de la pieza debido al calentamiento y enfriamiento del ambiente y del fluido de corte y las condiciones del mismo corte como velocidad, profundidad, avance, materiales, tipo de viruta, aplicación del fluido de corte, forma del filo de la herramienta, su posición con respecto a la pieza que se trabaja y las direcciones de movimiento quedan fijadas por valores angulares referidos a un sistema de ejes coordenados.

De la viruta en el proceso de corte no se tiene mucha información y estudios, pero en ella se encuentra alojada mucha información valiosa sobre como fue el proceso de corte, factores que intervinieron e información sobre como

mejorar futuros procesos. Se han encontrado cambios en la estructura y dureza del material de la pieza al convertirse en viruta presentando deficiencias en el corte al no evacuarse de una manera eficiente durante el proceso. Por ellos se ve la necesidad de analizarla y comprender la magnitud de su influencia en el proceso de corte, efectuando pruebas de dureza y metalografía en la misma.

2.1.1. Objetivos de la prueba.

§ Obtener virutas de un proceso de corte en dos situaciones de corte, con y sin fluido de corte.

§ Analizar la viruta metalográficamente y su dureza.

§ Comprobar si el cambio en la dureza de la pieza al convertirse en viruta, es considerable durante el proceso de corte.

§ Analizar diferentes factores influyentes en el proceso de corte, a través de pruebas metalográficas y de dureza en la viruta.

2.1.2 Procedimiento:

§ Materiales. Se escogieron dos tipos de aceros comerciales usados en la industria para llevar a cabo las pruebas, un acero al carbón 1020³ y un acero aleado 4140⁴ de la Compañía general de aceros S.A., con dimensiones: Diámetro 1" Longitud 40 cms. La herramienta de corte fue de acero rápido y la misma para todos los casos.

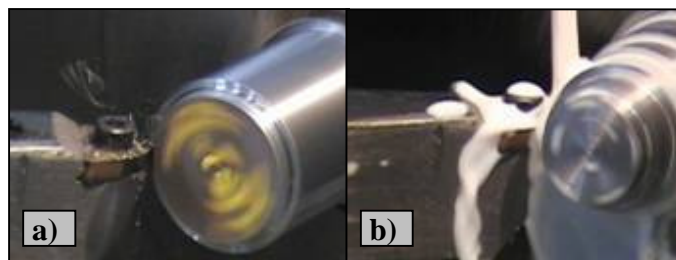
§ Obtención de viruta. Se determinó el proceso de corte de torneado en un torno Mahstroy de fabricación búlgara modelo CU 502 modelo 2004 en perfectas condiciones, en dos situaciones de obtención, con y sin fluido de

³ PROPIEDADES ACERO 1020, ver detalles anexo B.

⁴ PROPIEDADES ACERO 4140, ver detalles anexo C.

corte. La obtención de virutas se llevo a cabo gracias a la colaboración de la empresa Industrias Rango ubicada en la carrera 23 No.19-61 en la ciudad de Bucaramanga.

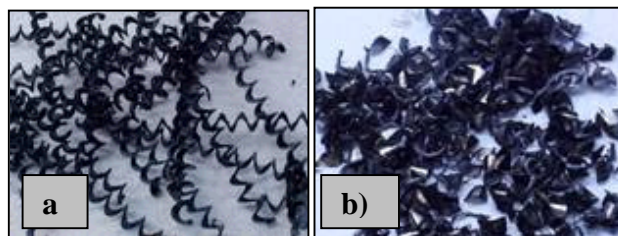
Figura 33. Obtención viruta acero aleado 4140: a) sin fluido de corte, b) con fluidote corte.



Fuente: autores.

§ La viruta del acero aleado 4140 se obtuvo (Ver figura 33a y 33b) en unas condiciones de corte optimas para dicho material con una velocidad de corte = 500 Mm. /min, profundidad = 4 mm, avance = 0.75 mm / min; sin fluido de corte como se muestra en la figura 34a y con fluido de corte como se muestra en la figura 34b.

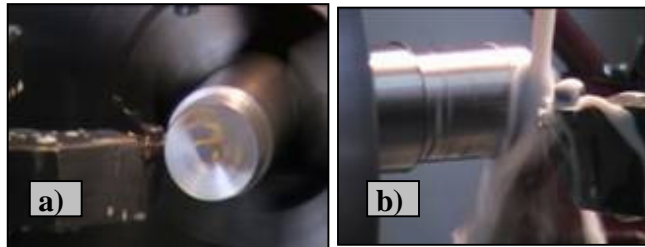
Figura 34. Viruta Acero aleado 4140: a) sin fluido de corte, b) con fluidote corte.



Fuente: autores.

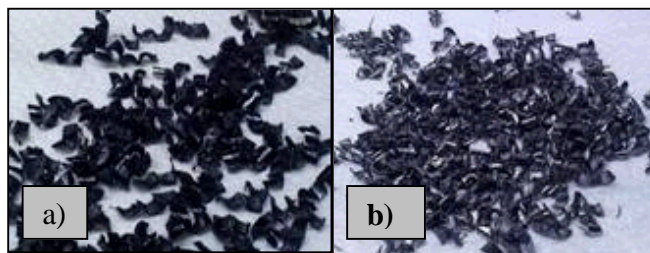
§ La viruta del acero al carbono 1020 se obtuvo (Ver figura 36a y 36b) en unas condiciones de corte optimas para dicho material con una velocidad de corte = 355 Mm. /min, profundidad = 4 mm, avance = 0.75 mm / min; sin fluido de corte como se muestra en la figura 35a y con fluido de corte como se muestra en la figura 35b.

Figura 35. Obtención viruta acero al carbono 1020: a) sin fluido de corte, b) con fluido de corte.



Fuente: autores.

Figura 36. Viruta Acero al carbono 1020: a) sin fluido de corte, b) con fluido de corte

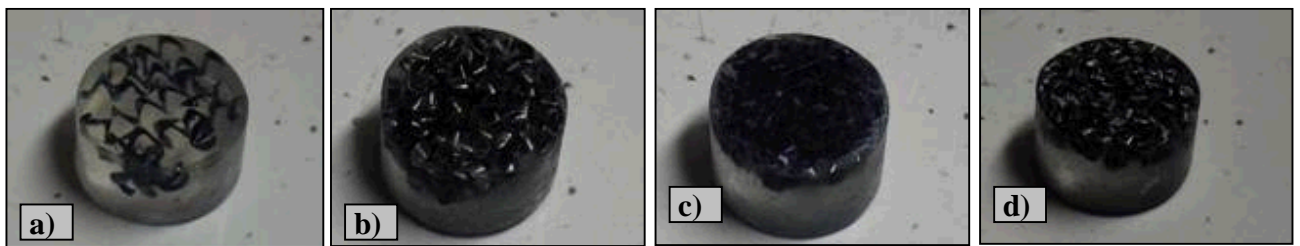


Fuente: autores.

§ Probetas de las virutas. Luego de expedir los permisos pertinentes se hicieron las probetas con las virutas obtenidas para llevar a cabo las pruebas metalográficas y de dureza.

Se hicieron las probetas respectivas con resinas como se observa en la figura 37.

Figura 37. Probetas de virutas de: a) Acero 4140 sin fluido de corte, b) Acero 4140 con fluido de corte, c) Acero 1020 sin fluido de corte, d) 1020 con fluido de corte.



Fuente: autores.

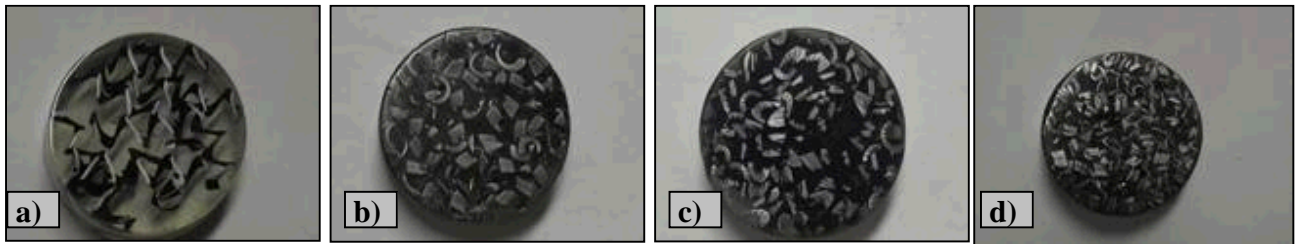
Una vez hechas las probetas se procedió a desbastarlas en diferentes desbastadoras de superficie (ver figura 38), paño preliminar, paño intermedio de 0.3 micras, paño final de 0.5 micras y pasta de diamante de 6 micras con lubricante mineral y reactivos para remover el material y no distorsionar la estructura. Después de este proceso se obtuvieron las probetas con viruta de cada material (ver figura 29).

Figura 38. Desbastadoras de superficie.



Fuente: autores.

Figura 39. Probetas desbastadas de virutas de: a) Acero 4140 sin fluido de corte, b) Acero 4140 con fluido de corte, c) Acero 1020 sin fluido de corte, d) 1020 con fluido de corte.



Fuente: autores.

Prueba metalográfica. Con las probetas ya listas, se llevaron al Microscopio "Olympus V- PMTVC 6B02898" (ver figura 40) que esta dotado con una cámara que transmite las observaciones hechas con los diferentes aumentos a un computador, en donde quedan digitalizadas.

Se observó cada probeta en aumentos de 10X, 20X, 50X y 100X encontrándose diferentes estructuras.

Figura 40. Microscopio Olympus V- PMTVC 6B02898

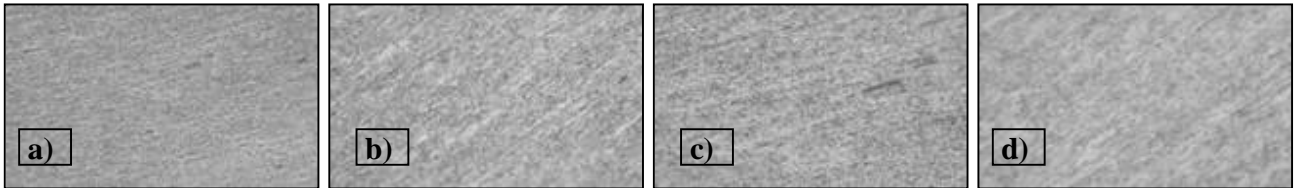


Fuente: autores.

§ Viruta acero aleado 4140 sin fluido de corte. Se encontró una estructura

(ver figura 41) con algunas apariciones de estructura perlítica extremadamente fina.

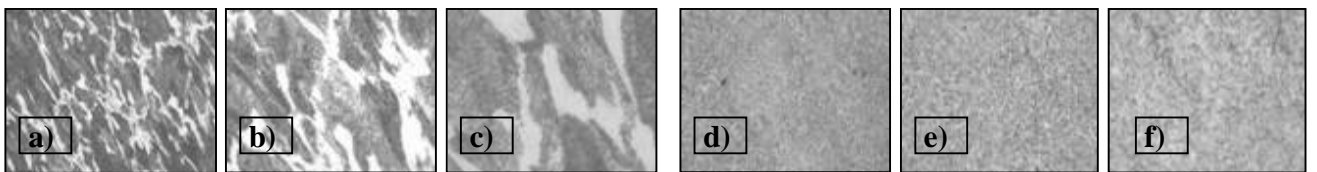
Figura 41. Metalografía de la viruta del acero aleado 4140 sin fluido de corte en la operación de mecanizado, en aumentos: a) 10X, b) 20X, c) 50X, d) 100X.



Fuente: autores.

§ Viruta acero aleado 4140 con fluido de corte. Se observo la presencia de una estructura perlítica fina en los diferentes aumentos (ver figura 42 a, b y c). En la figura 42d, e y f, se observo una estructura no muy clara de martensita revenida muy fina.

Figura 42. Metalografía del acero aleado 4140 con fluido de corte en la operación, en aumentos: a) 20X ferrita, b) 50X ferrita, c) 100X ferrita, d) 20X martensita, e) 50X martensita, f) 100X martensita.

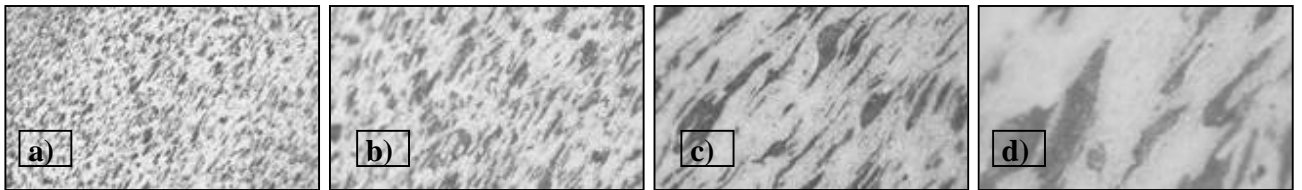


Fuente: autores.

§ Viruta al carbono 1020 sin fluido de corte. Podría pensarse que existen colonias perlíticas muy finas dentro de la matriz de ferrita (ver figura 43), pero esto no es claro ya que no es observable a los aumentos a los que se realizó el análisis. Sin embargo en el caso en que exista es muy

fina, indicando que la velocidad del enfriamiento fue más lenta, debido quizás a la no presencia de refrigerante.

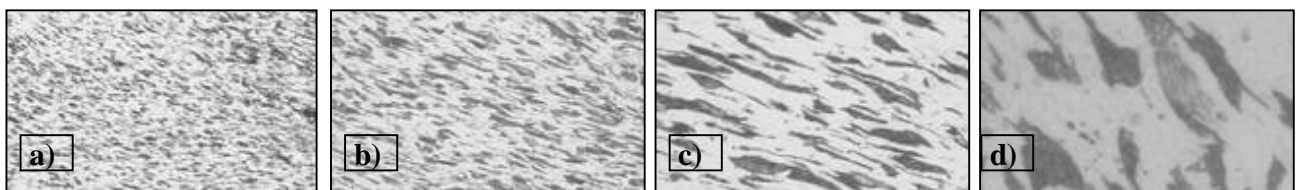
Figura 43. Metalografía de la viruta del acero al carbono 1020 sin fluido de corte en la operación de mecanizado, en aumentos: a) 10X, b) 20X, c) 50X, d) 100X.



Fuente: autores.

§ Viruta al carbono 1020 con fluido de corte. Se encontró una estructura (ver figura 44) con un micro constituyente del acero denominado perlita que se encuentra compuesto por láminas de ferrita y cementita, y que da indicios de un enfriamiento relativamente rápido debido a que la perlita es un poco gruesa.

Figura 44. Metalografía de la viruta del acero al carbono 1020 con fluido de corte en la operación de mecanizado, en aumentos: a) 10X, b) 20X, c) 50X, d) 100X.

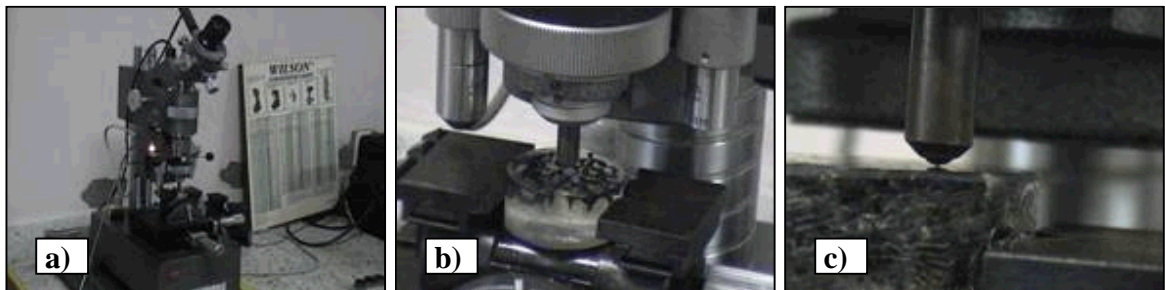


Fuente: autores.

§ Prueba de dureza. Se llevaron las probetas al Microdurometro de

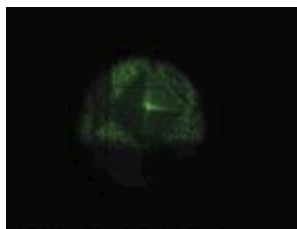
pequeñas cargas "Leitz" (ver figura 45a) en donde se ubicaron las probetas (ver figura 45b) y se les aplico una pequeña carga (ver figura 45c), la cual dejaba una huella en forma de diamante (ver figura 46), la cual según sus dimensiones en el eje "x" y en el "y" se cuantifican en una tabla y se toma los valores de dureza correspondientes.

Figura 45. Microdurometro de pequeñas cargas Leitz. a) Vista general, b) Ubicación probeta, c) Aplicación de la carga.



Fuente: autores.

Figura 46. Huella en forma de diamante.



Fuente: autores.

2.1.3 Resultados. Los resultados arrojados por la prueba se ilustran en la siguiente tabla 3, se muestran los valores ponderados de dureza obtenidos de diferentes virutas en cada probeta. Para una mejor visualización de los datos podemos ver gráficamente la figura 47 para virutas de acero aleado 4140, en

condiciones de mecanizado sin fluido y con fluido de corte y en la figura 48 para virutas de acero al carbón 1020, en condiciones de corte sin fluido y con fluido de corte.

Tabla 3. Valores ponderados de Dureza HV y HRc para las virutas de diferentes materiales, con fluido de corte (R) y sin fluido de corte (SR) en las condiciones de mecanizado.

Material	DUREZA HV	DUREZA HRc
4140	251	22
4140 SR	429,200	43,200
4140 R	464,2	46,5
1020	200	0
1020 SR	345,7	35
1020 R	421,2	42,5

Fuente: autores.

Figura 47. Grafica prueba de dureza viruta acero aleado 4140, en condiciones de mecanizado sin y con fluido de corte.

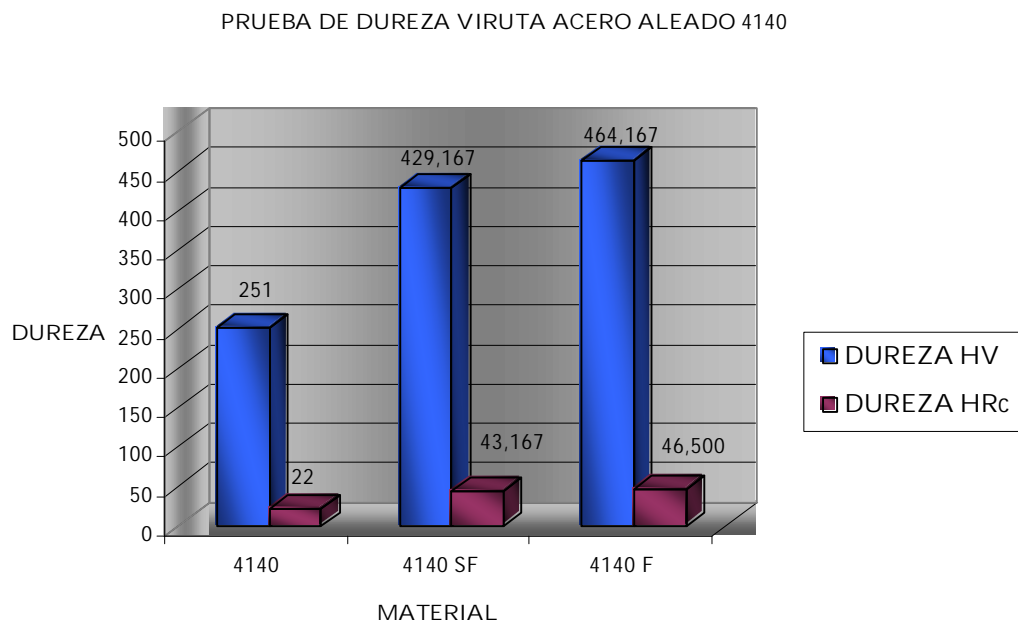
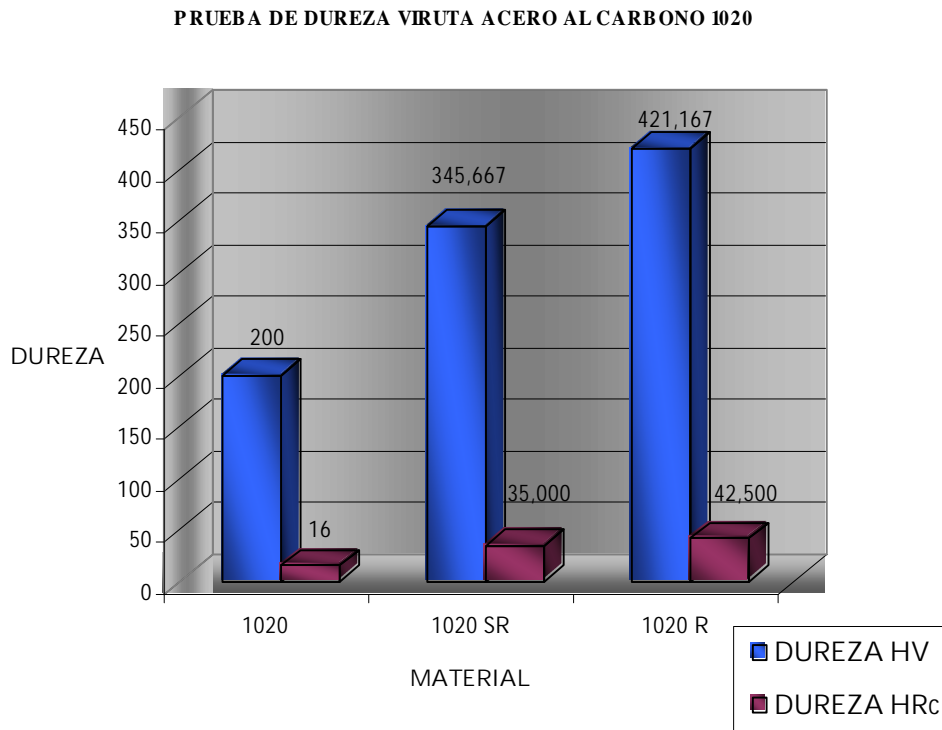


Figura 48. Grafica prueba de dureza viruta acero al carbono 1020 en condiciones de mecanizado sin y con fluido de corte.



Fuente: autores.

2.1.4. Conclusiones.

§ El aumento de la dureza para estos tipos de materiales (AISI 1020 , AISI 4140) en la viruta ocasionado por la operación de corte equivale casi al 50%.

§ En el acero 1020 el incremento de la dureza en HRc es de 7.5 unidades, causada por la presencia del refrigerante.

§ En el acero 4140 el incremento de la dureza en HRc es de 3.3 unidades, causada por la presencia del refrigerante.

§ Al evacuarse de manera mas rápida el calor las estructuras de los aceros

cambian de una manera mas acelerada formando estructuras perlíticas, fragilizando el material.

§ El aumento en la dureza debido a un cambio térmico incontrolado drástico ocasiona que el la viruta se vuelva mas frágil facilitando su ruptura, desprendimiento y fácil remoción.

Como se ha estudiado anteriormente con gran detenimiento la refrigeración y la evacuación de la viruta son elementos claves en el proceso de mecanizado, ya que infieren en variables como son: Temperatura, acabados finales, desgaste en la herramienta y pérdida de propiedades superficiales del material.

El gran objetivo de este desarrollo tecnológico, es bajar la temperatura de mecanizado por medio de una óptima aplicación del fluido de corte, así como evacuar de una manera más eficiente la viruta permitiendo una mayor duración de la vida de la herramienta, y permitiendo el mínimo de contacto entre la viruta y el material trabajado.

Con tal fin se presenta una descripción del proceso realizado para la realización del dispositivo.

El estudio y realización del sistema final se llevo acabo en tres fases:

- § Sistema de refrigeración actual
- § Propuesta preliminar
- § Propuesta final.

2.2 SISTEMA DE REFRIGERACION ACTUAL

Actualmente el sistema de refrigeración y evacuación de virutas en la gran mayoría de centros de mecanizados se hace por medio de aplicación a chorro en donde se utilizan generalmente dos boquillas, una, para la zona de corte y

la otra para refrigerar y evacuar la viruta, pero este sistema no es tan eficiente (Figura 49) porque el efecto de la velocidad centrífuga de la broca ocasiona un bombeo del refrigerante evitando que este llegue eficazmente a la zona de corte que es el objetivo final.

Figura 49. Sistema convencional de refrigeración a chorro.



Fuente: autores.

2.3. PROPUESTA PRELIMINAR

Teniendo en cuenta los anteriores problemas, y partiendo del hecho que una conversión del sistema de refrigeración central es muy costosa y se convierte en el motivo fundamental por el cual las empresas nacionales siguen utilizando sistemas convencionales de evacuación de virutas, se procedió a realizar la selección y diseño del sistema mas optimo y económico que pueda mejorar las características de mecanizado.

2.3.1 Selección del portaherramientas. La selección del dispositivo y todos los componentes del sistema se realizaron basados en el aporte entregado por la empresa israelí ISCAR y su representante en Colombia RACSI TOOLS

ubicada en la ciudad de Bogota en la calle 50 No. 73-13, empresa especializada en proveer a la industria del mecanizado los últimos avances tecnológicos, en herramientas de corte y dispositivos de sujeción, así como una amplia gama elementos útiles en el proceso de mecanizado de alta tecnología y precisión.

Inicialmente se optó por diseñar un portaherramientas que fuera adaptado a un mango con un cono tipo ISO 40 debido a que aproximadamente ⁵ de 1.200 máquinas centros de mecanizado 1100 tienen husillos para conos BT 40. Que tuviera aplicaciones en centros de mecanizado y operaciones de mecanizado flexibles.

2.3.2 Selección del sistema de sujeción de la herramienta. Para efectos de precisión la base de trabajo de la propuesta original fue un sistema de sujeción MB de tipo ITS- Bore de la casa fabricante ISCAR ver figura 50.

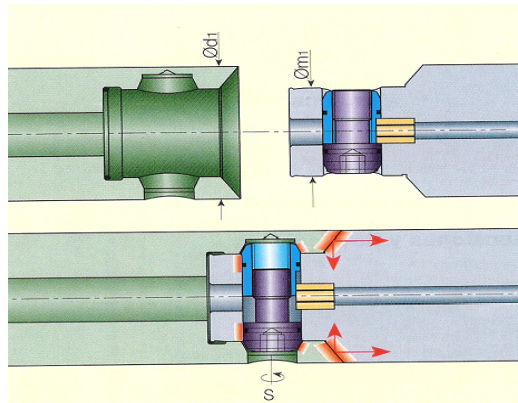
ITS-BORE ⁶ es un sistema modular de portaherramientas para mandrinado, fresado, taladrado y roscado.

Es un sistema sólido y de alta precisión, concebido y producido con los diseños y medios de producciones mas avanzados. El sistema es de absoluta flexibilidad y simplicidad y esta recomendado para maquinas herramienta, centros de mecanizado y sistema flexibles de fabricación de piezas.

⁵ ENTREVISTA con Ing. William Sánchez, gerente Racs Tools. Santa fe de Bogotá 15 de octubre 2005.

⁶ ISCAR tools: Sistemas de fijación. Its Bore . Israel :Enero 2003 p. B3

Figura 50 ITS Bore acoplamiento MB



Fuente: Catalogo Iscar.

Adecuado para un mecanizado con tolerancias estrictas y con un excelente acabado superficial. Su acoplamiento cilíndrico-cónico y cierre expansible radial proporcionan una máxima rigidez y concentricidad en mandrinado y fresado.

La denominación del portaherramientas es MB 63 para un $\varnothing m1 = 42$ mm. y $\varnothing d1 = 63$ mm. el par torsor de apriete es de 80 a 90 N-m (ver detalles plano No. 006)

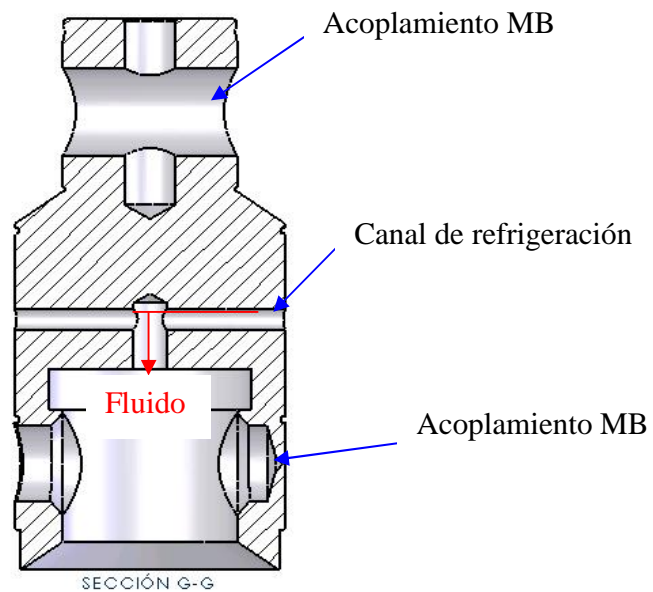
2.3.3 Selección del sistema de refrigeración de la herramienta.

El objetivo final es tratar de evacuar la viruta y refrigerar la herramienta de una manera optima por lo cual se decidió hacer unas perforaciones en el portaherramientas que permitiera llevar el fluido a través de la herramienta. Ver figura 51.

Se realizó un canal de 5.4 m.m de diámetro, transversalmente en el portaherramientas que permite que el fluido sea trasportado del las

mangueras de distribución a través del portaherramientas ver figura 53. Detalles plano No. 003.

Figura 51. Portaherramientas propuesta definitiva.



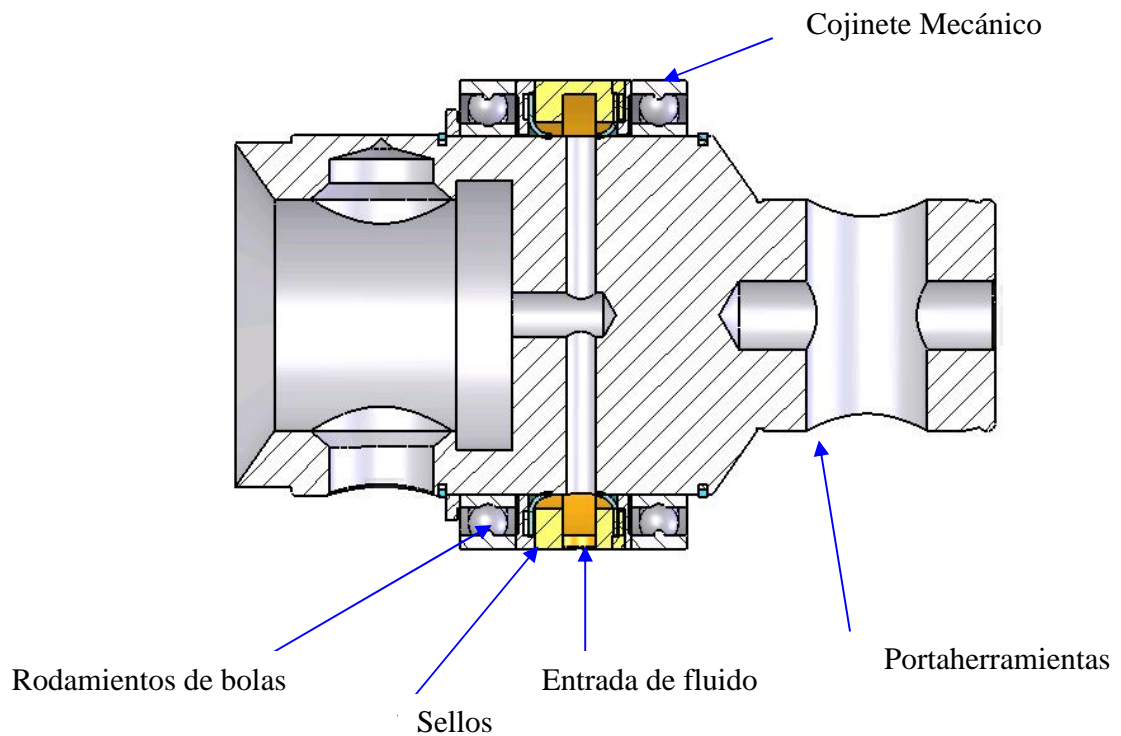
Fuente: autores.

El problema a solucionar de gran relevancia es la independencia del movimiento entre el portaherramientas y el cuerpo exterior que debe estar sujeto al alimentador del fluido que por condiciones lógicas de funcionamiento debe estar completamente estático.

Para solucionar este inconveniente se decide instalar un sistema de cojinete mecánico consistente en rodamientos de bolas y una serie de sellos que además de aislar el movimiento evita fugas por el interior de los rodamientos ver figura 52. Así mismo para soportar y garantizar la vida de los rodamientos es necesario fabricar un cuerpo exterior que sirve de soporte de

todo el portaherramientas y acople con el alimentador del fluido ver figura 55, ver detalles plano No. 002 y plano No.007.

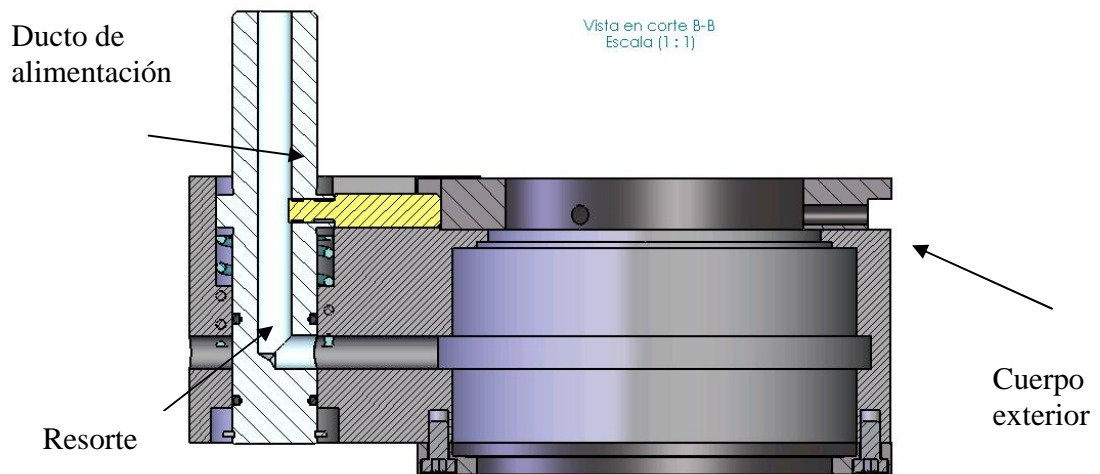
Figura 52. Ensamble Portaherramientas - sistema de refrigeración.



Fuente: autores.

Para la alimentación del fluido que viene del sistema hidráulico de la maquina se adapto una entrada de fluido compuesta por un ducto de alimentación que se encuentra pivotado por un resorte que da un movimiento libre en el acople. Ver figura 53. Detalles plano No. 004 y plano No. 005.

Figura 53 Cuerpo exterior del portaherramientas y ducto de alimentación

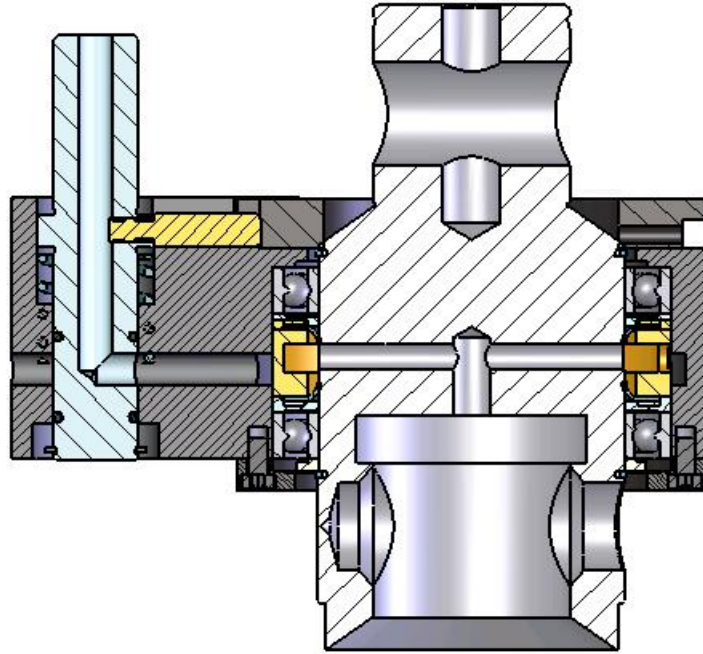


Fuente: autores.

De esta manera queda definido totalmente el sistema de refrigeración a través de la herramienta ver figura 54, hay que hacer énfasis en que este sistema necesita además del presente dispositivo un mango tipo BT 40 con conexión MB 63 y que además es necesario ajustar el portaherramientas final que llevara la herramienta que desprenderá material (ver detalles plano No. 001). Esto hace que el presente dispositivo no sea tan versátil, ya que su ubicación en el magazín es imposible y lo limita en su colocación ya que debe hacerse manual. Esto lo limita única y exclusivamente a empresa de producción en serie, que desafortunadamente no es la realidad actual del mercado.

Así mismo, el costo es elevado debido a que cuenta con un gran número de piezas de mecanizado cuidadoso, y como cualquier elemento mecánico que se someta a fricción, los rodamientos deben tener una periodicidad de cambio y un excelente mantenimiento.

Figura 54 Sistema preliminar de refrigeración a través de la herramienta.



Sin embargo se convierte en una excelente solución para problemas de evacuación de virutas y refrigeración de la herramienta en operaciones de producción en serie, dando excelentes resultados en acabados y tiempos de mecanizado.

3. SISTEMA DEFINITIVO PARA LA RECONVERSION TECNOLÓGICA DE LA HERRAMIENTA DE CORTE

La solución presentada en este trabajo de grado se basa en la elaboración de un portaherramientas que debido a su configuración geométrica permita realizar una mejor refrigeración de la herramienta de corte y por supuesto una mejor evacuación de la viruta, por tal motivo se hizo indispensable estudiar los sistemas de fijación y todos sus componentes bajo la óptica de ISCAR.

Se busca disminuir los problemas presentados con el dispositivo preliminar logrando realizar un sistema integral que combine mango y portaherramientas en un solo dispositivo que lo vuelva mucho más versátil y económico debido al cambio más importante: la disminución de elementos mecánicos, cambiando la independencia del movimiento por un cojinete hidráulico de alta eficiencia que además de servir de cojinete garantice la mayor vida de todos los elementos del sistema. Adicionalmente debido a su configuración geométrica puede ser colocado en el magazín para un cambio rápido de herramienta lo que lo hace más versátil en la programación de la máquina.

3.1 NORMALIZACION DE LOS PORTAHERRAMIENTAS.

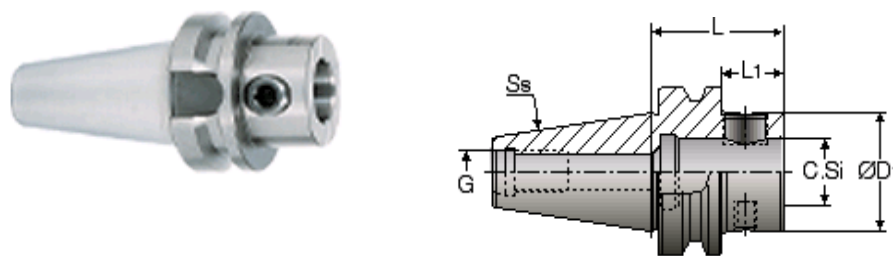
3.1.1 Portaherramientas. El mecanizado¹ convencional y de alta velocidad requiere altas precisiones de concentricidad de la herramienta de corte con el fin de evitar errores y aumentar la seguridad del proceso en el mecanizado a

¹METALUNIVERSE, mecanizado de alta velocidad (online) España 2003 Disponible Internet:
<URL:<http://www.metalunivers.com/Arees/altavelo/tutorial/tekniker/portaherramientas.htm> >

altas revoluciones de corte. Se utilizan los conos SK 40 & 50 y BT 40 & 50 Ver figura 55.

El proceso de selección del portaherramientas que fue utilizado en la elaboración de este sistema de refrigeración a través de la herramienta se hizo tomando como base que: “En Colombia existen aproximadamente 1200 Centros de mecanizado de los cuales 1100 tienen husillos para conos regidos por la norma ISO 40”⁷ Ver figura 55 a y b.

Figura 55. a) Portaherramientas BT 40 y DIN 69871



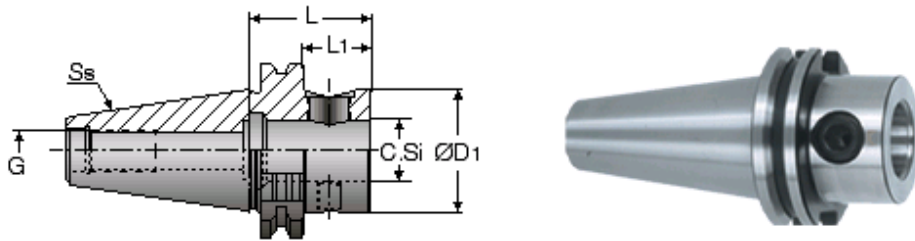
Designation	Ss	C.Si	L	L1	D1	G	Weight
BT40 CF4-L	BT40	CF4	110,00	83,0	44,5	M16	2,00
BT40 CF4-S	BT40	CF4	52,00	25,0	44,5	M16	1,35
BT50 CF4-L	BT50	CF4	115,00	77,0	44,5	M24	4,82
BT50 CF4-S	BT50	CF4	63,00	25,0	44,5	M24	4,03

Fuente: Iscar Interactive catalog, tooling.

Por razones de aplicación nacional y comercialización se decidió seleccionar un portaherramientas Tipo BT 40 para hacer su adaptación al sistema de refrigeración a través de la herramienta.

¹ ENTREVISTA con Ing. William Sánchez, gerente Racsí Tools. Santa fe de Bogotá 15 de octubre 2005.

b) Portaherramientas DIN 69871



Designation	Ss	C.Si	L	L1	D1	G	Weight
DIN69871 40 CF4-L	SK40	CF4	100,00	80,0	44,5	M16	1,81
DIN69871 40 CF4-S	SK40	CF4	44,10	25,0	44,5	M16	0,93
DIN69871 50 CF4-L	SK50	CF4	100,00	80,0	44,5	M24	3,93
DIN69871 50 CF4-L B	SK50	CF4	100,00	80,0	44,5	M24	11,41
DIN69871 50 CF4-S	SK50	CF4	44,10	25,0	44,5	M24	3,04
DIN69871 50 CF4-S R	SK50	CF4	44,10	25,0	44,5	M24	3,03

Fuente: Iscar Interactive catalog, tooling.

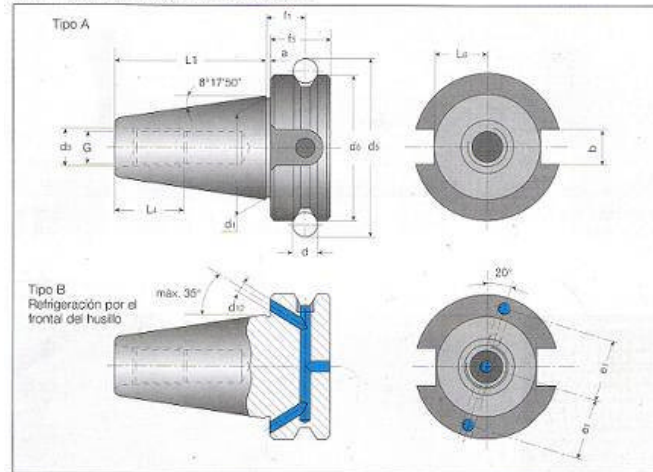
Las variables L y L1 indicadas en la figura 56 por cuestiones de adaptabilidad no corresponden a los datos definitivos del sistema porque varían dependiendo de la aplicación por tal motivo la referencia "L" o "S" no aplica para el proyecto.

A continuación se pueden observar profundamente las características dimensionales por norma del cono BT 40 y las cuales fueron base fundamental en la creación de todo el dispositivo Ver figura 56.

3.1.2 Característica de trabajo de los portaherramientas. El mecanizado requiere de altos niveles de precisión en sus medidas y aun cuando este portaherramientas será seleccionado teniendo en cuenta operaciones de desbaste de bajas revoluciones que no requieren de medidas definitivas si se tratara de realizar con la menor tolerancia posible. Se utilizan los conos SK 40 & 50 (DIN 69871) y BT 40 & 50.

Figura 56 Norma para portaherramientas BT

Norma para Portaherramientas



Mango	a	b H ₁₂	d	d ₁	G	d ₂ H ₁₂	d ₃	d ₄ H ₁₂	f ±0,1
BT 30	2	16,1	8	31,75	M12	12,5	58,144	45	13,8
BT 40	2	16,1	10	44,45	M16	17	75,679	63	16,6
BT 50	3	25,7	15	69,85	M24	25	119,020	100	23,2

Mango	F ₁	L ₁ ±0,2	L ₂ MIN	L ₃ -0,2	θ ₁ ±0,1	d ₁₂	Cono ATS
BT 30	20	46,4	24	16,3	21	4	0,002
BT 40	25	66,4	30	22,6	27	4	0,003
BT 50	35	101,8	45	35,4	42	6	0,004

Fuente: Iscar Interactive catalog, tooling.

Las ventajas de los sistemas de sujeción, se resumen en los siguientes puntos:

- § Proporcionan mayores exactitudes de cambio y repetitividad.
- § Transmisión segura de un elevado par con un posicionamiento radial definido (ausencia de run-out).
- § Gran rigidez a la flexión estática y dinámica.
- § Disminución del peso y de la longitud total, con lo que se disminuyen los problemas de tipo inercial.(ver detalles del portaherramientas seleccionado plano 009 y plano 010)

§ Precisión para portaherramientas: En la tabla 4. se muestra la precisión que se logra con los diferentes sistemas de sujeción. Para efectos de la elaboración del portaherramientas diseñado en el presente proyecto se utilizaron acabados mas conservativos elevando un poco mas los costos pero estableciendo la importancia de la funcionalidad el prototipo para tales efectos se utilizaron tolerancias generales de 0.001 m/m y en superficies especiales se dejo indicado.

Tabla 4. Precisión en portaherramientas

Útil	Precisión (m/m)
Porta pinzas convencional	0.015
Porta pinzas tipo Weldon	0.020
Porta pinzas hidráulico	0.003
Porta de deformación mecánica	0.003
Porta de dilatación térmica	0.003

Fuente: Iscar Interactive catalog, tooling.

Para efectos de la elaboración del portaherramientas diseñado en el presente proyecto se utilizaron acabados mas conservativos elevando un poco mas los costos pero estableciendo la importancia de la funcionalidad el prototipo para tales efectos se utilizaron tolerancias generales de 0.001 m/m y en superficies especiales se dejo indicado.

3.1.3. Efectos del desequilibrio. Los efectos negativos del desequilibrio de la herramienta/portaherramientas pueden ser divididos en dos categorías:

Efectos sobre la pieza mecanizada: generación de ruidos agudos rechinar de la superficie metálica causadas por el movimiento de la herramienta de corte. Otro efecto es la imposibilidad de conseguir tolerancias muy precisas.

Efectos sobre la máquina: Son más destructivos que los efectos sobre la pieza mecanizada. Las fuerzas centrífugas causan grandes tensiones internas en el husillo. Estas tensiones provocan un fallo prematuro de los rodamientos. Esto puede significar la parada de producción de una máquina de alta velocidad durante semanas con el fin de sustituir el husillo de precisión, operación que no está exenta además de un alto coste económico. Otro efecto del desequilibrio está relacionado con la reducción de la vida de la herramienta de corte (50% menos respecto al uso de portaherramientas equilibrados). En un principio todos los portaherramientas son equilibrados desde su fabricación a las revoluciones que exige el cliente (G6.3, G2.5...).

El portaherramientas que ofrece un mayor grado de equilibrado es el térmico; sin embargo existen equipamientos externos que nos permitirán un equilibrado más preciso. Para el mecanizado a alta velocidad, lo ideal sería reequilibrar el conjunto herramienta / portaherramientas / husillo en la propia máquina herramienta. No obstante, hoy en día, existen muy pocos sistemas para un equilibrado completo, por lo que hay que hacerlo en una máquina de equilibrado externa.

Fig. 57. Comparación entre vástagos HSK y BT



Fuente: autores.

El portaherramientas que se va a fabricar trabajaría en condiciones máximas de giro de $n= 1000$ rpm y en operaciones de desbaste lo cual indica que el desequilibrio no es un factor fundamental en los efectos posteriores.

3.1.4 Selección del sistema de sujeción de la herramienta. El sistema de fijación es una de las variables más importantes en el diseño de adaptadores y portaherramientas pues este garantiza la perfecta funcionalidad de la herramienta y por supuesto el mecanizado más óptimo.

- Sistema de sujeción seleccionado. Para el dispositivo final se selecciono un sistema de fijación tipo CLIKFIT⁸. Este concepto es introducido a la industria del mecanizado por la empresa Israelí ISCAR, que garantiza una mejor sujeción y la rigidez del proceso.

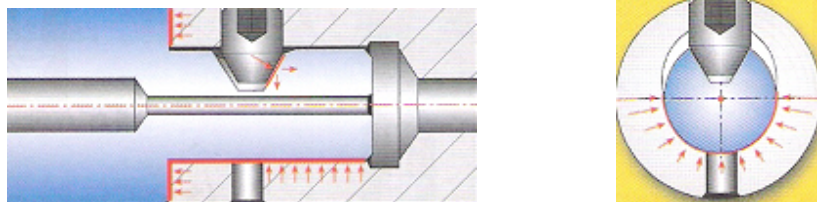
⁸ ISCAR tools: Sistemas de fijación. Its Bore . Israel :Enero 2003 p. B3

ClickFit es un tipo de sujeción, que se basa en un tornillo de fijación que encaja el mango dentro de un semicírculo de menor diámetro forzando cierta deformación elástica del portaherramientas.

El acero se contrae alrededor de la herramienta y la superficie de contacto resultante es superior a 180°. El tornillo de fijación también fuerza el mango contra el portaherramientas.

El resultado es un nivel de rigidez comparable al de una pieza integral. Ver figura 58 ver detalle sistema klikfit en el dispositivo plano No.009.

Fig. 58. Klikfit

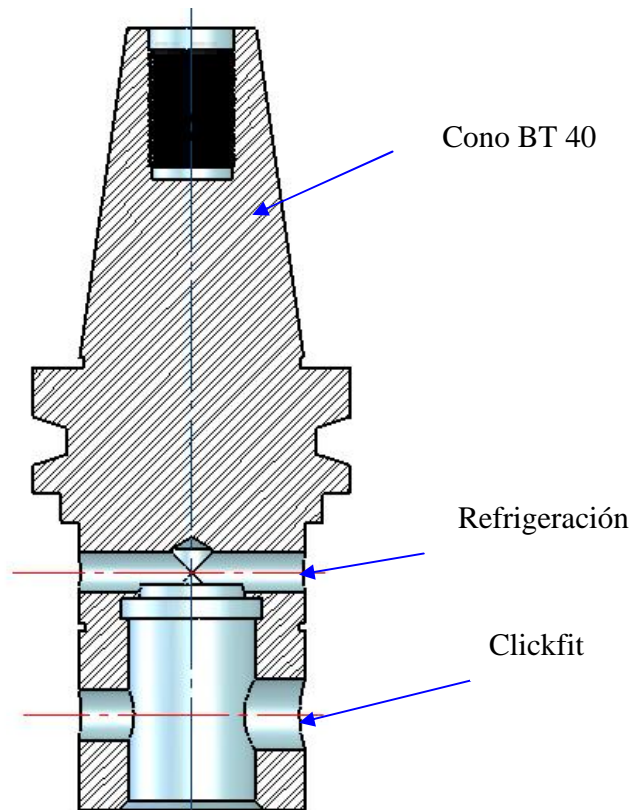


Fuente: Iscar Interactive catalog, tooling.

Se seleccionó un sistema BT 40 MAS CF 4* Clickfit que es un sistema modular anti-vibratorio ideal para la aplicación. Figura 59 .

* ISCAR tools: Sistemas de fijación. Its Bore . Israel :Enero 2003 p. B3

Figura 59. Portaherramientas final



Fuente: autores.

Para ver detalles y medidas finales observar planos no. 009 y No. 010.

Compendio de planos definitivos Anexo H.

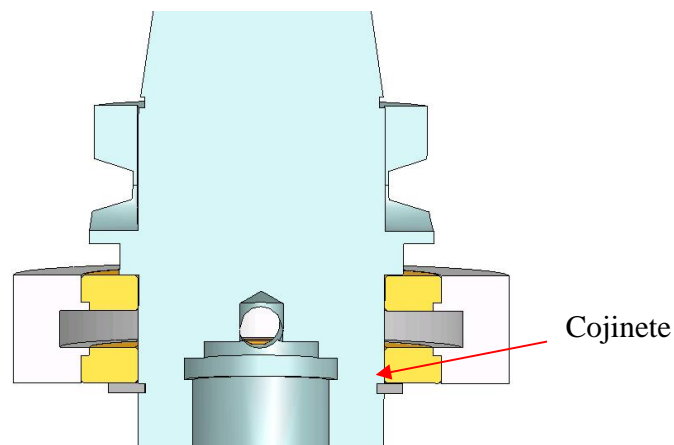
3.2 DISEÑO DEL SISTEMA DEL COJINETE.

A continuación se hará una selección y un cálculo del cojinete.

3.2.1 Tipo de cojinete : El gran obstáculo a vencer con el nuevo sistema es la independencia de movimientos entre el cuerpo exterior y el cono como tal. Debido a que mientras el portaherramientas puede estar girando alrededor de 1000 rpm, se necesita que el cuerpo exterior por el cual se alimenta el refrigerante este completamente estático Ver figura 60.

Para el diseño del sistema de refrigeración se tomo como base la teoría de la lubricación hidrodinámica expuesta por Norton⁹ .

Figura 60. Cojinete hidráulico.



Fuente : autores.

Se utilizara un cojinete hidrodinámico que pueda ayudar a vencer efectos tales como:

- Independizar los movimientos.
- Servir de colchón hidráulico que elimine efectos indeseados.
- Eliminar al máximo golpes nocivos en el arranque.

⁹ NORTON, Robert L. Diseño de maquinas. México: Prentice Hall,1999. P.653.

- Eliminar costos de rodamientos, resortes y elementos mecánicos.
- Así mismo, eliminar costos de mantenimiento y reemplazo de elementos sometidos a desgaste.

3.2.2 Diseño Del Cojinete. El diseño del cojinete requiere determinar con anterioridad variables y valores determinados para algunas de ellas.

Se requiere determinar una combinación adecuada de diámetro y/o longitud que operará con una viscosidad adecuada del fluido con una holgura razonable y manufacturable, con una razón de excentricidad que no permita el contacto metal a metal bajo carga o en cualquier situación esperada de sobrecarga.

Elementos a seleccionar y calcular:

§ h_o = Espesor de la película del refrigerante.

§ L = Longitud del cojinete.

§ Par torsor mínimo para vencer la película.

§ Aspereza superficial.

§ Espesor de la película : h_o .

Una de las variables más influyentes en el diseño de los cojinetes es h_o . Norton establece si h_o es muy pequeño puede ocasionar un incremento de la temperatura excesivo.

Este autor propone $h_o = 0.00025D$ (siendo D el diámetro nominal del cojinete).

$$D = \frac{D_c - D_a}{2} ; \quad (\text{Ec. 28})$$

donde: D_c = Diámetro del cuerpo del portaherramientas

$D_c = 45 \text{ mm}$.

Debido a que se desconoce el diámetro interior del aro interno se trabajara como dimensión base, el diámetro del cuerpo del portaherramientas.

$D_c = 45 \text{ mm}$.

Entonces $h_o = 0.00025 * 45 \text{ mm} = 0.011 \text{ mm}$.

Debido a que este diseño es experimental, se va a ser bastante conservativos previendo alteraciones de algunas variables y problemas mínimos no mecanizados, ya que las tolerancias son mínimas, tomando un valor h_o conservativo de 0.1 mm.

En esta forma se puede establecer el diámetro interior del aro interno, $D_a = 45.1 \text{ mm}$.

Según Norton ¹⁰ en las maquinas modernas no suelen montarse cojinetes largos, debido a las pequeñas deflexiones o faltas de alineación en las flechas que pueden reducir a cero las tolerancias radiales. Las razones típicas l/d en los cojinetes modernos ocurren en un rango de $\frac{1}{4}$ a 1. La solución de Sommerfeld¹¹ supone que no habrá fugas de aceite en los extremos del cojinete, pero en estas razones l/d pequeñas las fugas por los extremos pueden ser un factor importante.

En el presente caso se observa que una pequeña fuga de lubricante por los extremos no afectaría trascendentalmente el sistema, y que debe estar en un valor pequeño debido a la limitante de longitud, porque una longitud del cojinete mayor obligaría directamente a que el portaherramientas aumentara en longitud, situación que si alteraría la funcionalidad del mismo aumentando la vibración y otros efectos secundarios. Por tal motivo se determino que la relación $l/d = 0.45$.

Con esto se puede determinar la longitud del cojinete:

¹⁰ NORTON, Robert L. Diseño de maquinas. México: Prentice Hall, 1999. P.658.

¹¹ Ibid, p. 657.

$L = 0.45 * 45\text{mm} = 20 \text{ mm. aprox.}$

Se obtiene así la última dimensión faltante para nuestro diseño y elaboración del cojinete.

El par de torsión sin carga, en una película de fluido según la ecuación de Petroff ¹² es:

$$T_o = \frac{\partial \pi^2 L n'}{Cd} ; \quad (\text{Ec. 29})$$

donde n' = numero de revoluciones por segundo.

Se observa que el par de torsión se hace mayor a medida que el n' sea mayor, para tomar una situación critica se hace es trabajar con condiciones de velocidad extrema, tomando un valor elevado para n' .

$n' = 33 \text{ rev/seg para } 2000 \text{ rpm.}$

La densidad seleccionada es de 1 gr. /dm^3 acercándose así a la densidad del agua ya que los lubricantes utilizados en el mecanizado de piezas tienen una densidad muy baja.

Deducimos pues,

$$T_o = 0.2968[N - m]$$

La aspereza superficial según Norton en cojinetes equivale a la tercera o cuarta parte del espesor de la película esto nos da un $Ra = 0.3$ aprox. Para ser conservativos debido a las condiciones del refrigerante y de los materiales se utilizara un factor de $N = 5$. Ver tabla 5.

¹² NORTON, Robert L. Diseño de maquinas. México: Prentice Hall, 1999. P.654.

Tabla 5. Rugosidades en mecanizado.

R _{max} μm	R _a = CLA = AA		RMS		Grado de rugosidad	Símbolo triangular
	μm	μinch	μm	μinch		
1,6	0,30	11,8	0,33	13,1	N5	
1,8	0,35	13,8	0,39	15,3		
2,0	0,40	15,7	0,44	17,4		
2,2	0,44	17,5	0,49	19,4		
2,4	0,49	19,2	0,54	21,3		
2,6	0,53	20,8	0,59	23,1		
2,8	0,58	22,7	0,64	25,2		
3,0	0,63	24,6	0,70	27,3		
3,5	0,71	27,8	0,79	30,9		
4,0	0,80	31,4	0,89	34,8	N6	
4,5	0,90	35,2	1,0	39,1	N7	
5,0	0,99	38,8	1,1	43,1		
6,0	1,2	47,2	1,3	52,4		
7,0	1,4	55,1	1,5	61,2		
8,0	1,6	63,0	1,8	70,0		
9,0	1,8	71	2,0	78,8	N8	
10,0	2,0	79	2,2	87,7		
15,0	3,2	126	3,10	140		
20,0	4,4	173	4,9	192	N9	
25,0	5,8	238	6,4	264		
27,0	6,3	247	7,0	274	N10	
30,0	7,4	292	8,2	324		
35,0	8,8	346	9,8	384		
40,0	10,7	422	11,9	468	N10	
45,0	12,5	485	13,9	538		
50,0	14,0	552	15,5	613		

Fuente : autores.

3.2.3 Cálculo del volumen del cojinete.

El volumen del fluido que se encontrara en el sistema en un tiempo determinado será igual a:

$$V = ((D1 - D2) * 2 * L3) + ((D3 - D2) * L4) \quad (\text{Ec. 30})$$

$$V = (2.62 * 10^{-7} \text{ m}^3) + (1.74 * 10^{-5} \text{ m}^3) = 1.76 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Donde :

D1 = Diámetro interior de aro interno.

D2= Diámetro exterior del portaherramientas en la zona del cojinete.

D3= Diámetro en contacto con el fluido en el anillo de retención.

L3= Longitud del aro interno.

L4 = Longitud de la zona en contacto con el fluido en el anillo de retención.

3.3 DESCRIPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN A TRAVÉS DE LA HERRAMIENTA.

El sistema de refrigeración a través de la herramienta versión 1 es la solución óptima para empresas dedicadas al mecanizado de materiales, y que necesitan mejorar sus condiciones particular para optimizar los procesos de fresado y taladrado ver figura 63.

El presente sistema esta conformado por tres elementos básicos:

1. Un cono de sujeción de la herramienta: que permite utilizar portaherramientas de mango CF4 de diámetro 25 mm. para brocas y fresas.
2. Un cuerpo exterior: Denominado Aro de retención, su función principal es la de hacer de cuerpo y soporte del anillo interno en el se acopla la manguera que viene de la maquina-herramienta y por el cual encuentra su trayectoria de funcionamiento el fluido (ver detalles plano 011).
3. Dos anillos internos: Ellos cumplen la función crear el cojinete hidráulico entre el cuerpo rotatorio (cono) y el cuerpo estático (cuerpo exterior), cumple una función de "fusible" ya que esta pieza es la única que en un tiempo determinado debería cambiarse si el fluido no esta trabajando correctamente (ver detalles plano 012).

Figura 61. Sistema de refrigeración a través de la herramienta versión 1



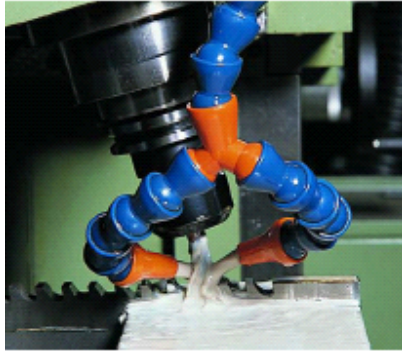
Fuente : autores.

3. Un anillo seeger Tipo A 45: que soportan el aro de retención del fluido evitando movimientos axiales.

§ Transporte del fluido: El fluido será llevado a través del portaherramientas por medio de una manguera especial referencia Loc-Line¹³ ¼" Ver figura 62.

Figura 62. Manguera Loc -line

¹³LOCKWOOD PRODUCTS, INC Loc-line. U.S.A 2004. (online) Disponible internet: <URL:<http://www.locline.com/catalog/images/locline04.pdf> >



Fuente : autores.

Esta manguera supera valores de presión entre 5 -10 bares. La necesaria para el trabajo. Ver características Anexo D.

§ Materiales utilizados: para el desarrollo del dispositivo se utilizaron básicamente tres tipos de material. Debido que en el sistema no hay elementos estructurales que merezcan una selección y calculo exhaustivo. La selección de materiales se hizo en variables particulares que estaban definidas por la misma utilización del mismo.

- Cono: Para la producción del cono bt 40 se seleccionó un acero 4340 de buenas propiedades estructurales (ver propiedades anexo E) y que se puede llevar a una dureza final de 48-52 HRc, que es básicamente la deseada.

- Aro de retención del fluido : Uno de los grandes retos era evitar que el sistema se hiciera pesado y causara efectos secundarios en el funcionamiento. Por tal motivo se necesitaba un material que tuviera excelentes propiedades de dureza pero que fuera liviano. Para tal efecto se selecciono un Duraluminio (ver propiedades anexo F)de buena estabilidad dimensional y de peso adecuado.

- Aro interno: Es el encargado de crear el cojinete, debe ser liviano y de

bajo costo debido a que es la pieza a reemplazar. Para cumplir con estas necesidades se selecciono un material plástico de excelentes características que además de esto tiene un funcionamiento óptimo al contacto con el agua, este es el Teflón (PTFE) (ver propiedades anexo G) . Ver detalles del anillo interno plano No. 012.

Ver cuadro de caracterización tabla 6

Tabla 6 Caracterización del sistema de refrigeración.

Sistema	Cdad	Subsistema	Material	Observaciones
Portaherramientas	1	Cono portaherramientas	Acero AISI 4340	Tratamiento térmico 48- 52 HRc
	1	Aro de retención	Duraluminio	
	1	Aro interno	Teflón	
Refrigeración	1	Manguera ¼" Loc-line	Ver anexo E	
	1	Acople Manifold	Bronce	Caundo sea necesario

Fuente : autores.

Peso aprox.: 1705 gramos.

Revoluciones de trabajo máx.: 1000 r.p.m. para taladrado.

Maquinas en las que se puede utilizar: Todotas las maquinas que cuenten con husillos para conos BT 40, y que posean sistema de refrigeración convencional con presión mínima de 2 bar. Ver ensamble general de l sistema de refrigeración y evacuación de virutas en el plano No. 008.

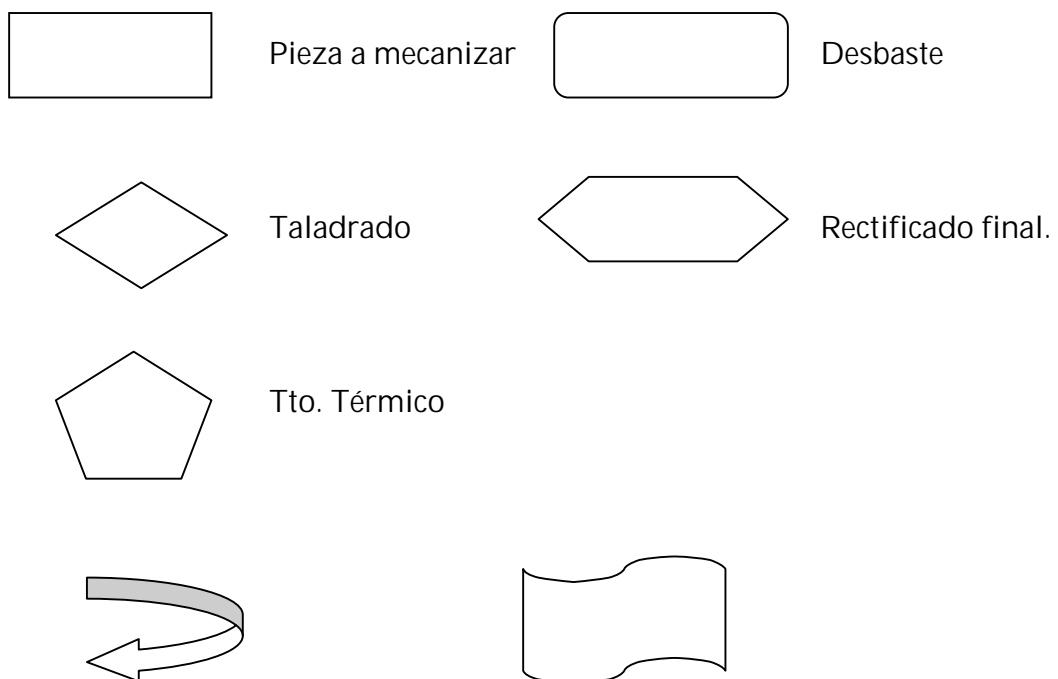
3.4. PROCESO DE MECANIZADO.

Una vez terminado el proceso de diseño y selección del portaherramientas, se procede a realizar el mecanizado de las piezas. Para realizar este trabajo se contó con la colaboración de la empresa FABRIN y su gerente el Ing. Juan E. Castro, ubicada en la cra. 26 No. 23ª -41 en la ciudad de Bogotá, debido a que es una empresa de confianza para procesos de mecanizado de la empresa Racsi Tools. Todos los procesos de mecanizados fueron realizados en (MHCN) Maquinas herramientas de control numérico.

Básicamente se mecanizaron 3 piezas fundamentales:

- § Cono portaherramientas.
- § Aro de retención.
- § Aro interno.

3.4.1 Descripción del proceso . Para hacer una mejor descripción de las labores realizadas se utilizara un diagrama de flujo que describirá las labores y etapas del proceso. Los símbolos utilizados son los siguientes:



Girar 180°

Rectificado final

Fuente: autores.

La herramienta a utilizar fue seleccionada previo al proceso para ganar tiempo de mecanizado.

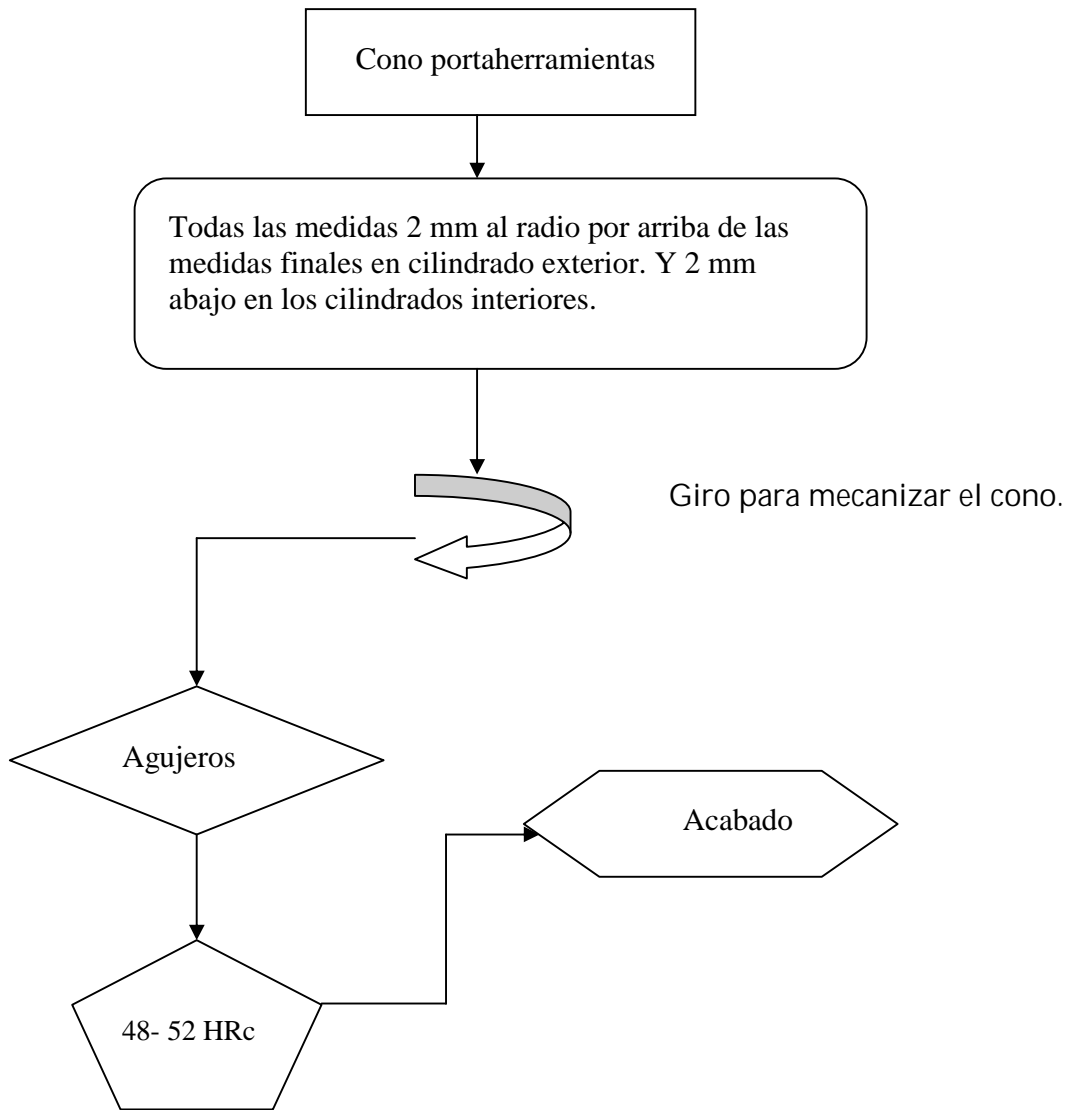
3.4.2 Tipo de sujeción. El tipo de sujeción de la pieza en este caso la del cono portaherramientas, son mordazas de accionamiento neumático, propia de la maquina (ver figura 63) por lo que no es necesario hacer adaptaciones de ningún tipo.

Figura 63. Torno de control numérico utilizado en el mecanizado.



Fuente: autores.

3.4.3 Diagrama final.



Fuente: autores.

4. PRUEBAS Y ANALISIS DEL SISTEMA.

Las pruebas fueron realizadas en 5 áreas:

- § Revisión del producto: Metrología.
- § Montaje, adecuación y puesta en marcha.
- § Mecanizado y revisión de cumplimiento de funcionalidad.
- § Procedimiento de uso.
- § Análisis de temperatura en software ANSYS workbench.

4.1 REVISIÓN DEL PRODUCTO: METROLOGÍA.

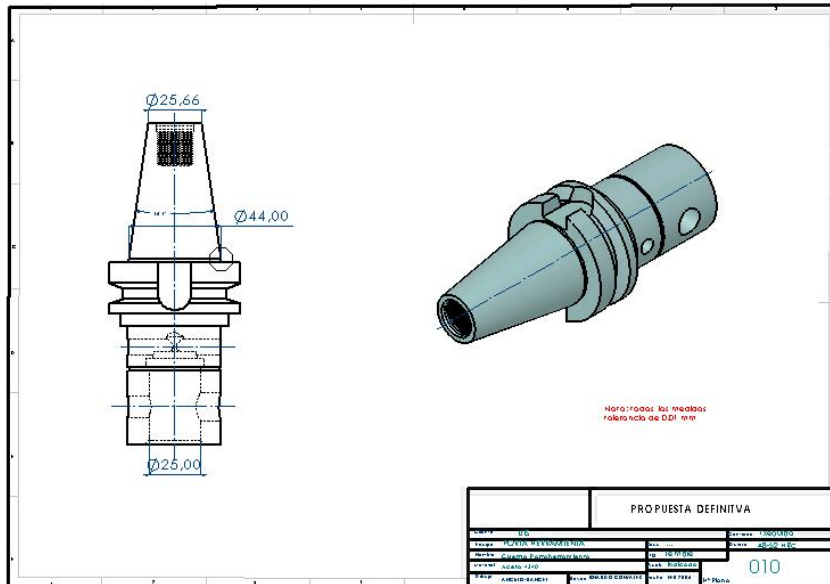
Es importante antes de hacer el montaje de la pieza realizar mediciones en las zonas críticas así como establecer si los materiales son los indicados, esta revisión debido a que la pieza fue realizada en la empresa FABRIN en la ciudad de Bogotá y no fue posible estar presentes en la manufactura del dispositivo. Para tal efecto se realizaron 4 mediciones importantes:

Tabla 7. Metrología de prueba.

Pieza	Sección	Medida de diseño	Medida Fabricada
Cono Portaherr.	Alojamiento de la herramienta	25 .00mm. Tol 0.1mm. Ver grafica 64.	25.08mm.
Cono portaherramientas	Base del Cono	44.00mm. Tol 0.01mm.	44.01mm.
	Punta del cono	25.66mm. Tol 0.01mm. Ver grafica 64.	25.55mm.
Aro interno.	Diámetro interior	45.10mm. Tol 0.01mm. Ver grafica 65.	45.15mm.

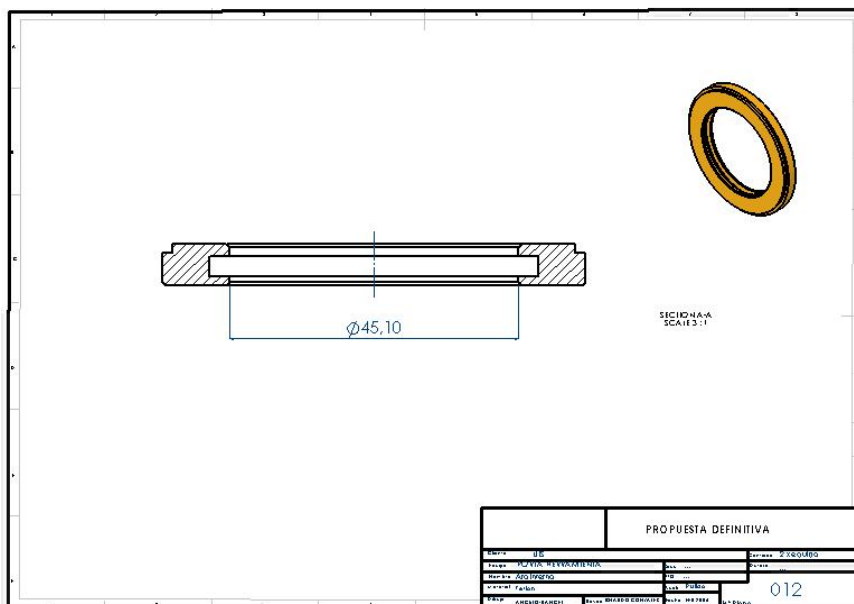
Fuente: autores.

Figura 64. Medidas de diseño cono portaherramientas.



Fuente: autores.

Figura 65. Medidas de Aro interno.



Fuente: autores.

Se pudo observar que la medida correspondiente fallo en 5 centésimas la medida en mecanizado por lo que es necesario cambiar la pieza para que el funcionamiento sea optimo.

4.2 MONTAJE, ADECUACIÓN Y PUESTA EN MARCHA.

El montaje se realizo en Industrias Tanuzi empresa metalmecánica de la ciudad de Bucaramanga el procedimiento fue el siguiente:

4.2.1 Montaje del cono portaherramientas. El objetivo fue determinar el ajuste del cono en el husillo, ver figura 66.

Figura 66. Montaje del cono en el husillo.



Fuente: autores.

Se observó que no hay ninguna tolerancia ni holgura entre el cono del portaherramientas y el cono del husillo lo que asegura una total rigidez de la herramienta. Así mismo se observa que hay una excentricidad de

aproximadamente 8 décimas en la zona de sujeción de la herramienta la cual debe ser corregida pero que no afecta el funcionamiento del cojinete.

4.2.2 Revisión del cojinete hidráulico. Una vez montado el conjunto (portaherramientas – Aro interior – aro de retención –herramienta) se procedió a colocar la presión y a hacer girar el husillo. Las condiciones de trabajo fueron las siguientes: se colocó una broca de 26 mm. con doble inserto, y con dos agujeros para refrigeración a través de la herramienta de 4 mm de diámetro (ver figura 67).

Figura 67. Broca con agujeros para refrigeración interna

a) broca



b) agujeros de refrigeración.



Fuente: autores.

Debido a que el centro de mecanizado de Industrias Tanuzi sistema de refrigeración central, la bomba fue adaptada y trabaja a una presión de 10 bar. Por tal motivo la presión supera los valores de que tienen las máquinas herramientas que poseen un sistema de refrigeración tradicional en las cuales la presión está alrededor de 5 bar. Esto lleva a que las fugas sean un poco mayores y que el arranque de la herramienta sea más drástico.

Primero se colocó refrigeración a través de la herramienta iniciando el trabajo de la bomba, ver figura 68. Luego se colocó a girar el husillo a 350 r.p.m.

Figura 68. Inicio de la bomba, paso del fluido a través de la herramienta.



Fuente: autores.

encontrándose que el arranque del husillo hace que la manguera se salga de su posición y no permita el trabajo del cojinete por lo que el sistema no funciona.

Se consideró necesario debido a la alta presión dar inicio al movimiento del husillo sujetando momentáneamente la manguera, una vez iniciado el movimiento el dispositivo queda funcionando independientemente, ver figura 69.

Se observaron tres factores importantes y fundamentales: Primero, después de un tiempo de estar girando la presión hace que la pieza inferior de teflón se salga del puesto y se ancle en el anillo seeger reventando la manguera. Segundo, el cojinete trabaja de manera adecuada y tercero la herramienta puede trabajar a más de 1000 r.p.m. sin sufrir ningún cambio, aunque es importante saber que este dispositivo es para trabajar con herramientas de

desbaste de media precisión lo que indica que no se necesitan altas velocidades para su operación ver figura 69.

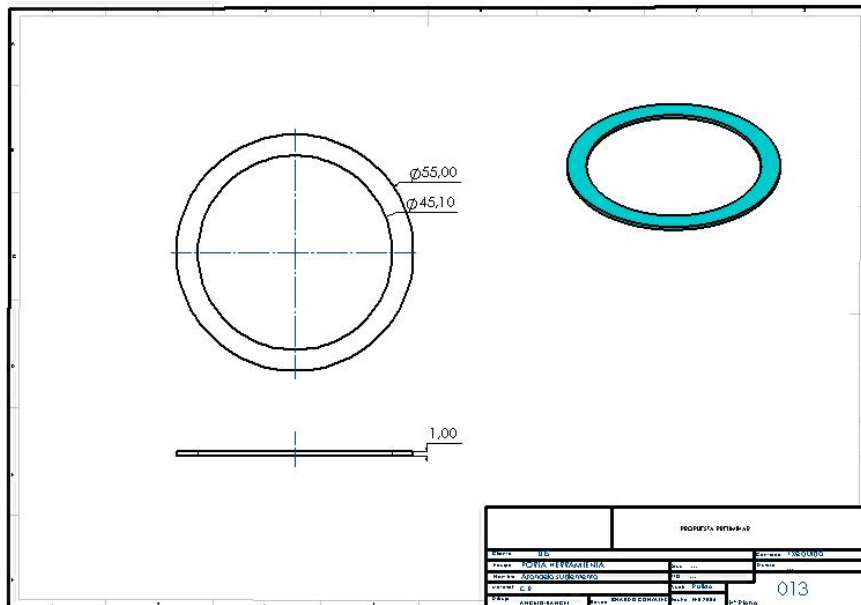
Figura 69. Dispositivo a 1000 r.p.m.



Fuente: autores.

Se toma una acción correctiva colocando una arandela de 1 mm en la parte inferior entre el aro interior y el anillo seeger para corregir el anclaje del teflón en la chaveta ,ver figura 70 . Con esta prueba se cumple el objetivo principal de llevar el fluido a través de la herramienta, condición que indudablemente mejora las condiciones de corte y el proceso de mecanizado.

Figura 70. Arandela de retención.

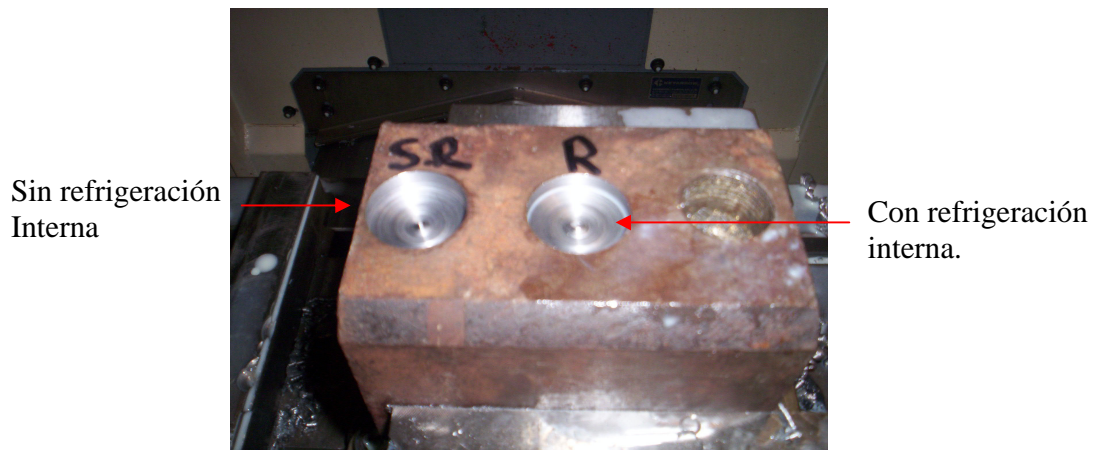


Fuente: autores.

4.3 MECANIZADO Y REVISIÓN DE CUMPLIMIENTO DE FUNCIONALIDAD.

Después de tomadas las medidas correctivas se procedió a realizar una vez mas el montaje y pruebas de mecanizado. El primer mecanizado se hizo en el laboratorio de control numérico de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la universidad sobre un material Cold rolled se hicieron dos perforaciones de diam. 26 m.m. a 150 r.p.m, y avance de profundidad manual, una de las operaciones se hizo con el dispositivo de refrigeración central y la otro con refrigeración a chorro, ver operación en Cd anexo en videos. Las perforaciones fueron realizadas continuas para apreciar diferencias ver figura 71.

Figura 71. Mecanizado con dispositivo



Fuente: autores.

Se observo que debido a que el fluido actúa puntualmente en la zona de corte mejora instantáneamente el proceso de mecanizado y evacua instantáneamente la viruta de la zona de corte , mientras observamos que una vez la herramienta empieza a socavar el fluido de corte deja de actuar en la zona de corte. Es visible que los acabados difieren sustancialmente en los dos procesos ya que con refrigeración a través de la herramienta (R) el acabado es mucho mejor.

4.4. PROCEDIMIENTO DE USO.

El siguiente es un proceso sencillo y básico de uso del dispositivo, es necesario tenerlo en cuenta para no causar daños en las partes y para el perfecto funcionamiento de la herramienta.

- Revisar que la potencia de la bomba no sea superior a 5 bar.
- Asegurarse que el husillo de la maquina sea tipo ISO 40.

- Montar el dispositivo.
- Usar herramientas de corte que tengan agujeros de diámetros de entrada igual o superior a 8mm.
- Asegurarse de colocar primero la refrigeración antes de poner a girar el husillo.
- El arranque del portaherramientas debe ser progresivo; encender en la mínima revolución y aumentar instantáneamente a la velocidad deseada(solo para maquinas con presiones por encima de 5 bar si es necesario). De lo contrario sostener manualmente la manguera para el choque del arranque.
- Girar el husillo a 1000 r.p.m. máximo.

4.6 ANÁLISIS DE TEMPERATURA EN SOFTWARE ANSYS WORKBENCH.

A continuación se hace una simulación del comportamiento de la temperatura en la herramienta. Es indispensable ya que la temperatura es uno de los principales inconvenientes que encuentra la herramienta para su tiempo de vida optima así como el acabado y el buen desarrollo del proceso. Se realizaron 3 casos particulares partiendo de algunas consideraciones : el fluido se concentró en una zona específica; debido a que el efecto de la convección térmica debido a la rotación sería el mismo en los tres casos analizados, se opto por mirar el comportamiento de la temperatura en la broca en los siguientes casos:

- Broca trabajando a 200 °c con refrigeración en la arista de corte, caso que ocurriría en la refrigeración a través de la herramienta ver tablas 8,9,10 y figuras 72 (a,b,c,d,e).
- Broca trabajando a 200 °c con refrigeración puntual (a chorro) a una distancia del filo de corte simulando cuando la refrigeración se hace

convencionalmente golpeando lateralmente la herramienta ver tablas 11,12,13 y figuras 73 (a,b,c,d,e).

- o Broca trabajando a 200 °c con refrigeración localiza en una franja de 360° a una distancia del filo de corte simulando la refrigeración cuando en un delta de tiempo muy pequeño el fluido se encuentra en toda la periferia de la herramienta ver tablas 14,15,16 y figuras 74 (a,b,c,d,e).

A continuación se presenta el análisis hecho en ANSYS Workbench 8.1.

§ Caso 1. Broca trabajando a 200 °c con refrigeración en la arista de corte, que ocurriría en la refrigeración a través de la herramienta.

Tabla 8. Modelo y enmallado.

Name	Material	Bounding Box (mm)	Mass (kg)	Volume (mm ³)	Nodes	Elements
"Part 1"	"Structural Steel"	15.51, 15.47, 87.0	0.1	12,878.04	6880	4424

Fuente: autores.

Tabla 9. Carga termica.

Name	Figures	Description	Value	Reaction
"Given Temperature"	A1.3	Surface Temperature	200.0 °C	477,829.86 W
"Given Temperature 2"	A1.4	Surface Temperature	5.0 °C	-273,226.21 W

Fuente: autores.

Tabla 10. Resultados de la temperatura.

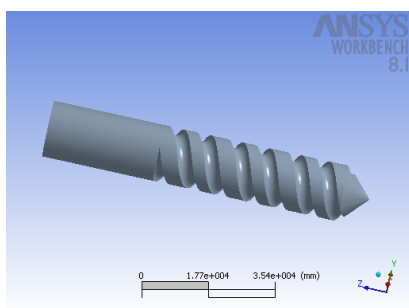
Name	Figure	Scope	Minimum	Maximum	Alert Criteria
------	--------	-----------------------	---------	---------	----------------

"Temperature"	A1.5	"Model"	5.0 °C	200.0 °C	None

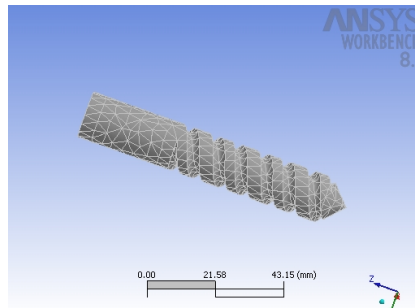
Fuente: autores.

Figura 72. a) Modelo. b) Mesh. c) Temperatura en la broca. d) temperatura localizada. e) resultado final.

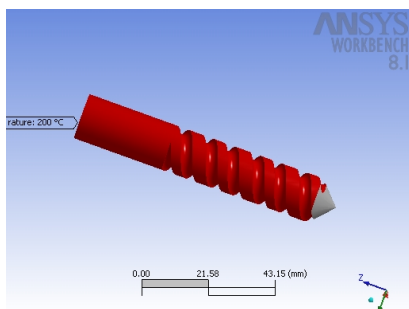
Gráfica 72a.



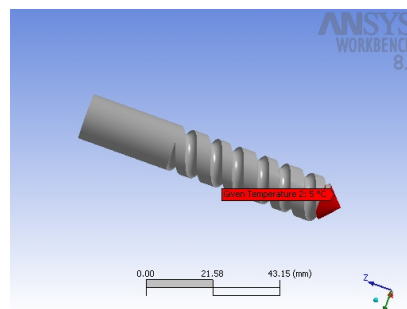
Gráfica 72b.



Gráfica 72c.

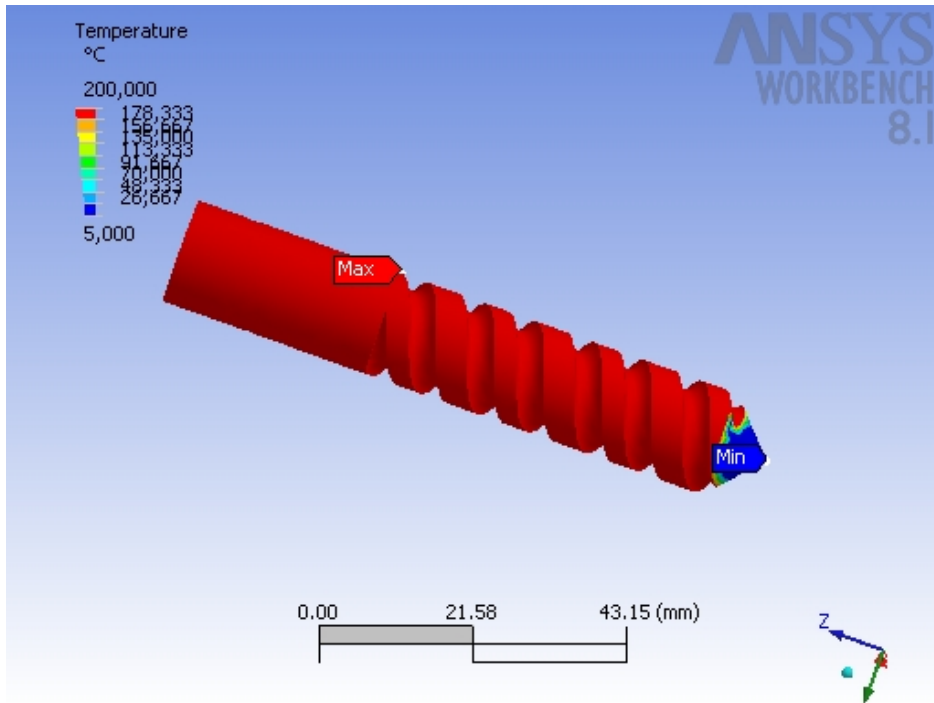


Gráfica 72d.



Fuente: autores.

Gráfica 72e.



Fuente: autores.

§ Caso 2. Broca trabajando a 200 °c con refrigeración puntual a una distancia del filo de corte simulando cuando la refrigeración se hace convencionalmente golpeando lateralmente la herramienta.

Tabla 11. Modelo

Name	Material	Bounding Box (mm)	Mass (kg)	Volume (mm ³)	Nodes	Elements
"Solid"	" Structural Steel "	15.51, 15.47, 87.0	0.1	12,877.43	7039	4529

Fuente: autores.

Tabla 12. Carga termica.

Name	Figures	Description	Value	Reaction
"Given Temperature"	A2.3	Surface Temperature	200.0 °C	104,790.05 W
"Given Temperature 2"	A2.4	Surface Temperature	5.0 °C	-34,637.8 W

Fuente: autores.

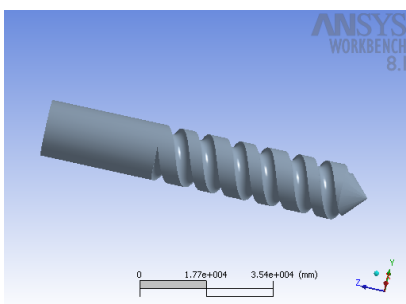
Tabla 13. Reultados de la temperatura.

Name	Figures	Description	Value	Reaction
"Given Temperature"	A2.3	Surface Temperature	200.0 °C	104,790.05 W
"Given Temperature 2"	A2.4	Surface Temperature	5.0 °C	-34,637.8 W

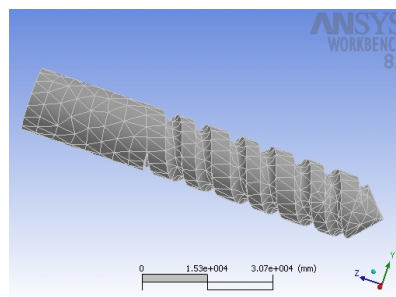
Fuente: autores.

Figura 73. a) Modelo. b) Mesh. c) Temperatura en la broca. d) Temperatura localizada. e) resultado final.

Gráfica a.

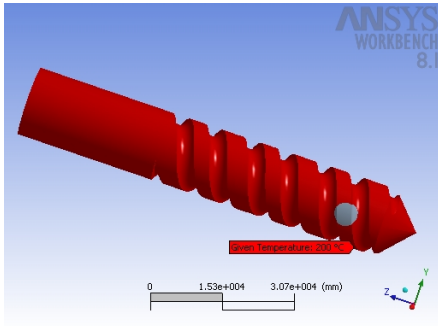


Gráfica 73 b.

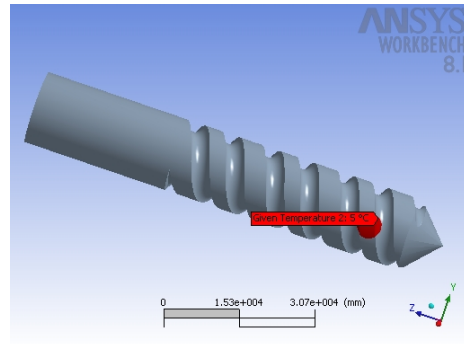


Fuente: autores.

Gráfica 73 c.

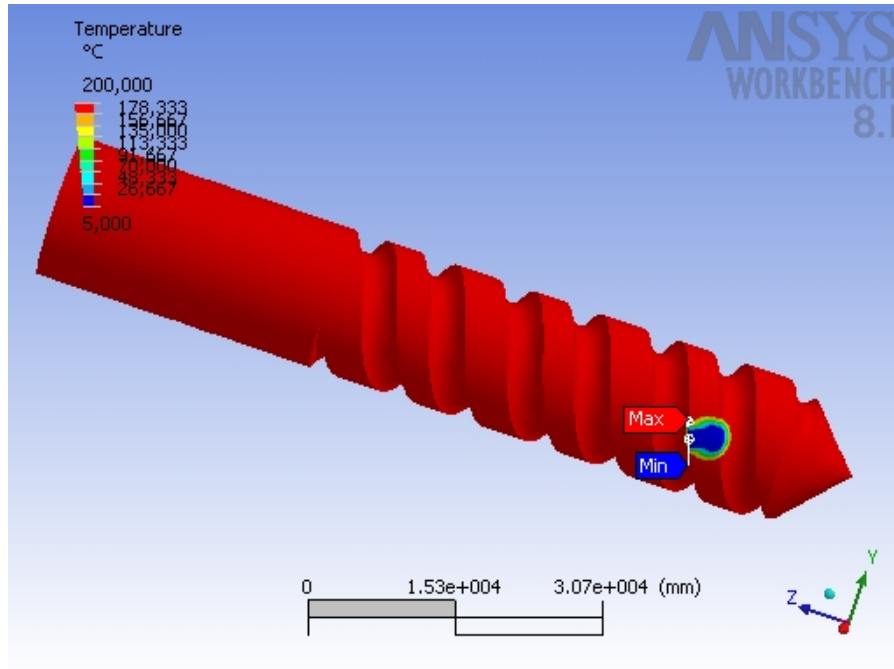


Gráfica 73 d.



Fuente: autores.

Gráfica 73 e.



Fuente: autores.

§ Caso 3. Broca trabajando a 200 °c con refrigeración localiza en una franja de 360° a una distancia del filo de corte simulando la refrigeración cuando en un delta de tiempo muy pequeño el fluido se encuentra en toda la periferia de la herramienta, ver tablas 14,15,16 y figuras 74 (a,b,c,d,ye)

Tabla 14. Modelo.

Name	Material	Bounding Box (mm)	Mass (kg)	Volume (mm ³)	Nodes	Elements
"Solid"	"Structural Steel"	15.51, 15.47, 87.0	0.1	12,878.92	7435	4793

Fuente: autores.

Tabla 15. Carga térmica.

Name	Figures	Description	Value	Reaction
------	---------	-------------	-------	----------

"Given Temperature"	A3.3	Surface Temperature	200.0 °C	971,937.08 W
"Given Temperature 2"	A3.4	Surface Temperature	5.0 °C	-357,704.37 W

Fuente: autores.

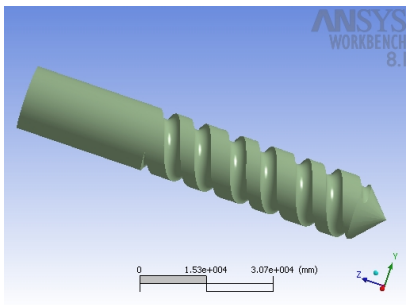
Tabla 16. Resultados de la temperatura.

Name	Figure	Scope	Minimum	Maximum	Alert Criteria
"Temperature"	A3.5	"Model 3"	3.26 °C	200.0 °C	None

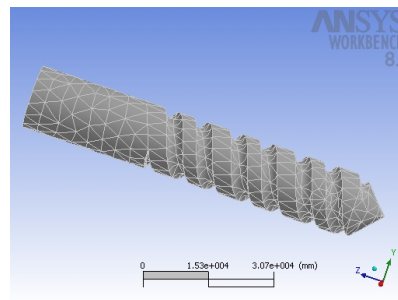
Fuente: autores.

Figura 74. a) Modelo. b) Mesh. c) Temperatura en la broca. d) temperatura localizada. e) resultado final.

Gráfica 74 a.

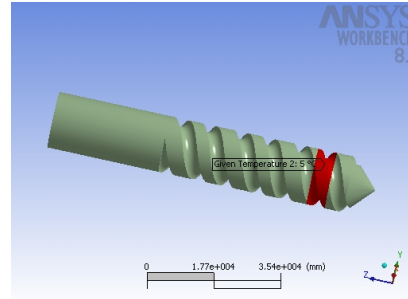
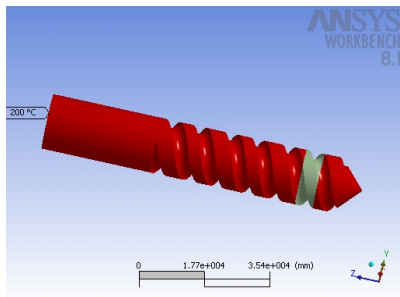


Gráfica 74 b.

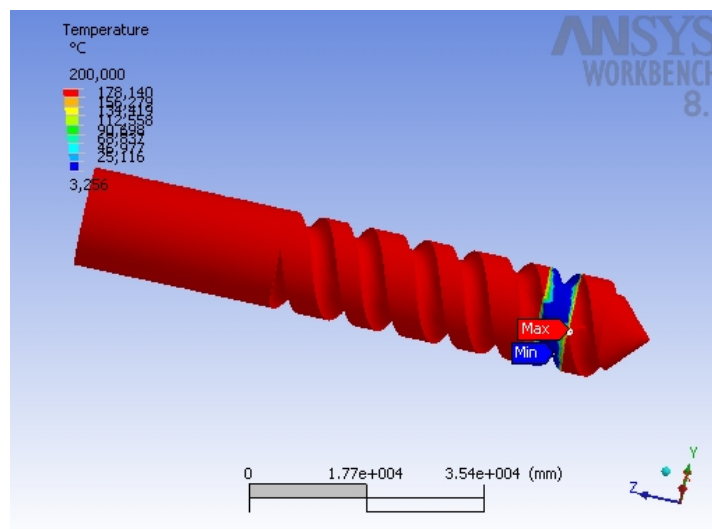


Gráfica 74 c.

Gráfica 74 d.



Gráfica 74 e.



Fuente: autores.

Se puede observar que solo en el caso de refrigeración en la zona de corte la herramienta esta a una temperatura mas adecuada según comparación de las figuras 72e, 73e,y 71e. Lo que nos proporciona mejores condiciones de corte y una mayor vida de herramienta.

En el primer caso observamos que la temperatura en el filo de corte es de 22°C y llega a 200°C en el resto de la broca. Mientras que si se coloca fluido en cualquier otro lado de la broca no alcanza a disipar el calor concentrado en el

filo de corte alcanzando valores máximos en la zona de corte (para este caso 200°C)

Esto permite aclarar aun mas la necesidad de llevar el fluido directamente a la zona de corte lo que solo conseguimos haciendo una refrigeración a través de la herramienta.

5. CONCLUSIONES

Se logro el objetivo de hacer una selección, diseño y construcción de un prototipo de un dispositivo de evacuación de viruta y refrigeración a través de la herramienta para operaciones de taladrado y fresado el cual es una reconversión tecnológica del sistema actual y ajustable a los diferentes centros de mecanizado comerciales y existentes en el mercado y asequible al sector industrial del país.

La elaboración del sistema de refrigeración y evacuación de virutas para centros de mecanizado CNC se llevo a cabo en su totalidad, teniendo unos resultados muy favorables siendo un desarrollo muy útil para la industria de mecanizado.

Se ha logrado desarrollar un sistema muy sencillo y económico que lograra las siguientes ventajas importantes:

- § Mejor evacuación de viruta.
- § Mejores temperaturas de corte.
- § Mejores acabados.
- § Se puede trabajar con mejores condiciones de corte por lo que, directamente lleva a una disminución del proceso de mecanizado.
- § Utilización de las actuales herramientas de mecanizado con refrigeración central.

Otra de las conclusiones importantes es que el dispositivo, complementa el trabajo de CNC desarrolladas con tecnología extranjera, puede ser fabricado con tecnología nacional ya que se pueden hacer las siguientes consideraciones:

§ Sobre materiales, todos son distribuidos y comercializados en el mercado nacional y de fácil consecución.

§ Sobre mecanizados, los mecanizados pueden ser desarrollados en empresas con talleres de mecanizado, pero que cuenten con maquina herramientas de CNC que garanticen los grados de precisión exigidos.

§ Sobre tratamientos térmicos, que pueden ser realizados en empresas certificadas para ese proceso.

§ Versatilidad, ya que el diseño y metodología sirve para las diferentes marcas y referencias de centros de mecanizados existentes en el mercado nacional.

ANEXO A. CASO PRÁCTICO MODELO ORTOGONAL DE CORTE

Se quiere mecanizar un agujero con 20 mm de diámetro y 75 mm de profundidad en un bloque de acero duro, con una broca de acero rápido.

Para empezar teniendo el material de la broca y su diámetro se puede determinar el avance usando la tabla 16.

Tabla 17 . Avances para brocas de acero rápido según el diámetro.

BROCAS DE ACERO RÁPIDO	AVANCE POR CADA REVOLUCION DE LA BROCA
Para brocas de diámetro 1 a 4 mm	0.02 a 0.06 aprox.
Para brocas de diámetro 5 a 25 mm	0.07 a 0.40 aprox
Para brocas de diámetro 26 a 75 mm	0.45 a 0.70 aprox.

Fuente: autores.

Se puede determinar un avance de $a = 0.3 \text{ mm/rev}$

Con el avance ya se puede calcular la sección de la viruta de la ecuación (1)

$$q = \frac{20}{2} * 0.3 = 3 \text{ mm}^2$$

Luego se determina de la tabla 50 el valor de $\sigma_s = 280 \text{ Kg/mm}^2$.

Ahora se procede a calcular con los datos anteriormente obtenidos la fuerza de Penetración P de la ecuación (20) y se toma un valor de $\phi = 120^\circ$ recomendado para trabajar aceros y se tiene que $P = 727.46 \text{ Kg}$.

Ahora para calcular M_t se va a la ecuación (3) y reemplazando

$$M_t = 4200 * 0.3 * \frac{20^2}{8} = 4.2 [\text{Kg} - \text{m}]$$

ANEXO B. PROPIEDADES DEL ACERO 1020

Características de empleo y aplicaciones

Este acero puede utilizarse en estado cementado, laminado en caliente o estirado en frío (calibrado). Se utiliza en elementos de maquinaria que requieran gran tenacidad, junto con una dureza no muy elevada.

Se utiliza principalmente para partes de vehículos y maquinarias, las cuales no estén sometidas a grandes esfuerzos mecánicos como ejes, eslabones para cadenas, pasadores, bujes cementados, tornillería corriente, bridas, clavos para ferrocarril, grapas, etc.

§ Grupo: Aceros al Carbono para Maquinarias

§ Perfiles usuales de suministro:



§ Equivalencias aproximadas en otras marcas:

▶ SAE/AISI: 1020

▶ DIN: C-22

▶ UNI: C-20

▶ AFNOR: CC-20

▶ B.S.: 070 M 20

Análisis químico:

▶ C: 0.18-0.23

▶ Mn: 0.30-0.60

▶ P máx :0.040

▶ S máx: 0.050

▶ Si: 0.15-0.30

Tabla 16 . Avances para brocas de acero rápido según el diámetro.

Tabla 18 . Propiedades mecánicas del Acero 1020.

Estado de Suministro	Resistencia Tracción Kg/mm ²	Límite Elástico Kg/mm ²	Alargamiento %	Reducción de Area %	Dureza Brinell
Laminado en Caliente	40	31	25	45	140/180
Calibrado	55	38	15	30	180/220

Fuente: Sidelpa.

Tabla 19 . Tratamientos térmicos del Acero 1020.

Tratamiento	Temperatura °C	Medio de Enfriamiento
Forja	1000/1200	Arena Seca
Normalizado	880/920	Aire
Recocido	660/720	Horno
Cementación	900/930	Horno/Agua
Temple Capa Cementada	760/800	Agua
Revenido Capa Cementada	150/200	Aire

Fuente: Sidelpa.

ANEXO C. PROPIEDADES DEL ACERO 4140

Características de empleo y aplicaciones

Es un acero aleado al Cromo-Molibdeno de buena penetración de temple y con buenas características de estabilidad en caliente hasta 400°C, sin fragilidad de revenido, muy versátil y apto para esfuerzos de fatiga y torsión. Puede ser endurecido superficialmente por temple directo (a la llama o por inducción) obteniendo durezas de 57-62 Rockwell C. Se utiliza generalmente en estado bonificado a una resistencia a la tracción de 88-100 Kg/mm² para: ejes, engranajes, cigüeñales, cilindros de motores, bielas, rotores, árboles de turbinas a vapor, ejes traseros, etc. Muy utilizado en piezas forjadas como herramientas, llaves de mano, destornilladores. En la industria petrolera para taladros, brocas, barrenos, tubulares, partes de bombas, vástagos de pistón, espárragos, etc.

§ Grupo: Aceros Aleados

§ Perfiles usuales:

§ Equivalencias aproximadas en otras marcas:

▶ DIN: 42CrMo4

▶ ASSAB: 709

▶ AFNOR: 42CD4

▶ B.S.: EN-19

▶ UNI: 40CD4

▶ CENIM: F-1252

▶ SAE/AISI: 4140

§ Análisis químico:

▶ C: 0.38-0.43

▶ Mn: 0.75-1.00

▶ P máx:0.035

▶ S máx:0.040

▶ Si: 0.15-0.35

▶ Cr: 0.80-1.10

▶ Mo: 0.15-0.25.

Fuente: autores. Fuente: autores.

Tabla 20 . Propiedades mecánicas del Acero 4140.

Estado de Suministro	Resistencia Tracción Kg/mm ²	Límite Elástico Kg/mm ²	Alargamiento %	Reducción de Area %	Dureza Brinell
Laminado en Caliente	60/70	40	22	50	210/240
Calibrado	70/80	60	14	40	240/260
Bonificado	88/100	75	16	50	260/320

Fuente: Sidelpa.

Tabla 21 . Tratamientos térmicos del Acero 4140.

Tratamiento	Temperatura °C	Medio de Enfriamiento
Forja	850/1100	Ceniza o Arena
Temple	830/850	Aceite o Agua
Normalizado	850/870	Aire
Recocido	680/720	Horno
Revenido	500/650	Aire

Fuente: Sidelpa.

ANEXO D. MANGUERAS LOC- LINE

Las Mangueras tipo Loc-line son una solución muy cómoda para el transporte de fluidos de refrigeración.

Se opto por este tipo de manguera ya que es de una muy alta calidad y es con la que cuentan el mayor número de centros de mecanizado.

Características:

LINE PRESSURE & FLOW RATES:

¼" System 30– 50 PSI 250 Gal / Hour

½" System 20 – 30 PSI 478 Gal / Hour

¾" System 10 – 20 PSI 1,140 Gal / Hour

TEMPERATURE SPECIFICATIONS:

Melting point: 329° F

Maximum operating temperature: 170° F.

ANEXO E. PROPIEDADES DEL ACERO AISI SAE 4340

Características de empleo y aplicaciones

Este acero se caracteriza por su gran templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga, porque es capaz de dar buenas propiedades en piezas de gran sección. No presenta fragilidad de revenido y posee maquinabilidad a dureza relativamente alta (400 Brinell). Se suministra en estado bonificado, libre de tensiones.

Es utilizado generalmente en la industria automotriz para la fabricación de piezas muy solicitadas que requieren una dureza y tenacidad elevada. Alta resistencia templada y revenida de gran sección, levas de mando, engranajes para máquinas templados por inducción, ejes para carros y camiones, discos para frenos, cardanes, bielas para motores, árboles para carros y ejes de transmisión de grandes dimensiones, etc.

Grupo: Aceros Aleados

§ Perfiles usuales: 

§ Equivalencias aproximadas en otras marcas:

▶ DIN: 40CrNiMo7

▶ ASSAB: 705

▶ AFNOR: 38NCD6

▶ CENIM: F-1272

▶ SAE/AISI: 4340

Análisis químico:

▶ C: 0.38-0.43

▶ Mn: 0.60-0.80

▶ P máx: 0.035

▶ S máx: 0.040

▶ Si: 0.15-0.35

▶ Cr: 0.70-0.90

▶ Mo: 0.20-0.30

▶ Ni: 1.65-2.00

Tabla 22 . Propiedades mecánicas del Acero 4340.

Estado de Suministro	Resistencia Tracción Kg/mm ²	Límite Elástico Kg/mm ²	Alargamiento %	Reducción de Area %	Dureza Brinell
Laminado en Caliente	65/75	45	20	50	210/240
Calibrado	75/85	65	10	30	240/260
Bonificado	90/110	80	16	45	260/320

Fuente: Sidelpa.

Tabla 23 . Tratamientos térmicos del Acero 4140.

Tratamiento	Temperatura °C	Medio de Enfriamiento
Forja	850/1100	Ceniza o Cal
Temple	820/860	Aceite
Normalizado	850/870	Aire
Recocido	690/720	Horno
Revenido	540/660	Aire

Fuente: Sidelpa.

ANEXO F . PROPIEDADES DEL DURALUMINIO

Los duraluminios son un conjunto de [aleaciones](#) de forja de [aluminio](#), [cobre](#) (0,45%-1,5%) y [magnesio](#) (0,45%-1,5%) así como [manganeso](#) (0,6%-0,8%) y [silicio](#) (0,5%-0,8%) como elementos secundarios. Pertenecen a la familia de las aleaciones aluminio-cobre (2000).

Presentan una elevada resistencia mecánica a temperatura ambiente, sin embargo, su resistencia a la corrosión, soldabilidad y aptitud para el

- nodinado son bajas. Se emplean en la industria aeronáutica y de automoción.

Tabla 24. Propiedades de duraluminio.

Código ALIANZA METALURGICA	Referencia AA- ASTM (Similar)	Temple (1)	Resistencia a la tracción (1- 2)		Elongación en % 2" ó 4 veces el Diámetro		Dureza Brinell 500Kgf = 10 HB		Características	Aplicación
			A	P	A	P	A	P		
Duraluminio 32	(LM 27)	F	150	180	2.0	3.0	60- 75	65- 80	Excelente en coquilla y arena. Buena mecanización. Buena resistencia mecánica.	Impulsores, Hormas, Auto partes, Matricería de Calzado / Caucho. Carretes, Ductos y Poleas.
Duraluminio 40	A4 13.2 (LM 6)	F	170	200	8.0	13.0	55	60	Alta elongación y anticorrosivo. Baja maquinabilidad. Buena resistencia a la	Accesorios de Ferrería Eléctrica. Piezas inyectadas. Paletas para

										tracción.	Amasadoras. Poleas de Arrastre.
Duraluminio 70	705.0 ternalloy 5	F o T5	207	255	5.0	10.0	50-80	55-86	Resistencia a la tracción y corrosión. Excelente maquinabilidad y elongación. Baja estanqueidad.	Bombas y Winches para pesca. Carcasas de Bombas Mineras.	
Duraluminio 35	356.0 (LM 25)	F T6	130 205	145 228	2.0 3.0	3.0 3.0	70 75	80 85	Excelente resistencia a la tracción y corrosión. Baja maquinabilidad. Elongación moderada.	Paletas para Ventiladores de Alta Revolución. Poleas de Arrastre. Paletas Amasadoras.	

Fuente: autores.

ANEXO G. PROPIEDADES DEL TEFLON PTFE

Material exclusivo, que presenta una gran resistencia química y una amplia gama de temperaturas de uso, así como un excelente rendimiento dieléctrico y unas características superficiales de muy baja fricción y anti-adhesión . Sus aplicaciones generales son casquillos de rodamientos, aislantes, obturadores y rodillos.

Color: blanco

Características técnicas

Densidad relativa	2,16
Absorción de agua (saturación a 23°C)	• 0,01%
Resistencia a la tensión N/mm ²	25-30
Módulo de tensión N/mm ²	340/750
Elongación %	100/500
Dureza shore D	50-65
Punto de fusión	327°C
Temp. máx. de uso permitida (uso continuo durante 20.000 hrs)	+260°C
Temp. mín. de uso permitida	-200°C
Coefficiente de expansión lineal térmica	10,0-12,0×10 ⁻⁵ K ⁻¹
Conductividad térmica	0,26W/Km
Inflamabilidad	UL94V-0

Resistencia volumétrica	• 10 ¹⁸ • cm
Rigidez dieléctrica	48kV/mm
Permitividad relativa 50Hz-10kHz	2,1/2,2
Índice comparativo de tracking (CTI)	700V
Coeficiente de fricción:	
estática	0,08-0,12
dinámica	0,09-0,15
Relación Poisson:	0,39-0,42

Propiedades medioambientales: el PTFE no se ve afectado por su uso en aplicaciones de exterior, ni por la luz ultravioleta, los ácidos débiles pH • 3, los ácidos fuertes pH • 3, los álcalis fuertes pH • 11, los hidrocarburos clorados, ni el agua caliente.

Tolerancia de longitud de +1% a +3%.

ANEXO H. PLANOS DEFINITIVOS DE RECONVERSIÓN TECNOLÓGICA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA HERRAMIENTA DE CORTE Y EVACUACION DE LA VIRUTA PARA CENTROS DE MECANIZADOS CNC.

GLOSARIO

BROCA: Herramienta de corte de boca cónica que se usa con las máquinas de taladrar, para hacer orificios redondos en madera, metal, roca o cualquier otro material duro.

CENTROS DE MECANIZADO: Un Centro de Mecanizado es una Máquina Herramienta con control numérico (CNC), basada en una fresadora convencional, a la que se le han añadido diferentes componentes, accesorios y utillaje para poder realizar tareas complementarias al Fresado, como : Taladrar, biselar, escariar, roscar, avellanar y otros. Además, los Centros de Mecanizado deben incorporar unos Portaherramientas específicos, que permitan la utilización de Cambiadores automáticos de la herramienta de corte, de tal forma que permitan la mecanización de principio a fin de una pieza sin intervención de persona alguna.

CIZALLAMIENTO: Cuando la fuerza F que actúa sobre el cuerpo es paralela a una de las caras mientras que la otra cara permanece fija, se presenta otro tipo de deformación denominada de cizallamiento en el que no hay cambio de volumen pero si de forma. Si originalmente la sección transversal del cuerpo tiene forma rectangular, bajo un esfuerzo cortante se convierte en un paralelogramo

CNC: se refiere al control numérico de máquinas, generalmente Máquinas de Herramientas. Normalmente este tipo de control se ejerce a través de un computador que controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras

complejas tridimensionales y la máquina está diseñada a fin de obedecer las instrucciones de un programa dado.

DESBASTE: Acción de remover con una herramienta de corte el material sobrante de una pieza a maquinar.

FRESADO: El fresado es un proceso de fabricación con arranque de viruta, mediante el cual se maquinan superficies en piezas de diversas formas y dimensiones, lo cual se efectúa con una herramienta llamada fresa, la cual es una herramienta multicortante, es decir, está constituida por varios filos de corte dispuestos radialmente sobre una circunferencia, la cual permite mecanizar superficies planas, ranuras, engranajes e incluso superficies curvas o alabeadas.

HERRAMIENTA: Instrumento que por su forma especial y por su modo de [empleo](#), modifica paulatinamente el aspecto de un cuerpo hasta conseguir el objeto deseado entrando en contacto directo con la pieza, eliminando el material sobrante de la preforma, empleando el mínimo de tiempo y gastando la mínima energía.

LUBRICACION: Acción y efecto de la separación de dos superficies con deslizamiento relativo entre sí de tal manera que no se produzca daño en ellas: se intenta con ello que el proceso de deslizamiento sea con el rozamiento más pequeño posible. Para conseguir esto se intenta, siempre que sea posible, que haya una película de lubricante de espesor suficiente entre las dos superficies en contacto para evitar el desgaste.

MAGAZIN: Parte de una maquina herramienta en donde se alojan los porta-herramientas con diferentes herramientas de corte.

MAQUINA HERRAMIENTAS: Es una maquina que puede considerarse constituida por el conjunto de dispositivos que permiten el desplazamiento relativo entre la pieza y la herramienta y la eliminación del material sobrante de la preforma. Son aquellas [máquinas](#) que desarrollan su labor mediante un utensilio o herramienta de corte convenientemente perfilada y afilada que maquina y se pone en contacto con el material a trabajar produciendo en éste un [cambio](#) de forma y dimensiones deseadas mediante el arranque de partículas o bien por simple deformación

MECANIZADO: Conjunto de todos los procesos mecánicos necesarios para transformar una masa metálica en una pieza funcional, ya sea para crear herramientas, elementos de otras máquinas, o cualquier tipo de elemento metálico con una finalidad concreta, útil para el hombre. Estos procesos mecánicos requieren siempre de la aplicación de una fuerza, de la aplicación de calor o, en la mayoría de los casos, de ambos.

MICROMETRO: Instrumento mecánico de medida destinado a medir cantidades lineales o angulares muy pequeñas. Muy utilizado para dar tolerancias pequeñas.

TALADRADO: El taladro o agujerado, consiste en efectuar un hueco cilíndrico en cuerpo, mediante una herramienta denominada broca. Las herramientas para taladrar se denominan brocas y de manera general estas se pueden clasificar en: de punta, helicoidales y para agujeros profundos.

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 es una operación con arranque de viruta que permite la elaboración de piezas de revolución (cilíndrica, cónica y esférica), mediante el movimiento uniforme de rotación alrededor del eje fijo de la pieza.

REVENIDO: Tratamiento térmico que se da en una pieza cuando se recalienta después de templarse a una temperatura inferior (200°C -700°C). Esto hará que una parte de la martensita se convierta en ferrita y cementita, que reduce un poco la resistencia, pero estableciendo poco de ductilidad.

ROSCADO: Es el proceso que permite la obtención de una arista helicoidal de un tornillo (rosca exterior) o de una tuerca (rosca interior), de sección triangular, cuadrada o roma, formada sobre un núcleo cilíndrico, cuyo diámetro y paso se hallan normalizados.

VIRUTA: es un pedazo de material en forma de lámina enrollada o de espiral que es extraído mediante un cepillo u otras herramientas, tales como [brocas](#), al realizar trabajos de labrado sobre la [madera](#) o los [metales](#). Se suele considerar como un residuo en industrias madereras, o de forjado de metales, no obstante hoy en día tiene algunos usos

BIBLIOGRAFIA

ARANDA, Carlos. Maquinas de control numérico (CNC). Disponible en Internet <URL:<http://www.monografias.com/trabajos14/maquinacontrnum/maquinacontrnum.shtml#CARACT>>

Chiles, Vic, Stewart, C. Black, A. J. Lissaman y S. J. Martin. Principios de Ingeniería de manufactura. México: Cecsa 1999. 661 p.

ESCALONA, Iván. Diseño y Manufactura asistidos por Computadora Introducción al CNC. Disponible en Internet: <URL:<http://www.monografias.com/trabajos14/manufaccomput/manufaccomput.shtml#INTRO>. >

ESCALONA, Iván. Máquinas. Herramientas por arranque de viruta. Disponible en Internet. URL :<http://www.monografias.com/trabajos14/maq-herramienta/maq-herramienta.shtml#PROFUND>>.

GUERRERO, Eugenio y RUIZ, Miguel. Revista Ingenierías. Octubre – Diciembre 2001 Vol. IV, No 13. Proyecto de investigación en el Doctorado de Materiales fime-uanl. Modelaje de la viruta en el proceso de modelado. Disponible en Internet. <URL: www.uanl.mx/publicaciones/ingenierias/13/pdf/13>

GROOVER P. Mikell. Fundamentos de Manufactura Moderna. México: Prentice Hall. 1997. 1092 p.

GUNDRILLS. (CD ROOM) Iscar tools. Taladros de profundidad. Catálogo. Israel: 2002.

ISCAR INTERACTIVE. (CD ROOM) Metric Version. IMC Group. Israel:2002.

ISCARDRILL. (CD ROOM) Iscar tools. Herramientas de taladro. Catálogo. Israel: 2002.

LAMIKIZ, Aitzol, SÁNCHEZ, José y SALGADO, Miguel A.. Revista metal univers. Conos portaherramientas para mecanizado de alta velocidad. Disponible en Internet. [URL:http://www.metalunivers.com/Arees/altavelo/tutorial/tekniker/conos.htm](http://www.metalunivers.com/Arees/altavelo/tutorial/tekniker/conos.htm) >

LANDEROS, Ruth. Herramientas Case. Disponible en Internet. <URL : <http://www.monografias.com/trabajos14/maq-herramienta/maq-herramienta.shtml#PROFUND>>

MICHALIK – EBERMAN. Mecanizado de metales. Barcelona: Reverte,1978. 465p.

NORTON, Robert L. Diseño de maquinas. México: Prentice Hall,1999.1048 p.

PÉREZ B. Joseba, GORETTI Alberdi y LÓPEZ Patxi. Revista metal univers. Centro de aplicaciones. Disponible en Internet <URL:<http://www.metalunivers.com/Arees/altavelo/tutorial/tekniker/refrigeracion.htm>>.

SOLANO, Lorenzo. Centros de Mecanizado. Disponible en Internet
<URL:<http://www.metalunivers.com/Arees/centresmec/info/informe.html#ORIGEN>

UNIVERSIDAD CENTROAMERICANA JOSE SIMEON CAÑAS
(UCA).Ingeniería de Manufactura. Disponible en Internet.
<URL :<http://www.metalunivers.com/Arees/altavelo/tutorial/tekniker/cornos.htm>>.