

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DESARROLLO DE UN PROCESO DE FABRICACIÓN EN
SERIE DE CLAVOS DE SCHANZ Y ALAMBRES DE
KIRSCHNER

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela.
Por el Bachiller: Ramsés Pérez Atilano.
Para optar al título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

DESARROLLO DE UN PROCESO DE FABRICACIÓN EN SERIE DE CLAVOS DE SCHANZ Y ALAMBRES DE KIRSCHNER

Tutor Académico, Ing. Víctor Othman Falcón.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela.
Por el Bachiller: Ramsés Pérez Atilano.
Para optar al título de Ingeniero Mecánico

Caracas, 2004

A Kika y Ghiselle, por sus innumerables enseñanzas

AGRADECIMIENTOS

A las siguientes personas, quienes brindaron su apoyo a lo largo de mi carrera y permitieron la realización de este trabajo de grado:

Othman Falcón

Raúl Rubio Díaz

Ghiselle Atilano

Carla Rubio Atilano

Claudia Rubio Atilano

Raúl Rubio Atilano

Pedro Parra

Gustavo González

Armando Álvarez

Yvan Gámez

Orlando Reyes

Ruth Espinoza

Robinson Arcos

INTRODUCCIÓN

Cada día vemos en nuestra vida cotidiana accidentes de todo tipo, que afectan la continuidad ósea de alguna persona, ya sean fracturas, infecciones, etc. Siempre es necesario alinear los fragmentos y mantenerlos en contacto por un tiempo determinado, con la esperanza de que el hueso consolide. Para esto se utilizan, bien sea fijadores internos o fijadores externos, estos últimos pueden ser yesos, tracciones esqueléticas o clavos de Schanz, Clavos de Steinmann y Alambres de Kirschner. Estos tres fijadores, si se aplican correctamente, proporcionan un acceso sin obstáculo a las estructuras esqueléticas y blandas pertinentes, para su valoración inicial y estudio de posibles intervenciones secundarias necesarias para restaurar la continuidad ósea y cobertura funcional de los tejidos. La fabricación de estos productos debe cuidar la geometría, el material y el acabado superficial.

Este trabajo especial de grado tiene como objetivo principal “Desarrollar un proceso de fabricación seriado para los clavos de Schanz y alambres de Kirschner utilizando los resultados obtenidos en la tesis de Daniela Curiel”. Para la realización de ese proceso se tomarán muy en cuenta los parámetros de calidad necesarios para la fabricación de implantes para uso humano.

Para poder cumplir con los objetivos planteados en este trabajo, se estudiarán los distintos procesos de mecanizado y acabado superficial disponibles en el mercado para la fabricación de piezas de acero inoxidable, se seleccionarán los procesos y equipos más adecuados y se realizará un análisis económico para estudiar la factibilidad de fabricación de los productos antes mencionados en nuestro país.

ÍNDICE

Pág.

Capítulo I

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO A FABRICAR **12**

1.1	Introducción a los fijadores externos	13
1.2	Clavos de Schanz	15
1.2.1	Geometría de los clavos de Schanz	16
1.3	Alambres de Kirschner y clavos de Steinmann	22
1.3.1	Alambres de Kirschner	22
1.3.2	Clavos de Steinmann	24
1.3.3	Geometría de los alambres de Kirschner y clavos de Steinmann	25
1.4	Acero inoxidable 316L	29

Capítulo II

PROCESOS DE MECANIZADO **31**

2.1	Fabricación de roscas por laminación	32
2.1.1	Capacidades y limitaciones	32
2.1.2	Acabado superficial	33
2.1.3	Resistencia de las roscas laminadas	34
2.1.4	Evaluación de los metales para el roscado por laminación	34
2.1.5	Preparación y alimentación de las preformas	38
2.1.6	Relación entre el diámetro de paso y el diámetro de la preforma	39
2.1.7	Alimentación	40
2.1.8	Laminado con dados planos	41
2.1.9	Avance radial	44
2.1.10	Avance tangencial	50



	Pág.
2.1.11 Avance pasante	52
2.2 Fabricación de roscas en el torno	53
2.2.1 Generalidades	53
2.2.2 Torneado de roscas	53
2.2.2.1 Generando el perfil de la rosca	54
2.2.2.2 Selección de la herramienta	55
2.2.3 Otros tornos y máquinas de tornear	57
2.2.3.1 El torno para herramientas y el torno de velocidad	57
2.2.3.2 El torno revolver	58
2.2.3.3 El torno mandril	58
2.2.3.4 Máquina automática de barras	59
2.2.3.5 Tornos controlados numéricamente	60
2.2.3.6 Tornos tipo suizo	60
2.3 Fresado	63
2.3.1 Tipos de operaciones de fresado	63
2.3.2 Fresas	68
2.3.3 Máquinas fresadoras CNC	69
2.3.4 Fresado de roscas	69
2.4 Roscado por remolino (thread whirling)	73
2.5 El roscado con dado	77
2.5.1 Dados sólidos	78
2.5.2 Dados auto-aperturables	82
2.5.3 Dados sólidos versus dados auto-aperturables	86
2.5.4 Roscado con peine único	88
2.5.5 Modificación de peines	89
2.5.6 Factores que influyen en el rendimiento	89
2.6 Fabricación de roscas por esmerilado	94
2.6.1 Procesos de esmerilado de roscas	94



	Pág.
2.6.2 Aplicaciones del esmerilado de roscas	96
2.6.3 Tolerancias	97
2.6.4 Selección de las ruedas	98
2.6.5 Velocidad de esmerilado	99
2.6.6 Esmerilado cilíndrico de roscas	99
2.6.7 Esmerilado de roscas sin centros	105
2.6.8 Prácticas de producción	107
2.6.9 Aplicaciones de alto volumen del esmerilado de roscas	107
2.6.10 Máquinas de esmerilado de roscas	109
2.7 El maquinado del acero inoxidable	109
2.7.1 Generalidades	109
2.7.2 Fluidos de corte	111
2.7.3 Torneado	113
2.7.4 El roscado con dado	115
2.7.5 Roscado por laminación	117
2.7.6 Fresado	117
2.7.7 Esmerilado	118

Capítulo III

PROCESOS DE ACABADO SUPERFICIAL **120**

3.1 La limpieza del acero inoxidable	121
3.1.1 Generalidades	121
3.1.2 Limpieza alcalina	124
3.1.2.1 Composición de un limpiador alcalino	124
3.1.2.2 Mecanismos de limpieza	127
3.1.2.3 Métodos de aplicación	129
3.1.3 Limpieza ultrasónica	130



	Pág.
3.1.3.1 Descripción del proceso	130
3.1.3.2 Generación de ultrasonido	131
3.1.3.3 Equipo	132
3.1.3.4 Temperatura de la solución	134
3.1.3.5 Consideraciones de limpieza	135
3.2 Decapado ácido	136
3.3 Pulido electrolítico	137
3.3.1 Generalidades del pulido electrolítico	137
3.3.2 Proceso de pulido electrolítico	138
3.3.3 Mecanismo de pulido electrolítico	142
3.3.3.1 Influencia de los parámetros de operación sobre el pulido electrolítico	143
3.3.3.2 Preparación de la superficie	143
3.3.4 Condiciones de trabajo	144
3.3.4.1 Electrolito	144
3.3.4.2 Tanques	150
3.3.4.3 Ánodos y cátodos	151
3.3.4.4 Agitación	151
3.3.4.5 Intensidad de corriente y voltaje	152
3.3.4.6 Ventilación	153
3.3.4.7 Requerimientos de potencia	153
3.3.4.8 Limitaciones del proceso	154
3.4 Marcado láser	155
3.4.1 Láser Nd:YAG	155
3.4.2 Beneficios del láser pulsado con diodos	159
3.4.3 Características de un equipo de marcado láser Nd:YAG	160



Pág.

Capítulo IV**SELECCIÓN DE LOS PROCESOS DE MECANIZADO** **167**

4.1	Selección del proceso de roscado	168
4.1.1	Roscado por laminación	168
4.1.2	Roscado con esmeril	169
4.1.3	Roscado con una máquina fresadora	170
4.1.4	Mecanizado de roscas en torno	171
4.1.5	Roscado con dado	172
4.1.6	Roscado por remolino	173
4.2	Fabricación de la punta y el extremo posterior	176
4.3	Selección del fluido de corte	177
4.3.1	Formulación del fluido de corte	179

Capítulo V**SELECCIÓN DE LOS PROCESOS DE ACABADO SUPERFICIAL** **182**

5.1	Proceso de marcado	183
5.2	Proceso de limpieza	183
5.3	Proceso de electropulido	184

Capítulo VI**DISEÑO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN EN SERIE** **186**

6.1	Selección de los equipos	187
6.2	Diseño del proceso de fabricación	194
6.2.1	Etapas de mecanizado	194
6.2.1.1	Clavos de Schanz	194
6.2.1.2	Clavos de Steinmann	211



	Pág.
6.2.1.3 Alambres de Kirschner	218
6.2.1.4 Vida de la herramienta	225
6.2.1.5 Utilización del fluido de corte	229
6.2.2 Etapa de marcado láser	230
6.2.3 Etapa de electropulido	230
6.2.3.1 Disposición de los residuos de la limpieza y electropulido	233
6.3 Distribución del área de procesos	234
 Capítulo VII	
<u>ANÁLISIS ECONÓMICO</u>	236
7.1 Generalidades	237
7.2 Costos de materia prima	238
7.3 Costos directos de fabricación	239
7.3.1 Costos de mecanizado	239
7.3.2 Costos de los procesos de acabado superficial	245
7.3.3 Costos de agua y luz	246
7.4 Costos indirectos de fabricación	248
7.5 Costo total de las piezas a fabricar	250
 CONCLUSIONES	252
RECOMENDACIONES	254
APÉNDICE	
A. El fluido de corte	256
B. El desgaste y la vida de la herramienta	265
BIBLIOGRAFÍA	274



CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO A FABRICAR



1.1 INTRODUCCIÓN A LOS FIJADORES EXTERNOS

Cuando ocurre una fractura, el tratamiento mas usado es la colocación de un yeso, pero en muchas ocasiones existen compromisos de tipo vascular, fracturas abiertas, fracturas conminutas, cirugía reconstructiva y fracturas que involucren quemaduras. En las patologías mencionadas se recomienda la utilización de fijadores externos; dejando atrás a los métodos tradicionales.

La fijación externa es un método de inmovilización esquelética, en la cual fragmentos óseos o huesos enteros son interconectados por elementos de estabilización con las cuales se puede hacer fijación, transportación y alargamiento de fracturas. Este dispositivo se aplica a los huesos mediante la inserción de clavos percutáneos. Las estructuras usadas para proveer estabilidad esquelética se colocan fuera del cuerpo a una distancia segura de la zona afectada o afección, pudiendo modificar la disposición de los clavos y rotulas para una amplia variedad de patologías de fracturas.

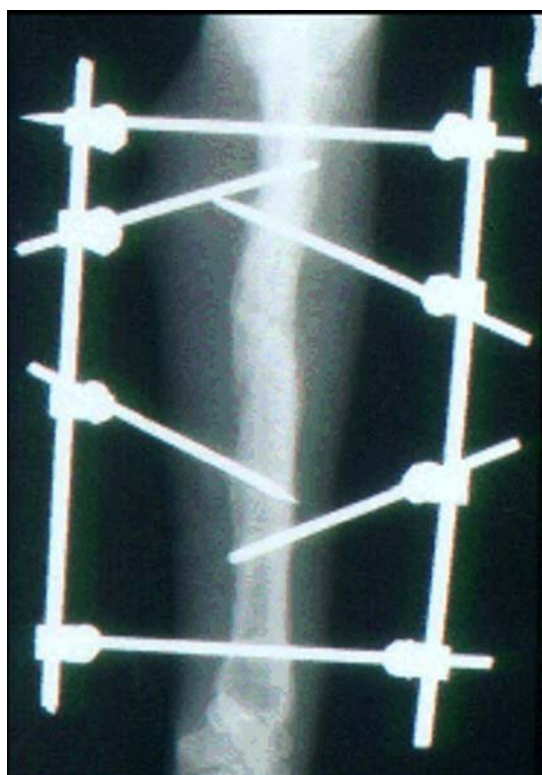
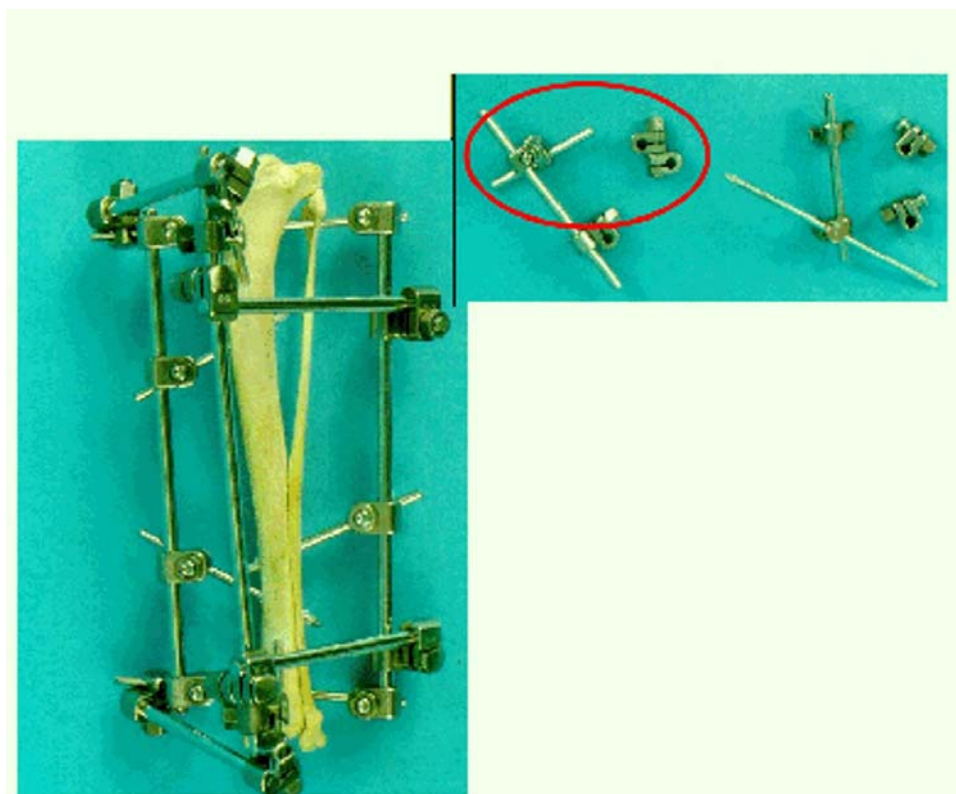


Figura 1(a) y 1(b). Ejemplo de fijadores externos



Los fijadores externos son una herramienta indispensable en las manos de traumatólogos experimentados gracias a la mejora de los componentes y a una mayor comprensión de los principios que rigen una utilización más efectiva y segura. Los mismos tienen la capacidad única de estabilizar los tejidos blandos y el hueso. Si se aplican correctamente proporcionan un acceso sin obstáculos a las estructuras esqueléticas y blandas pertinentes, para su valoración inicial y las intervenciones secundarias necesarias para restaurar la continuidad ósea y cobertura funcional de los tejidos. Para esto se utilizan, tracciones esqueléticas o clavos de Schanz y alambres de Kirschner, estos últimos, como se verá posteriormente, al ser de diámetros mayores a 2,5 mm son llamados clavos de steinmann.

Después de la aplicación del fijador externo el traumatismo vascular adicional de tejidos blandos y óseos es mínimo, disminuyéndose el riesgo de hemorragias o infección.

1.2 CLAVOS DE SCHANZ

Los clavos de Schanz son varillas roscadas en el extremo con punta de broca (la cual penetra y asegura el hueso) cuya función es la de unir al hueso con la estructura del fijador externo, el cual sirve como estructura de soporte temporal a los extremos del hueso fracturado.



Figura 2. Penetración de los clavos de Schanz.

Estudios previos, en los cuales se basará este trabajo de investigación, han determinado que la geometría ideal de la punta de los clavos de Schanz, debe cumplir con la condición de hélice para taladrar adecuadamente el hueso cortical y roscar para que quede fijamente anclado a éste; el material utilizado debe ser inoxidable, resistente al ambiente agresivo dentro del cuerpo humano, que no atente contra el sistema corporal y con un acabado superficial tal que garantice la imposibilidad de adherencia de bacterias y anticuerpos en las irregularidades de su superficie. En el estudio hecho por Daniela Curiel [1] se encontró la forma óptima del extremo cortante para el clavo de schanz.

1.2.1 Geometría De Los Clavos De Schanz



Como se describió anteriormente, un clavo de Schanz se compone de varias partes esenciales:

- Parte roscada.
- Gavilanes o hélices
- Cíncel

La rosca

De este componente depende la correcta fijación del clavo en el hueso del paciente, si el clavo no está bien sujeto puede haber desprendimiento, causando traumatismos adicionales y/o molestias en el paciente.

Se encontró que la rosca ideal para este tipo de aplicaciones es la de tipo “Buttress”, la cual, por su tipo de perfil, penetra sin fracturar el hueso y ofrece una excelente fijación soportando los grandes esfuerzos a la que es sometida una vez que el clavo es insertado.

A continuación se dan las especificaciones completas de la rosca del clavo de Schanz.

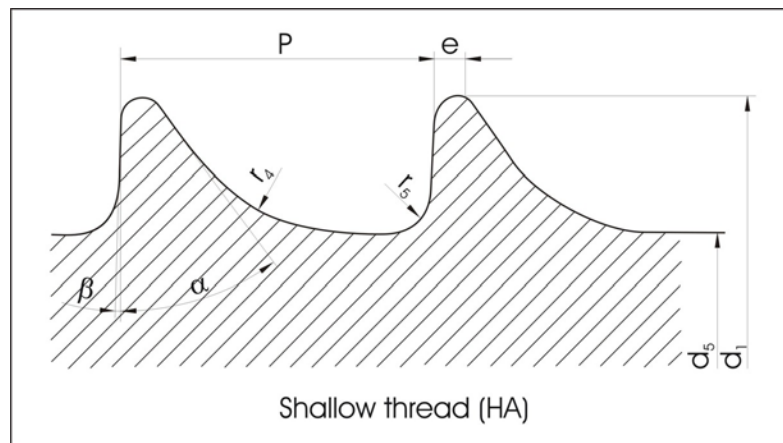


Figura 3. Perfil de rosca de un clavo de Schanz



Tabla 1. Especificaciones de la rosca para distintos diámetros.

CÓDIGO Y DIÁMETRO DE LA ROSCA	d₁ (2) [mm]	d₅ (2) [mm]	e ≈ [mm]	p ≈ [mm]	r4 ≈ [mm]	r5 ≈ [mm]	α ≈	β ≈
HA 3,175	3,175	2,375	0,1	1,25	0,8	0,2	35°	3°
HA 3,969	3,969	2,869	0,1	1,5	0,8	0,2	35°	3°
HA 4,763	4,763	3,263	0,1	1,75	1	0,3	35°	3°

Tabla 2. Longitud de rosca para distintos diámetros.

DIÁMETRO (MM)	LONGITUD ROSCADA (MM)	LONGITUD TOTAL (MM)
3,175	25	80
3,969	40	120
4,763	55	200

Los gavilanes o hélices

Este componente es esencial para poder cortar el hueso uniformemente en vez de destruirlo, además, durante la operación de inserción, actúa como canal de extracción de la viruta en el agujero.

De acuerdo con el estudio realizado previamente el ángulo de hélice óptimo para nuestro clavo es de 8° de inclinación con respecto al eje horizontal del mismo. El clavo consta de dos gavilanes o hélices opuestas 180° en la punta del clavo, las cuales desembocan cada una en las caras planas que forman el cincel, esta configuración permite el corte del hueso de forma análoga a una broca penetrando en una pieza de madera o metal.

La punta



La perforación del hueso, como se mencionó anteriormente, se asemeja a la acción de las brocas de taladrar; las cuales poseen una geometría específica para cortar el material sobre el cual se taladra. Si el ángulo de punta es muy pequeño esta se hace muy afilada y frágil. Si el ángulo es muy grande la viruta se forma y se desprende con facilidad.

Los ángulos de punta estándar para brocas son los siguientes:

118°	—————→	aceros y fundiciones.
140°	—————→	metales tenaces.
80° y 50°	—————→	metales frágiles.

Debido a las características únicas del hueso humano, se realizaron estudios previos a este trabajo [1] para obtener así el ángulo de punta óptimo para nuestra aplicación, el cual es 92°. Este ángulo es formado por dos caras planas en el extremo cortante del clavo, las cuales están posicionadas en la desembocadura de cada una de las hélices descritas anteriormente.

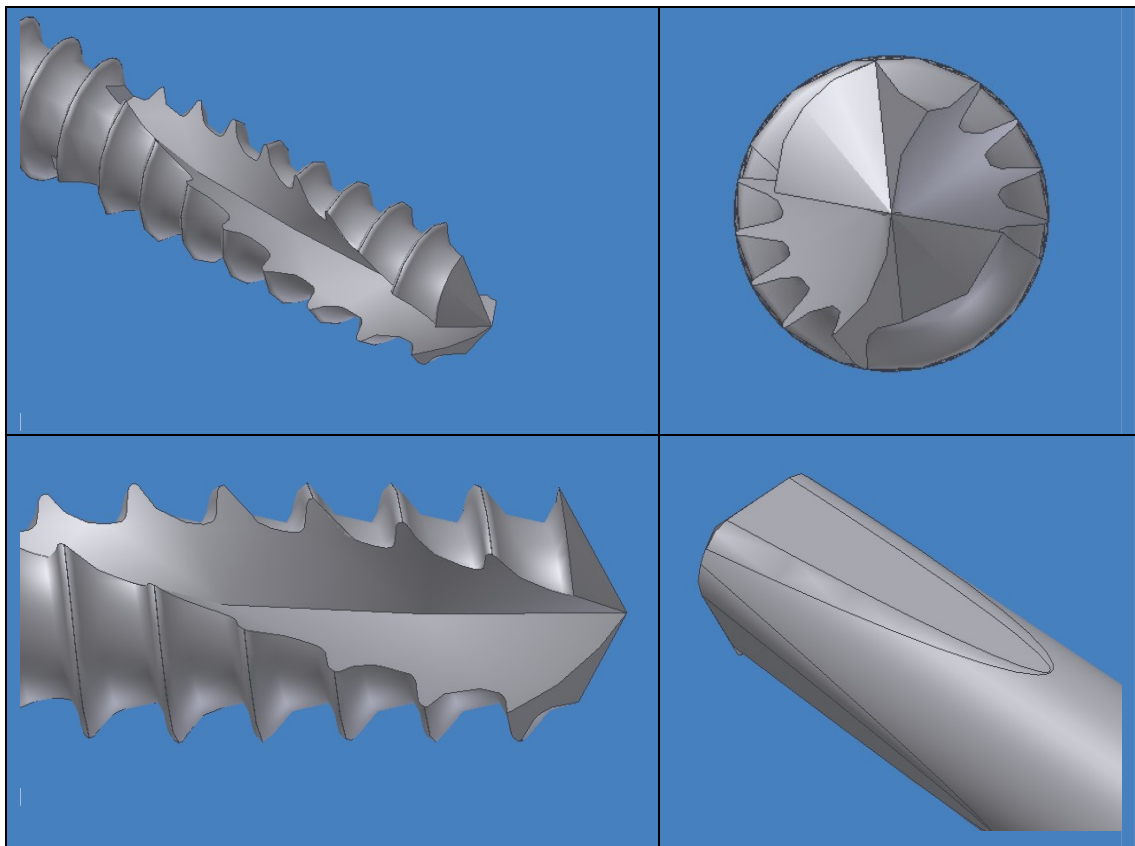


Figura 4. Modelo 3D de un clavo de Schanz, mostrando su geometría básica

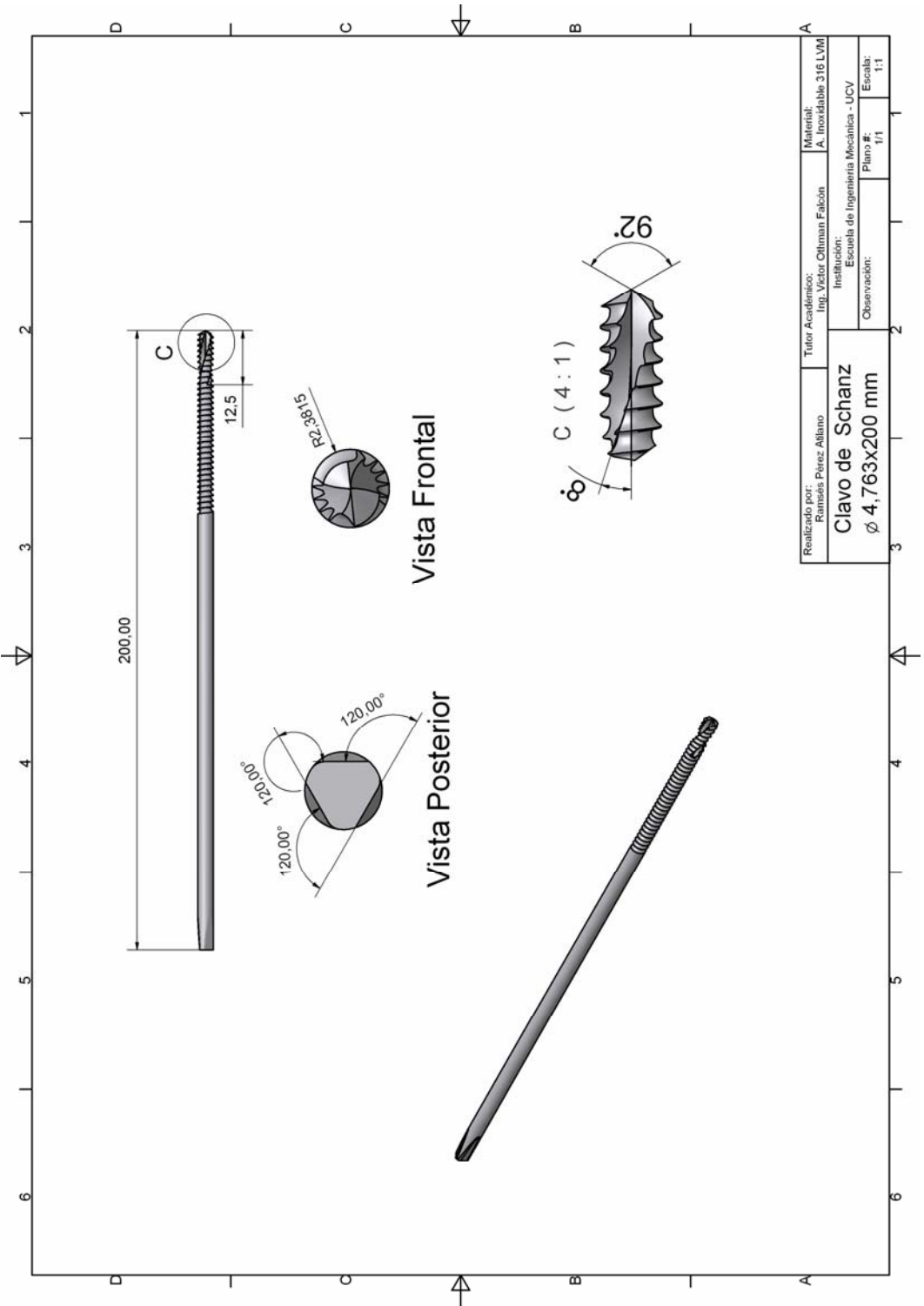


Figura 5. Plano de un clavo de Schanz



1.3 ALAMBRES DE KIRSCHNER Y CLAVOS DE STEINMANN

1.3.1 Alambres de Kirschner

Un alambre de Kirschner es un delgado, semiflexible y largo alambre que se usa para estabilizar fragmentos de hueso, generalmente usados en huesos pequeños como las falanges. Estos alambres son taladrados a través del hueso y la piel (percutáneamente) para luego colocar los fragmentos en su lugar. Este proceso muchas veces elimina la necesidad de realizar una operación como método correctivo, en algunos casos son colocados por el médico pos operatoriamente para mantener los fragmentos en su sitio.



(a)



(b)

Figura 6(a) y (b). Corrección de una fractura utilizando alambres de Kirschner

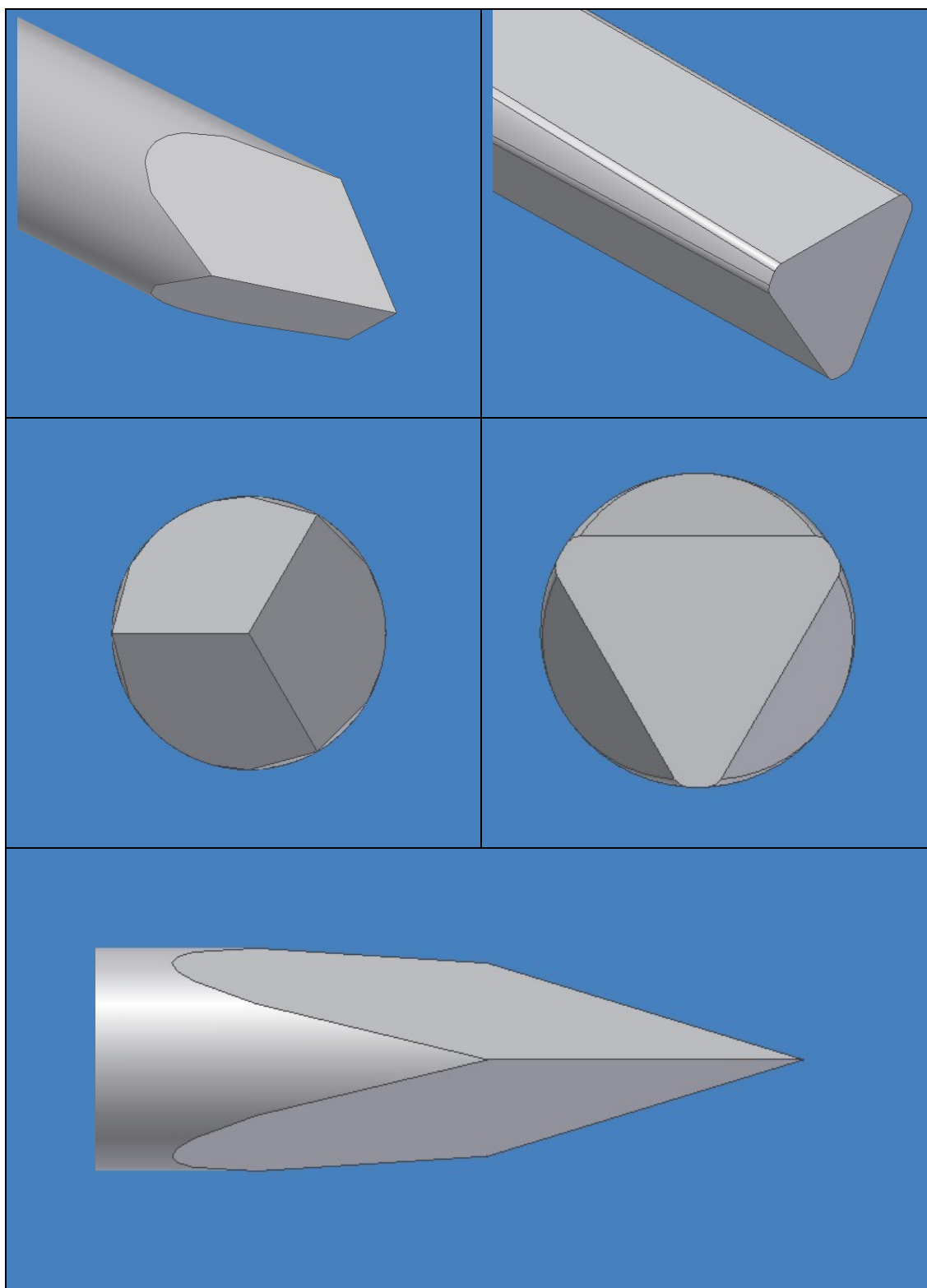


Figura 7. Modelo 3D de un alambre de Kirschner



1.3.2 Clavos de Steinmann

Es un clavo liso con aplicaciones generalmente transfixiantes, es decir, fija el hueso y lo atraviesa. Atraviesa todos los tejidos. Se hace una incisión en el cutáneo, atraviesa las caras corticales y el tejido medular hasta volver a salir fuera del organismo, para luego ser soportado por un fijador externo de tipo circular. Este clavo también tiene aplicaciones intramedulares, para corrección y ayuda en operaciones de columna, etc.

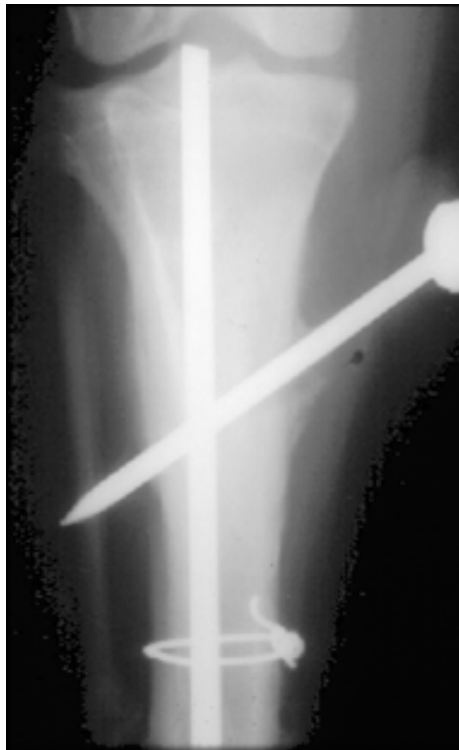


Figura 8. Aplicación de un clavo de steinmann

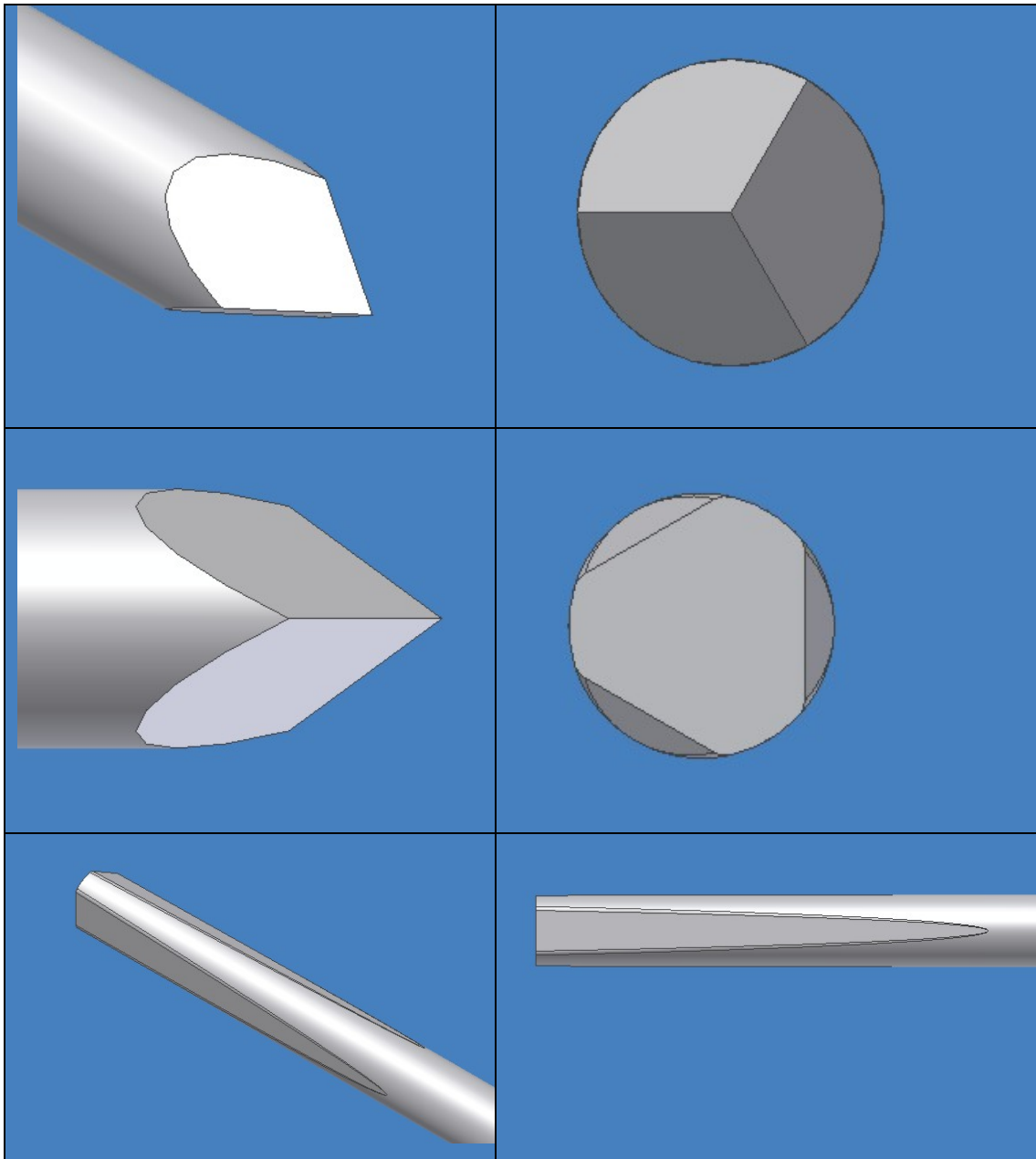


Figura 9. Modelo 3D de un clavo de Steinmann

1.3.3 Geometría de los alambres de Kirschner y clavos de Steinmann

La geometría de ambos fijadores es muy similar, variando solo en sus diámetros y en la medida de sus puntas. Su extremo cortante consiste en tres caras planas, que forman entre ellas 120° (dividiendo su circunferencia en tres secciones



iguales) y forman 23° (para los clavos de Steinmann) y 10° (para los alambres de Kirschner) con el eje horizontal del clavo.

Para los alambres de Kirschner la longitud de su extremo cortante es de 5 mm y para los clavos de Steinmann es de 8 mm.

La longitud de ambos fijadores es de 300 mm.

Estos fijadores se fabricarán en los siguientes diámetros:

Tabla 3. Diámetros de alambres de Kirschner y clavos de Steinmann

ALAMBRES DE KIRSCHNER
1 mm
1,5 mm
2 mm
2,5 mm

CLAVOS DE STEINMANN
3,175 mm
3,969 mm
4,763 mm

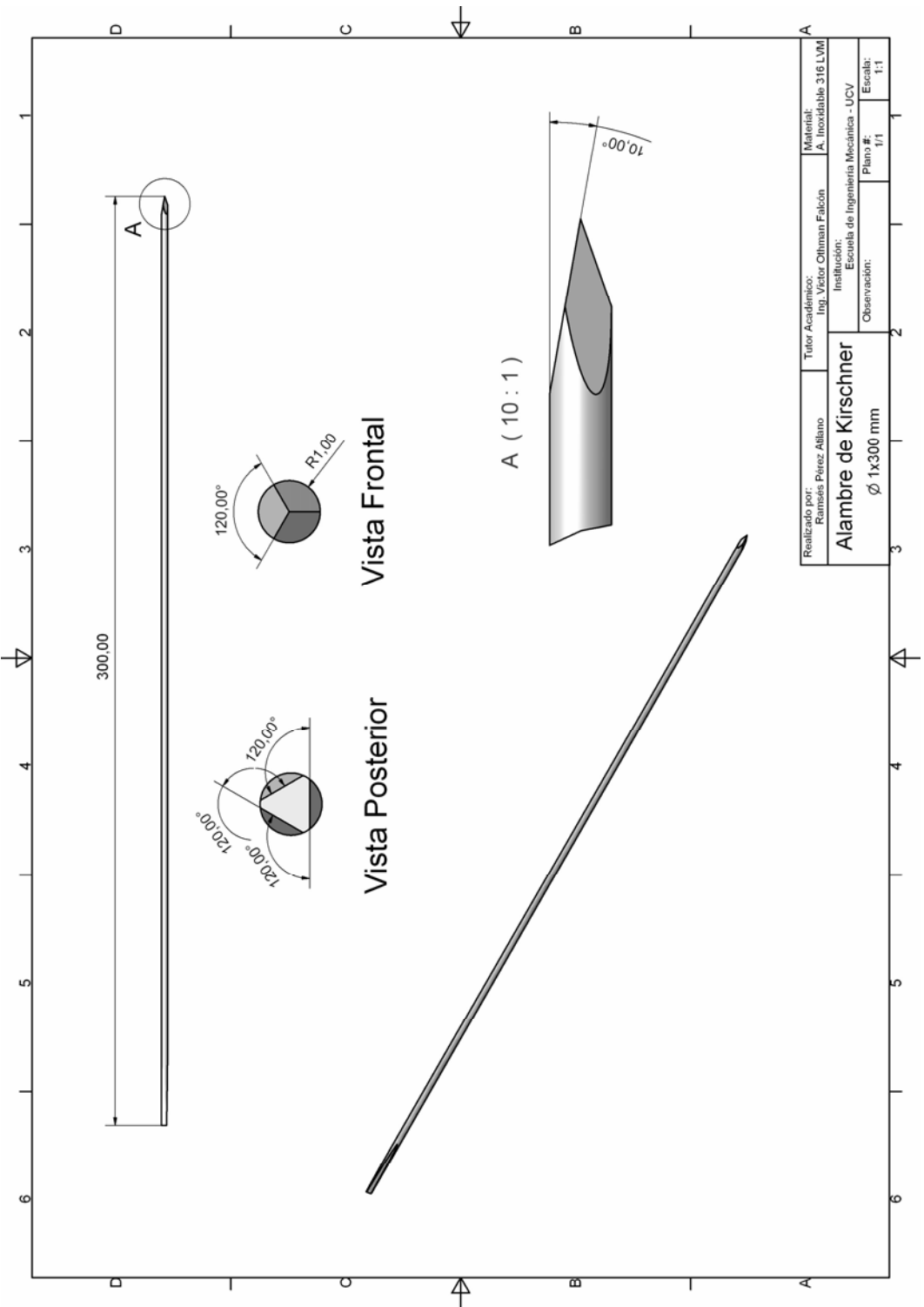


Figura 10. Plano de un alambre de Kirschner

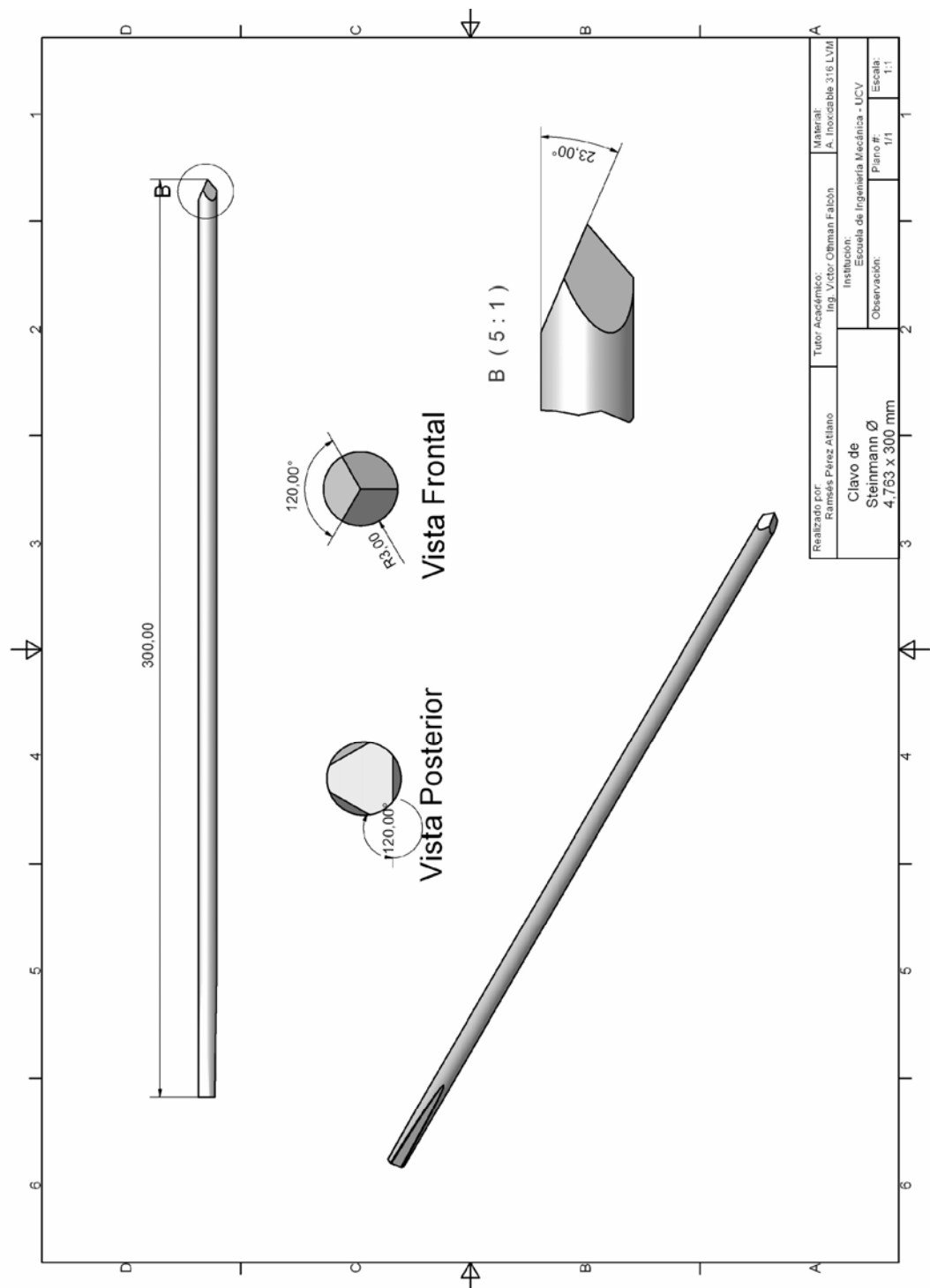


Figura 11. Plano de un clavo de Steinmann



1.4 ACERO INOXIDABLE 316 L

Todos los fijadores descritos se van a fabricar en esta aleación, la cual, junto al titanio y a las aleaciones de Cr-Co-Mo, es la más usada en prótesis humanas.

El acero inoxidable 316 L es un acero austenítico con estructura cúbica centrada en las caras, de carácter no magnético.

Descripción general

Es un acero aleado con molibdeno fabricado por refusión al vacío para la producción de implantes temporales y permanentes.

Composición química (nominal) %

	C max	Si	Mn	P max	S max	Cr	Ni	Mo	Cu max	N max
316LVM	0,025	0,6	1,7	0,025	0,003	17,5	13,5	2,8	0,10	0,10

Estándares

Grado: 316L

ASTM: S31673

W Nr.: 1.4441

DIN: X 2 CrNiMo 18 15 3

Normas que caracterizan al material

ASTM F138-00

DIN ISO 5832-1 Comp D, 2000

ISO 5832-1, Comp D, 1997.



BS 7252-1, Comp D, 1997.

Propiedades mecánicas

Condición	Resistencia probada		Resistencia a la tracción		Elongación	Dureza
	$R_{p0,2}$ MPa min	ksi min	R_m MPa min	ksi min	A, % valores típicos	Brinell
Recocido	190	28	490	71	45	160
Tracción media	700	101	900	131	15	285
Tracción alta	800	116	1100	160	12	300

Propiedades físicas

316L	
Densidad (20 °C)	8,0 g/cm ³
Módulo de elasticidad, $\times 10^3$ (20°)	200 MPa
Calor específico (20°C)	485 J/(kg °C)
Conductividad térmica (20°)	14W /(m°C)
Expansión térmica, $\times 10^{-6}$ (30-100°)	16,5 por °C

Resistencia a la corrosión

El acero inoxidable 316L tiene muy buena resistencia en ambientes fisiológicos a la:

- Corrosión general e intergranular, debido a su alta pureza y bajo contenido de ferrita.
- Corrosión de grietas debido al contenido de molibdeno.



CAPITULO II

PROCESOS DE MECANIZADO



A continuación se exponen todos aquellos procesos de fabricación que han sido considerados como alternativas en el diseño del proceso de fabricación de los clavos.

2.1 FABRICACION DE ROSCAS POR LAMINACIÓN

El roscado por laminación es un proceso de conformado en frío usado para producir roscas y otras formas helicoidales o anulares imprimiendo por laminación la forma de un dado de acero endurecido, en la superficie de una pieza cilíndrica o cónica en blanco. Piezas poligonales también son roscadas por laminación con el propósito de fabricar tornillos conformados y autofijantes. La forma poligonal preferida es la trilobular y es producida en máquinas de dados planos o “peines”.

Contrariamente al roscado por corte o esmerilado, el roscado por laminación no remueve material de la pieza de trabajo. En lugar de eso, los dados de laminación desplazan el metal de la superficie de la pieza para formar los hilos y las crestas de la rosca. Los dados para laminar roscas pueden ser planos o cilíndricos (rodillos de laminación) (figura 12). El movimiento de los dados cilíndricos puede ser clasificado en: avance radial, avance tangencial, avance pasante, planetario e interno.

2.1.1 CAPACIDADES Y LIMITACIONES

La mayoría de los procesos de roscado por laminación son hechos en piezas con durezas iguales o menores a los 32 HRc. Sin embargo, roscas de tornillos usados para servicios a altas temperaturas son laminados en metales tan duros como 52 HRc. Algunos metales como fundiciones de hierro gris y metales aglomerados no pueden ser laminados debido a su baja ductilidad. Estos materiales se desmoronan en vez de conformarse en el contorno del dado de laminación.

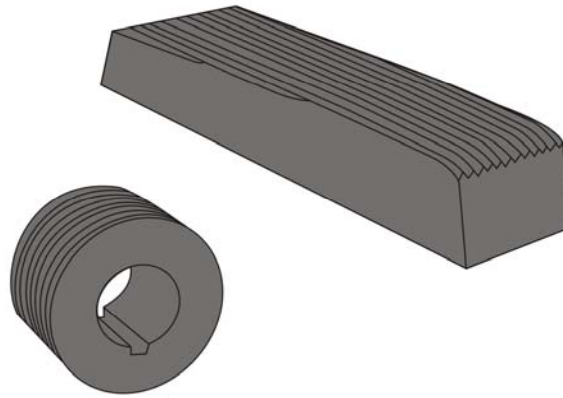


Figura 12. Dos tipos de dados para laminación

Todas las formas más comunes de roscas (derechas o afiladas) pueden ser laminadas. Los diámetros de rosca pueden variar desde menos de 1,25 mm (para instrumentos) hasta 380 mm; las roscas mas largas pueden ser de hasta 6 metros.

Ángulos de rosca de 60° laminan bien. Para ángulos mayores, el metal fluye con mucha más dificultad. Roscas con raíces completamente redondeadas son laminadas con más facilidad que aquellas con raíces anchas y planas. Ángulos de costado menores a 10° y profundidades que excedan un sexto del diámetro mayor deben ser evitados, excepto en los metales mas dúctiles. Para roscas de entrada múltiple, una profundidad de un cuarto del diámetro mayor para avances de roscas dobles o cuádruples y un quinto del diámetro mayor para roscas triples es generalmente aceptable.

2.1.2 ACABADO SUPERFICIAL

Cuando el proceso es realizado correctamente, los dados de laminación le imparten a las roscas raíces suaves y pulidas. Las roscas laminadas son libres de grietas y marcas de herramientas, comunes en las roscas hechas por corte. Tales imperfecciones pueden servir como punto de inicio para una falla por fatiga.



La rugosidad superficial en las roscas laminadas se encuentra usualmente dentro de un rango entre 0,20 y 0,6 μm , mientras que en las fabricadas por corte esta usualmente en un rango entre 1,63 y 3,18 μm , con pequeños cantos o imperfecciones a lo largo de los costados de la rosca.

En general, el coeficiente de fricción de la superficie de contacto de una rosca laminada es considerablemente más bajo en comparación con el de una rosca hecha por corte. El coeficiente de fricción entre la rosca y su tuerca de acoplamiento determina con que efectividad un perno puede trabajar como tornillo para transmitir potencia.

Por lo tanto, el coeficiente de fricción relativamente mas bajo de la superficie de las roscas laminadas provee un ajuste mas uniforme y constante en tornillos y una menor pérdida de potencia en sobrefricción cuando una carga es movida por un tornillo. La fricción más uniforme y reducida de una rosca laminada además contribuye con el control del torque en conexiones roscadas con características de autofijación. El liso acabado superficial de las roscas laminadas además retarda la corrosión.

2.1.3 RESISTENCIA DE LAS ROSCAS LAMINADAS

El roscado por laminación deforma al metal plásticamente al forzarlo a fluir alrededor del contorno impuesto por el dado. El metal trabajado es apreciablemente más duro y resistente de lo que era antes de ser laminado. Así, tornillos con roscas laminadas son más duros y resistentes que aquellos con roscas hechas por corte.

2.1.4 EVALUACIÓN DE LOS METALES PARA EL ROSCADO POR LAMINACIÓN



Las tres características que son importantes a la hora de evaluar y seleccionar metales para roscado por laminación son laminabilidad, formación de crestas y formación de costuras.

Laminabilidad

Esta característica tiene que ver con la ductilidad y la resistencia del metal a fluir cuando es sujeto al conformado en frío en los dados de laminación (ver tabla 4). La potencia requerida para conformar una rosca dada a una rata específica en varios metales es inversamente proporcional a los índices de laminabilidad de estos. Si un material en una operación es cambiado por uno con menor índice de laminabilidad, la rata de producción por potencia requerida para una forma laminada en esa operación decrece.

El índice de laminabilidad además provee una manera de comparar cargas de dados radiales y la vida útil del dado esperada laminando dos materiales bajo condiciones idénticas de operación. Las cargas radiales requeridas para laminar varios metales son, de manera aproximada, inversamente proporcionales al índice de laminabilidad de dichos metales. La vida útil del dado es proporcional, aproximadamente, a la tercera o cuarta potencia de los índices si la falla final es debida a desmoronamiento o presencia de crestas en el dado. Por ejemplo, si la vida útil de un dado es de 30000 metros de barra roscada obtenida laminando un acero con un índice de 1,00; entonces una vida útil de 1800 a 3700 metros puede ser esperada para un acero con un índice de 0,5 roscado bajo las mismas condiciones.

Formación de escamas

La formación de escamas esta relacionada con la resistencia a los esfuerzos cortantes del metal que va a ser laminado. La presencia de plomo y azufre en el acero



incrementa la susceptibilidad de formar escamas durante el laminado. Un incremento en el contenido de carbono en el acero reduce la susceptibilidad a la formación de escamas. En general, la formación de escamas se incrementa directamente con la cantidad de trabajos en frío realizados previamente al material. Esto es cierto para la mayoría de los metales laminables, y especialmente en las aleaciones endurecidas tales como la serie 300 de aceros inoxidables, cobre y algunas aleaciones de aluminio. Un proceso de recocido antes de laminar reduce el riesgo de formación de escamas.

Dependiendo de su susceptibilidad a la formación de escamas los aceros se pueden clasificar en:

- Grupo A: pequeña o ninguna susceptibilidad, sin importar si el material fue o no trabajado en frío, o sin importar la brusquedad del laminado.
- Grupo B: menor susceptibilidad.
- Grupo C: fuerte susceptibilidad.
- Grupo D: susceptibilidad excesiva, lo que excluye al laminado en cualquiera de sus formas, a excepción de las muy simples y poco profundas.

Formación de costuras

Si durante el laminado, el metal de trabajo fluye más rápido por los costados que por el centro del dado, el metal desplazado puede unirse, formando una costura al llenar completamente la forma del dado de laminación. La formación de costuras depende tanto del material laminado como de la forma de la rosca a formar.



Figura 13. Costura abierta en la cresta de una rosca causada por el rápido fluir del metal a lo largo de los bordes del dado.

La formación de costuras abiertas puede ocurrir al laminar piezas subdimensionadas. Estas costuras pueden acortar la vida de servicio de las roscas en ambientes muy corrosivos, aunque usualmente no son perjudiciales en servicio normal, en donde la corrosión es menos importante. Los metales más dúctiles generalmente forman costuras más profundas que los más duros y menos dúctiles.

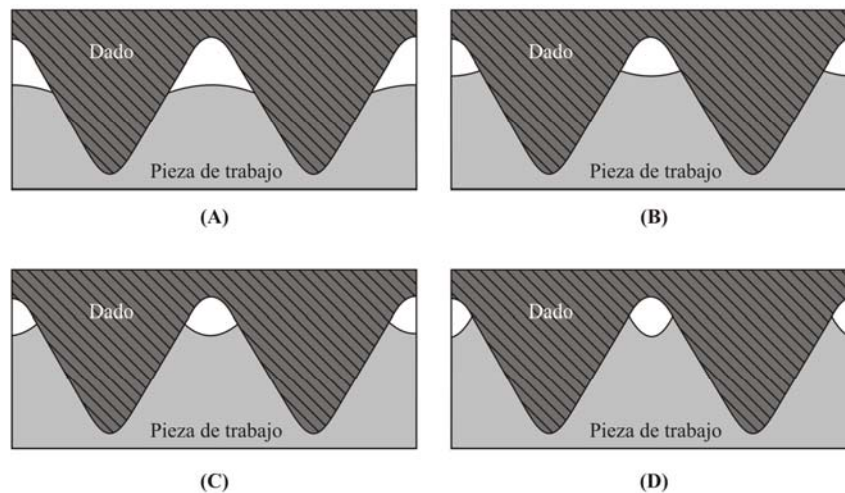


Figura 14. Cuatro grados de susceptibilidad a la formación de costuras. (a) Ninguna susceptibilidad. (b) Baja susceptibilidad. (c) Susceptibilidad moderada. (d) Susceptibilidad excesiva.

**TABLA 4. LAMINABILIDAD DE LAS ALEACIONES**

Metal	Dureza [HB]	Índice de laminabilidad	Formación de escamas	Formación de costuras
Aceros inoxidables				
303	174	0,46	C	B
316	150	0,45	B	B
416	221	0,58	C	B
430	225	0,56	C	B

2.1.5 PREPARACIÓN Y ALIMENTACIÓN DE LAS PREFORMAS

El diámetro de la preforma a ser roscada esta entre el diámetro mayor y menor de la rosca a ser laminada (ver figura 15).

Para producir roscas que tengan diámetros de paso con tolerancias dentro de los 0,05 mm, la tolerancia del diámetro de la parte debe estar dentro de los 0,013. Tolerancias mas pequeñas en roscas pueden incrementar el costo de preparación de la parte, algunas veces demasiado lejos del costo usual.

Debido al incremento en el diámetro de la rosca que se obtiene en este proceso, las partes con tolerancias de diámetro pequeñas deben ser esmeriladas. Partes de materiales no aptos para extrusión o formado de la cabeza en frío, tales como el titanio y algunos aceros inoxidables son también esmeriladas. El diámetro de la parte debe estar dentro de la tolerancia requerida para la medida y clase de rosca especificada. No es práctico laminar roscas con una tolerancia pequeña, excepto en partes ya llevadas al diámetro apropiado.

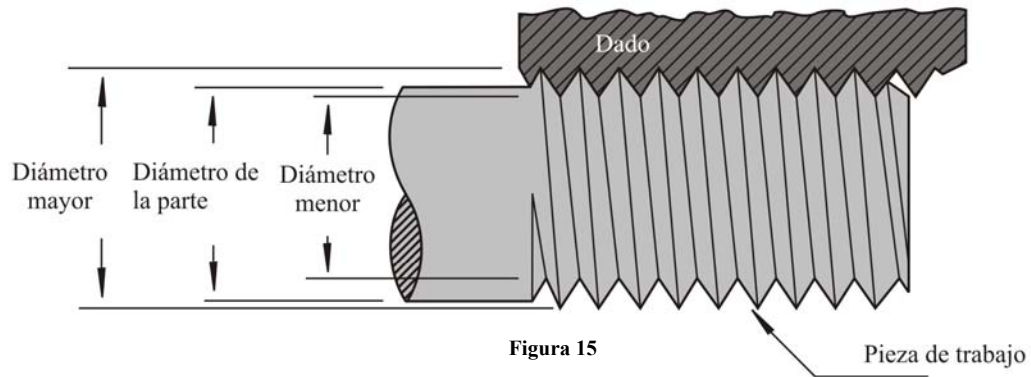


Figura 15

Sobrelaminar una parte subdimensionada para proveer una rosca del tamaño correcto causa falla prematura en el dado. La máxima vida útil del dado es obtenida cuando la cresta no es laminada completamente.

2.1.6 RELACIÓN ENTRE EL DIÁMETRO DE PASO Y EL DIÁMETRO DE LA PREFORMA

Se dice que la forma de la rosca está balanceada cuando el volumen de la cavidad debajo de la línea de paso es igual al volumen del metal por encima de la línea de paso. (La línea de paso se define como aquella localizada donde el ancho de la cresta superior de la rosca y la ranura de la rosca son iguales) (Ver figura 16).

En tales roscas, el diámetro correcto de la parte es básicamente el mismo diámetro de paso. Con metales cuya cabeza ha sido formada en frío, el máximo diámetro de la parte es generalmente igual al diámetro de paso referido. El diámetro óptimo de la parte varía con los distintos metales de trabajo, algunos ajustes pueden ser necesarios para lograr la formación de cresta deseada. Es necesario tener en cuenta un dimensionamiento adicional si se planea hacer un recubrimiento subsiguiente al metal. Si la forma de la rosca es desbalanceada el diámetro de la parte es distinto al diámetro de paso.

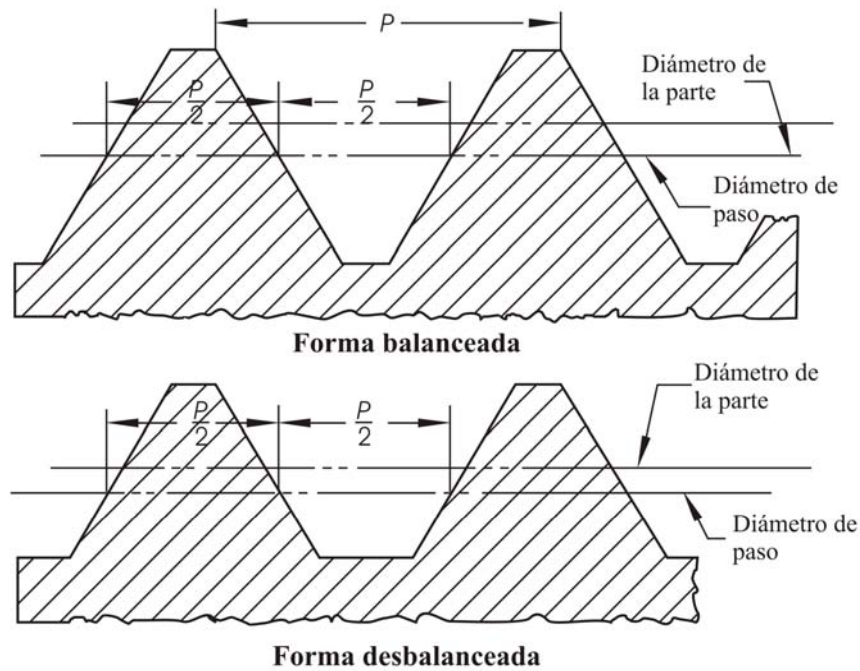


Figura 16. Formas balanceadas y desbalanceadas.

2.1.7 ALIMENTACIÓN

Los métodos de roscado emplean tres técnicas básicas para la alimentación de las piezas de trabajo hacia los dados:

- Alimentación radial: el dado, usualmente cilíndrico se mueve en dirección radial directamente hacia el eje de rotación de la pieza.
- Alimentación tangencial: El dado, cilíndrico o plano, pasa por la pieza siguiendo el camino trazado por el diámetro de paso de forma tangente a la superficie de trabajo.
- Alimentación pasante: los dados cilíndricos hacen que la pieza de trabajo se mueva axialmente mientras rota.



2.1.8 LAMINADO CON DADOS PLANOS

Los dados planos movibles son el tipo mas usado para laminar roscas en tornillos comerciales y partes similares. Una técnica involucra el uso de dos dados planos, rectangulares; uno es estacionario, y el otro se mueve en un plano paralelo a este, y están separados una distancia igual al diámetro menor de la rosca a laminar. (Ver figura 17). En otra técnica, ambos dados recorren la pieza.

Como la parte es forzada, por el alimentador, a permanecer en el espacio entre los dados, es enganchada por el movimiento transversal del dado movable, donde la cara roscada de estos la obligan a rodar, formándose así la rosca.

Se lamina una rosca a la vez durante la carrera de avance de la máquina. No se aprecia movimiento axial significativo en la parte durante el laminado. El diámetro final de la rosca es controlado por el diámetro inicial de la parte y por la distancia entre los dados al final de la carrera.

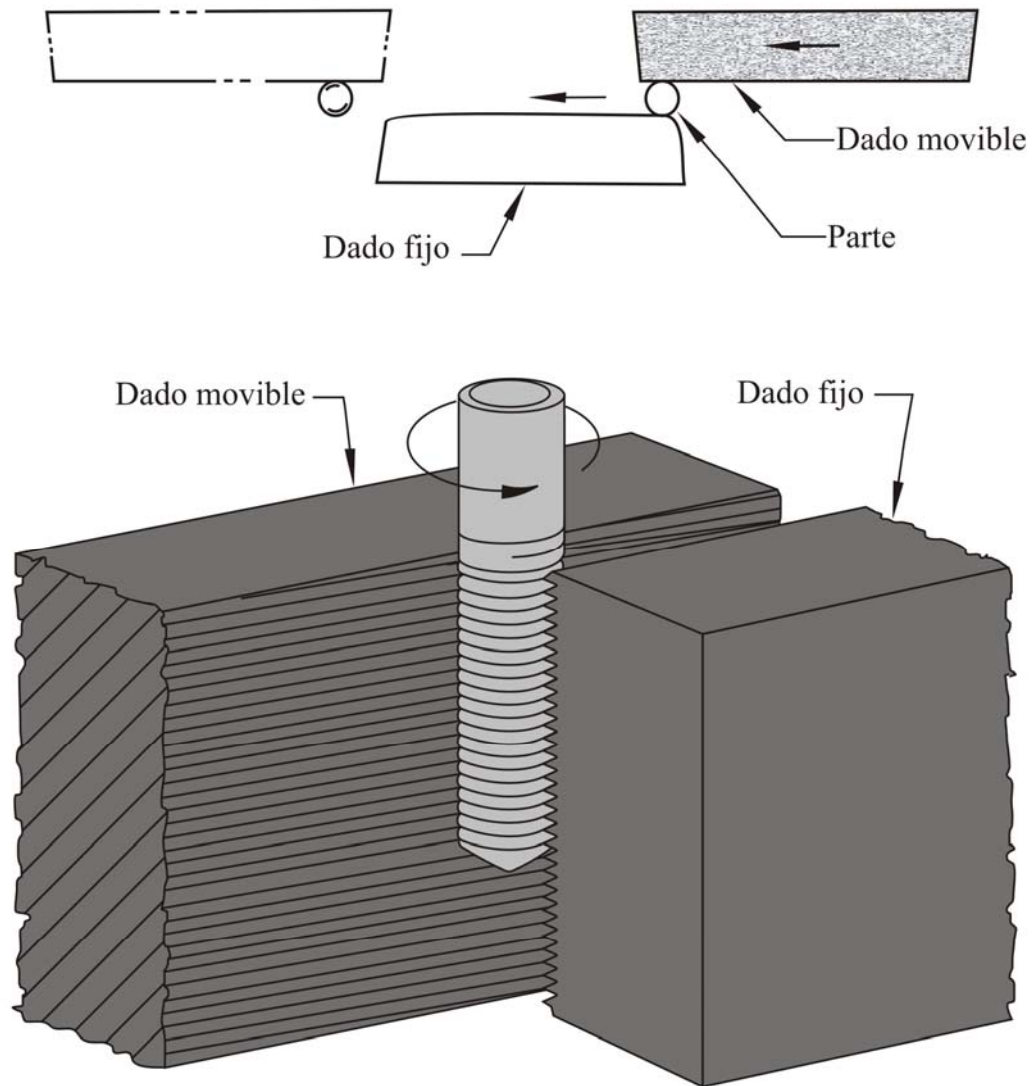


Figura 17. Principio de operación de un dado plano de laminación.

MÁQUINAS

El término genérico “dado plano de laminación” abarca una larga y variada familia de máquinas que son fabricadas en un número de medidas, cada una para un rango limitado de diámetros y un largo de rosca específico.



Como regla general, la medida correcta del largo del dado es aquel que le permita a la parte completar de seis a ocho revoluciones completas.

La mayoría de los laminadores de dados planos tienen la configuración mostrada en la figura 17. Muchas de las máquinas mas recientes tienen también dados que se mueven en el plano horizontal, pero con las caras de los dados formando un ángulo con el eje vertical.

La ruta de alimentación esta en ángulo, permitiendo que por gravedad la parte baje al mecanismo de inserción. Tipos especializados de máquinas laminadoras verticales y horizontales también están disponibles. Una maquina de movimiento horizontal tiene los dados dispuestos uno encima del otro en lugar de la configuración mostrada en la figura 17. Otras configuraciones en ángulo pudieran ser utilizadas.

DADOS

Los dados usados para laminar consisten en un par de planchas rectangulares, teniendo en sus caras opuestas la forma inversa a la de la rosca que se va a fabricar. Estos son fabricados de diversos anchos y son usados para laminar tornillos de cualquier longitud de rosca hasta la capacidad máxima del dado.

Teóricamente, el ángulo guía de un dado plano varia desde 0 hasta 45°, pero para producir la mayoría de las roscas estándar, este es menor que 45° (el ángulo guía esta definido como el ángulo entre la forma roscada y el eje longitudinal del dado).

La mejor práctica es que haya una completa penetración por parte del dado antes de la última revolución de la parte. La ultima revolución solo debería “planchar” pequeñas irregularidades en la forma de la rosca. Es importante que el dado sea solo lo suficientemente largo para evitar excesiva penetración.



CAPACIDADES

El proceso de roscado por laminación con dados planos es comúnmente usado para todos los tipos de tornillos rectos y cónicos. Este proceso puede producir más de una forma en una sola operación, tales como dos tipos distintos de roscas en los extremos de una parte, moleteado y roscado, o moleteado y una ranura anular, en la misma parte.

Las ratas de producción varían ampliamente y usualmente son inversamente proporcionales al tamaño del producto. Máquinas pequeñas pueden laminar partes a ratas de producción de 10000 a 36000 por hora. Máquinas grandes pueden laminar pernos de 13 mm de 3000 a 12000 piezas por hora.

LIMITACIONES

En general, este proceso puede usarse para laminar metales con una dureza menor o igual a 32 HRc antes del proceso, aunque aceros tan duros como 52 HRc pueden ser laminados.

Los diámetros de rosca suelen ser limitados a valores menores a 25 mm, aunque algunas máquinas pueden laminar diámetros de hasta 38 mm. Las longitudes de rosca pueden ser de hasta 265 mm. Estas limitaciones (dureza, largo, diámetro) están interrelacionadas, así que, una pieza de trabajo que tenga más de uno de esos valores cerca del límite máximo podría no ser apta para laminar.

2.1.9 AVANCE RADIAL

El roscado por laminación radial consiste en mover radialmente un dado o dados cilíndricos directamente hacia el centro de la pieza en rotación. (figura 18).



Una cantidad mínima de movimiento axial entre los dados y la pieza de trabajo ocurre durante el ciclo de laminación. Esta característica lo distingue del laminado por avance pasante (del inglés *throughfeed*). El movimiento axial es evitado diseñando el dado con un ángulo de avance efectivo igual en magnitud pero opuesto en dirección a aquel de la pieza de trabajo. El movimiento axial no afecta la calidad de la rosca, pero podría restringir la habilidad de producirla completamente si esta está cerca de un cambio de diámetro y reducirá la cantidad de rosca completa que puede ser traducida con un dado de cara especial.

El ángulo de avance efectivo varía un poco durante la penetración del dado de modo que ocurre cierto movimiento axial. La cantidad de movimientos es usualmente insignificante laminando roscas estándar, pero puede ser considerable cuando se laminan roscas romas o muy profundas, o aquellas con ángulos de avance largos. Los dados pueden ser diseñados para darle un poco de movimiento axial a la parte para así incrementar la vida útil del dado.

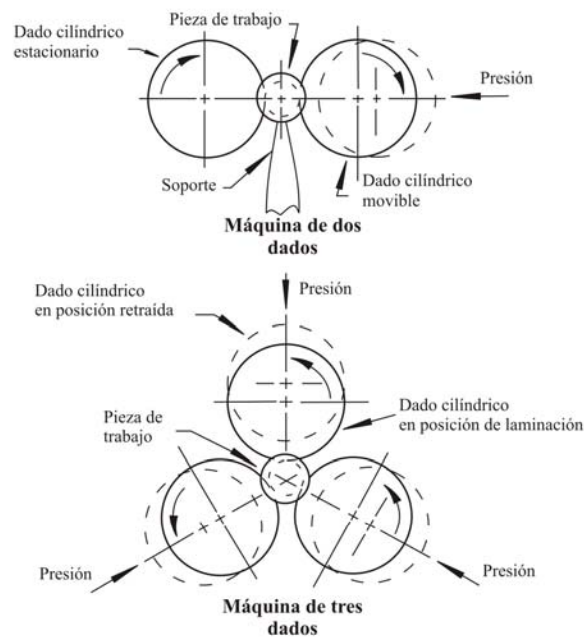


Figura 18. Principio de operación del laminado por avance radial



Cuando se usan dos o tres dados, estos deben concordar, para que así la ruta helicoidal producida por uno de ellos sea la continuación de la producida por el otro o los otros; de lo contrario va a haber saltos en la rosca producida.

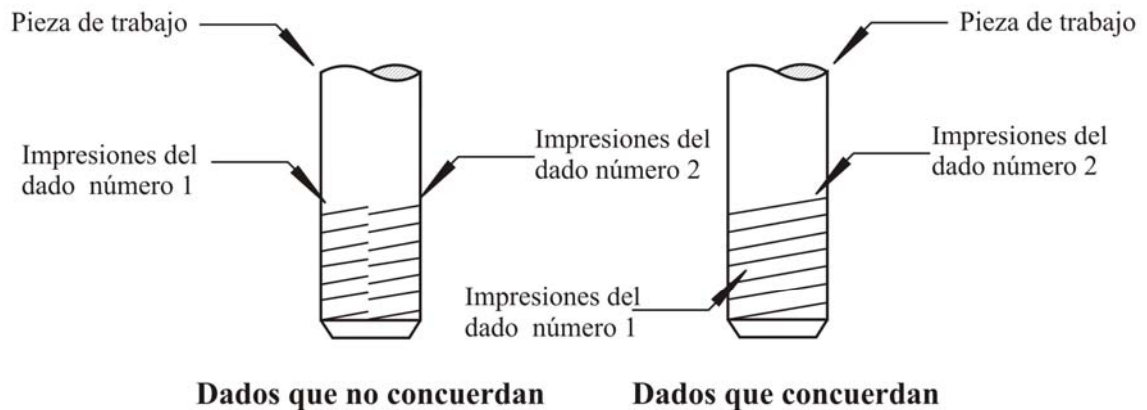


Figura 19. Efecto de la concordancia de los dados en la rosca laminada.

MÁQUINAS DE DADOS CILÍNDRICOS

Las máquinas de dados cilíndricos con capacidad de alimentación normal (no pasante) están equipadas con dos o tres dados. Las de dos lados usualmente son de tipo horizontal, es decir, la pieza está en posición horizontal durante el laminado. Las máquinas de tres dados están disponibles en ambos modelos, horizontal y vertical.

En las máquinas de dos dados, uno o ambos pueden moverse radialmente. Si uno de los dados no se mueve radialmente durante la penetración, la pieza de trabajo debe hacerlo. Si ambos dados se mueven, la parte puede permanecer estática.

La mayoría de las máquinas de tres dados proveen un movimiento radial de todos los rodillos de manera que la posición de la pieza de trabajo no cambia durante todo el proceso. Algunas máquinas poseen uno o dos dados estacionarios, en este caso, debe ser permitido el movimiento de la pieza de trabajo. Las máquinas de dos rodillos requieren un soporte para la pieza de trabajo, para que el eje de esta pueda ser



posicionado un poco más abajo (usualmente 0,25 mm) del plano que contiene a los ejes de los rodillos. Este posicionamiento previene que la parte se salga de los rodillos. Un soporte de descanso puede ser usado para pequeñas partes alimentadas manualmente. En las máquinas de tres dados estos sirven para localizar la parte, de manera que, con frecuencia el único accesorio requerido para carga manual es un tope para proveer la posición axial correcta.

TORNOS Y MÁQUINAS DE BARRAS AUTOMÁTICAS

El laminado radial de avance normal puede ser realizado en tornos y máquinas automáticas equipados con accesorios de roscado de uno, dos y tres rodillos contenidos en un dispositivo montado en el cabezal contrapunto. En estos accesorios, los dados cilíndricos son comúnmente llamados rodillos roscadores. (figuras 20 y 21).

El accesorio de rodillo único es simplemente un accesorio montado en una corredera transversal. Cuando la corredera avanza, el rodillo es presionado hacia la parte de trabajo de manera que rota con esta y así forma la rosca. El desplazamiento de la corredera es controlado de manera que el rodillo en su posición final produce el tamaño de rosca correcto. Después de que la corredera completa su desplazamiento es rápidamente retraída.



Figura 20. Accesorio de tres rodillos para laminación

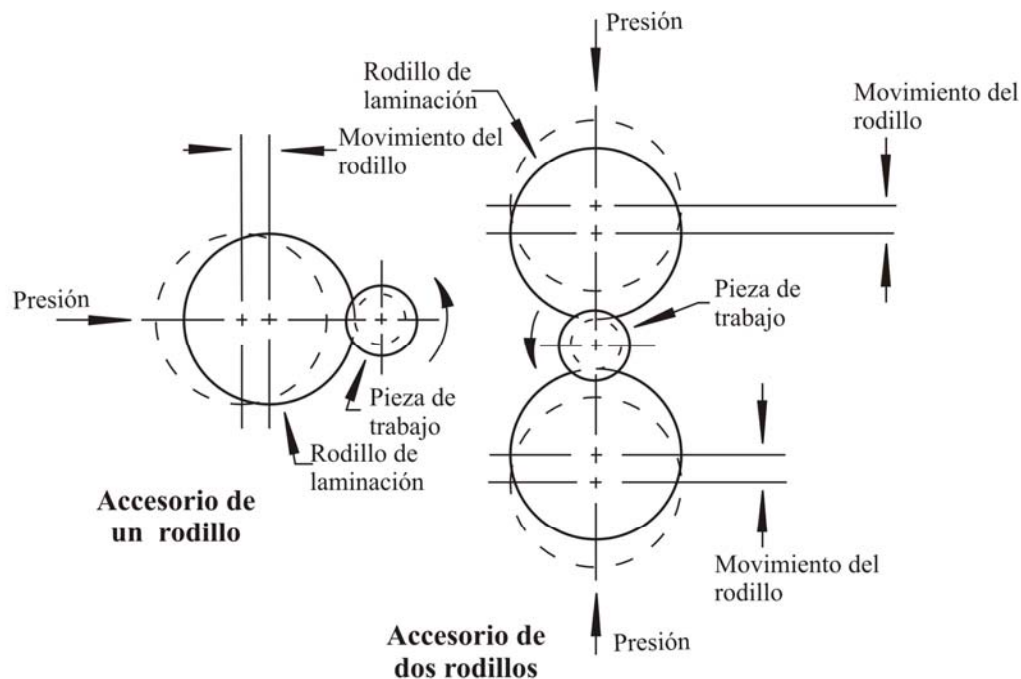


Figura 21. Principio de funcionamiento en dos tipos de accesorios de laminación, de uno y dos rodillos.

Los arreglos de doble rodillo funcionan de la siguiente forma: los dos rodillos están acomodados en lados opuestos del accesorio formando 180° entre ellos, y se aproximan a la pieza de trabajo en rotación, formando así la rosca. Después de haber alcanzado la penetración máxima los rodillos son rápidamente retraídos. Los accesorios de tres rodillos funcionan de manera similar a la descrita en secciones anteriores.

VENTAJAS

El método de avance radial permite laminar roscas cercanas a un cambio de diámetro, con un mínimo de imperfecciones en la rosca. Además pueden roscarse secciones comprendidas entre dos diámetros mayores, muy comunes en la fabricación de tornillos de transmisión sin fin.



El soporte de tres puntos que ofrecen las máquinas de tres rodillos ofrece ventajas en la laminación de partes con voladizos irregulares o desbalanceados y de partes considerablemente cortas. Los accesorios de uno o dos rodillos son usados ventajosamente para laminar roscas cercanas a la boquilla de sujeción en tornos o máquinas de barras automáticas. Estos tipos de rosca están usualmente detrás de un cambio de diámetro, haciendo a los laminados por avance radial y tangencial los procesos más prácticos para este fin.

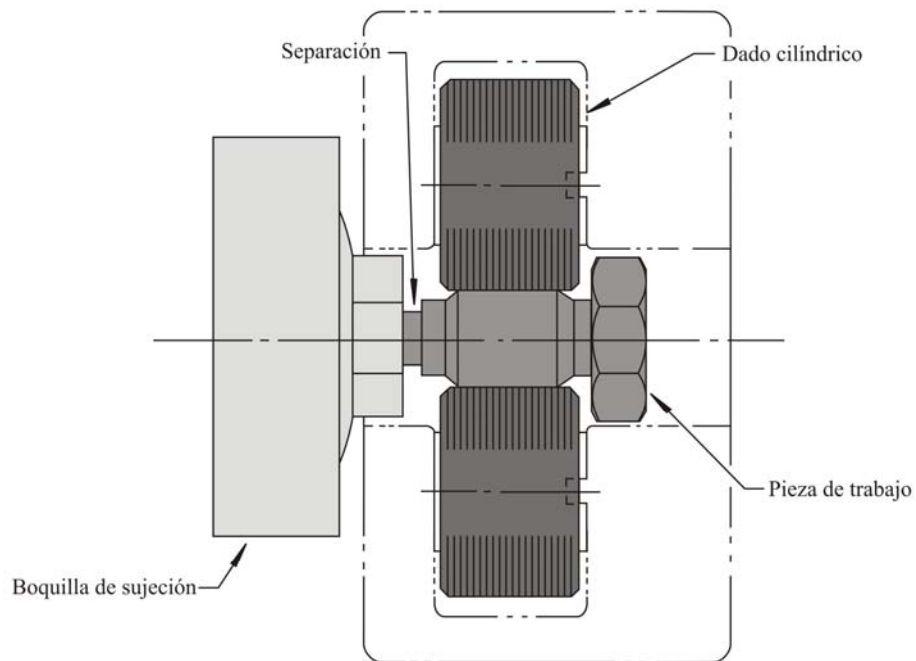


Figura 22. Uso de un accesorio de dos rodillos para roscar cerca de una boquilla de sujeción.

LIMITACIONES

El movimiento axial causado por las máquinas de laminación cuando están produciendo roscas profundas y romas o de grandes ángulos guía no es una limitante, excepto cuando causa interferencia durante el laminado de una rosca cercana a un cambio de diámetro. En los accesorios de dos rodillos para torno, la parte no puede moverse axialmente, y el movimiento del rodillo es usualmente limitado a un tercio



del paso, así que los rodillos deben ser diseñados para causar el menor movimiento axial posible.

En el caso de los accesorios de un rodillo la exactitud de la rosca depende de la exactitud de la corredera del torno y de la acción de pandeo en la parte debido a la fuerza radial infligida por el rodillo, esto se puede solucionar con un rodillo de apoyo. En las máquinas que no permitan este tipo de accesorios este proceso esta limitado a la producción de roscas cortas cercanas a la boquilla de sujeción.

2.1.10 AVANCE TANGENCIAL

Es similar al avance radial excepto que los rodillos son alimentados mas allá de la pieza en una trayectoria paralela a la trayectoria radial a una distancia tal, que cuando el eje del rodillo está alineado con el eje de la parte la línea de paso de la rosca es tangente con la superficie de la parte. (Ver figura 23)

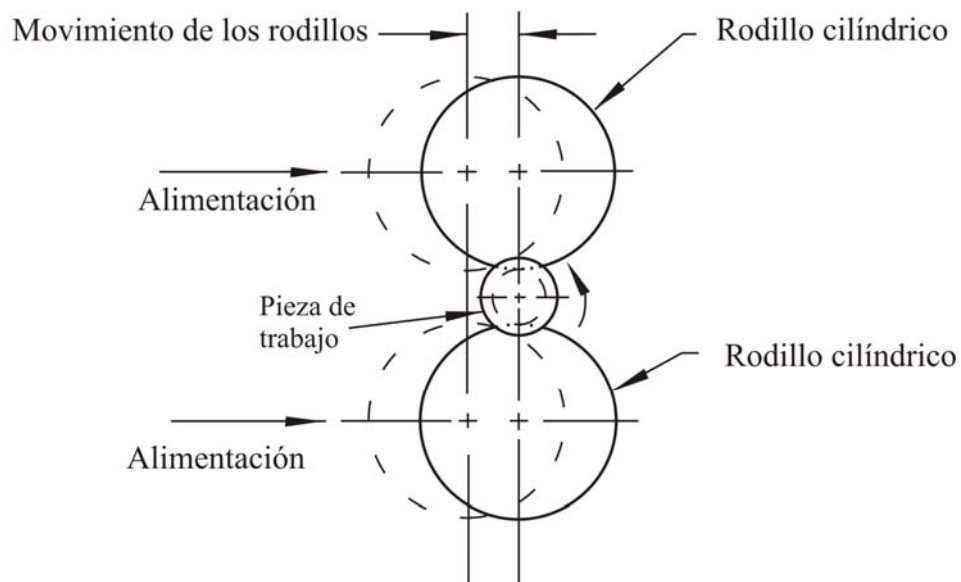


Figura 23. Principio de funcionamiento del avance tangencial.



Mientras los rodillos avanzan, alcanzan máxima penetración cuando la línea central de los rodillos está opuesta a la línea central de la pieza. La profundidad total de penetración está determinado por la distancia entre el eje de los rodillos y de la pieza de trabajo. Al igual que en el avance radial, solo una pequeña cantidad de movimiento axial ocurre en el proceso. Este proceso se puede realizar en tornos y máquinas automáticas equipadas con accesorios de uno y dos rodillos. Los rodillos rotan al entrar en contacto con la pieza en rotación.

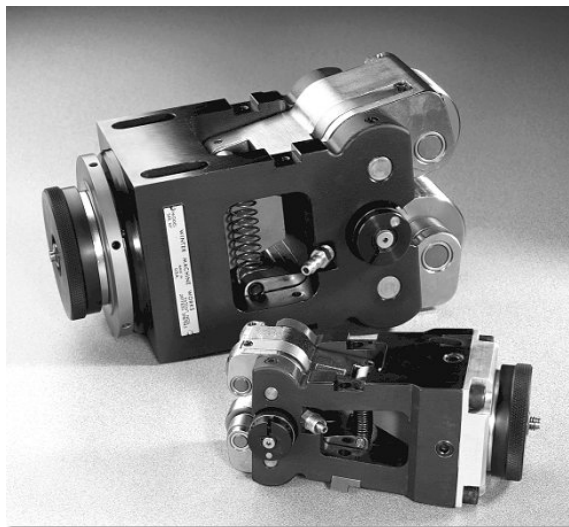


Figura 24. Accesorios para avance tangencial en tornos.



CAPACIDADES

Los accesorios para laminado por avance tangencial tienen esencialmente las mismas capacidades que los de avance radial. Una cierta ventaja se gana con los accesorios tangenciales porque los ajustes y el control para un tamaño dado de la pieza trabajo son hechos dentro del accesorio más bien que por el recorrido de la corredera de la máquina. Con un accesorio de dos rodillos de avance tangencial, no ocurre movimiento radial entre sus husillos y las presiones para laminar son mayores que en el avance radial.

LIMITACIONES

El laminado de roscas por avance tangencial esta principalmente limitado por el tamaño y la capacidad del equipo a utilizar. Laminar roscas con formas profundas o romas puede ser problemático debido al desplazamiento axial. Este problema puede ser resuelto con un diseño apropiado de los dados y con una configuración adecuada. Los accesorios de un solo rodillo pueden doblar la pieza de trabajo, limitando el proceso al roscado de piezas cortas.

2.1.11 AVANCE PASANTE

En este proceso la pieza de trabajo se mueve axialmente a través de los dados de laminación. Estos últimos son diseñados con un ángulo de avance diferente al de la pieza de trabajo, así la pieza puede alimentar continuamente a los rodillos. Las aplicaciones de este proceso son roscar piezas muy largas, o formar más de una sección roscada en una parte.



2.2 FABRICACIÓN DE ROSCAS EN EL TORNO

2.2.1 GENERALIDADES

El 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. La herramienta avanza linealmente y en una dirección paralela al eje de rotación. El torno suministra la potencia para remover viruta de la pieza a una velocidad de rotación con avance de la herramienta y profundidad de corte especificados.

2.2.2 TORNEADO DE ROSCAS

El principio del torneado de roscas, con una sola punta, es el movimiento de avance relativo de la herramienta en relación con la rotación de la pieza. De esta forma, la punta genera la típica ranura helicoidal que hace que el tornillo rosque con un paso determinado. Entonces, básicamente, el roscado es una operación de tornear bien coordinada con una herramienta de forma. Durante las pasadas de avance, la herramienta se traslada longitudinalmente a lo largo de la pieza, regresando en vacío a la posición inicial para la próxima pasada a lo largo de la misma ranura de rosca.

La gama de avances es un valor clave que ha de coincidir con el paso de la rosca. Esta coordinación es obtenida por varios medios, dependiendo del tipo de máquina: husillo, control numérico o sub-rutinas en CNC. La forma de la rosca producida es determinada por la forma del perfil de la punta de la herramienta, que en aplicaciones industriales de fabricación seriada es sustituida por una placa sinterizada a partir de materiales de extrema dureza.

En las operaciones del torneado, la forma en punta de una rosca no representa ninguna ventaja en lo que respecta a la forma del filo de corte para altas velocidades y



avances. El ángulo relativamente pequeño de 60° de la punta de la herramienta, hace que el filo de corte sea susceptible a las fuerzas y a la tensión del mecanizado. Para contrarrestar esto, hace tiempo se estableció el sistema en el cual la profundidad de corte (ap), determinada por la profundidad de la rosca (H), no fuera mecanizada en una sola pasada, puesto que daría como resultado una sobrecarga, provocando la rotura del filo. En su lugar, la profundidad es mecanizada en varias pasadas. La herramienta de corte genera el perfil de la rosca, cogiendo carga del material en cada pasada, realizando normalmente de 5 a 16 pasadas, dependiendo del paso de la rosca. A medida que se realiza una nueva pasada, mas material es arrancado en cada corte puesto que se utiliza una mayor parte del filo. Por esta razón, a medida que se realizan más pasadas, se utiliza el método de reducir sucesivamente la carga en cada una de ellas, con el fin de mantener constante el esfuerzo sobre el filo de corte.

Es mejor coger carga en dirección radial, ya que disminuye sucesivamente a medida que se realizan las pasadas. Los valores recomendados son proporcionales para cada tipo de rosca. El número de pasadas es un valor compensado para proporcionar una suficiente, pero no excesiva, profundidad de corte. Demasiada profundidad de corte por pasada puede provocar la ruptura del filo por sobrecarga, mientras que si es insuficiente, el resultado será una baja productividad y un desgaste prematuro de la herramienta por abrasión.

2.2.2.1 Generando el perfil de la rosca

El perfil de la rosca puede mecanizarse de diferentes formas y con diferentes tipos de plaquitas, dependiendo de si es necesario repasar la cresta. Si solo se utiliza un perfil parcial, no se mecaniza la parte superior de la rosca. Entonces es necesario disponer de piezas premecanizadas con el diámetro mayor exacto para roscas externas y el diámetro menor para roscas internas. También puede ser necesario eliminar rebabas con algunos materiales usando este tipo de herramienta. Con plaquitas de



perfil completo, toda la forma de la rosca es mecanizada a partir de una preforma de plaquita, básicamente existen tres tipos diferentes de plaquitas de roscar:

- Perfil parcial, donde cada plaquita puede utilizarse para una gama de pasos de rosca y el redondeado de la punta es para el paso más pequeño. La vida de la plaquita es mas corta porque el radio de la punta no ha sido optimizado para cada paso de rosca. Es necesario de disponer de preformas con diámetro exacto. Una ventaja es la de tener que almacenar un numero menor de plaquitas, puesto que una plaquita puede utilizarse para varios pasos.
- Perfil completo, donde las plaquitas también conforman la cresta. El radio de punta es exactamente igual al de la especificación. Las plaquitas con perfil completo simplifican el roscado y ningún filete es mayor que lo especificado, haciéndolas mas resistentes. Obteniendo correctamente, profundidad y radio superior e inferior. Esta plaquitas varían con el paso.
- Plaquitas multipuntas, reducen el número de pasadas requeridas, lo cual da como resultado una mejor vida de la herramienta. El segundo diente corta más profundamente que el primero, el tercero mas profundo que el segundo, etc. Sin embargo, este tipo requiere una pasada mas larga, superior a la longitud de la rosca mecanizada, para garantizar la salida del último diente. Las condiciones deben ser muy estables debido al filo mas largo. Es vital utilizar las profundidades de corte recomendadas en cada pasada para asegurar la carga correcta en los dos puntos de corte. La ventaja de utilizar la plaquita con multipuntas es que el numero de de pasadas será reducido significativamente.

2.2.2.2 Selección de la herramienta



Comparado con el torneado convencional, los parámetros de la herramienta y del mecanizado para el roscado no son tan flexibles. Esto, por supuesto, es debido a que el avance está relacionado con el paso, la profundidad de corte está dividida entre el número de pasadas, la velocidad de corte es limitada debido a que el ángulo de corte es muy agudo y así sucesivamente.

La plaquita con el perfil parcial es la herramienta más simple para roscar en torno y precisa llevar a cabo el mecanizado en dos operaciones: torneado de diámetro exterior y torneado de perfil. Sin embargo, existe por tanto el riesgo que el diámetro mayor no sea concéntrico con el diámetro medio del plano.

Esto se evita utilizando en su lugar un perfil completo con crestas conformadas en una sola operación. Cuando el diámetro medio ha sido ajustado, la herramienta genera las otras dimensiones. Suponiendo que haya suficiente material para una rosca completa, se obtienen la concentricidad, forma correcta y otras dimensiones, y la operación precedente de torneado puede llevarse a cabo a una menor precisión dimensional, o en algunos casos, omitirla totalmente.

La plaquita de perfil completo es la elección más ventajosa para la mayor parte de las operaciones puesto que genera el mejor acabado y mejor perfil. La forma de la rosca es correcta y solo necesita un mínimo de inspección. Solo el diámetro medio necesita ser medido y no es necesario el desbarbado.

Sin embargo, las plaquitas de roscar de perfil y multipunto solo producirán un paso de rosca, mientras que el perfil parcial es polivalente.

Las plaquitas para roscar con multipunto mecanizan una cantidad de perfil más grande en una pasada, puesto que la plaquita coge carga a lo largo. Esto significa que el número de pasadas puede reducirse en relación a las puntas que haya en la plaquita. La última punta produce el perfil de rosca requerido.



Las plaquitas intercambiables están disponibles para el roscado interior y exterior. Las plaquitas para el roscado interior son imágenes simétricas de las correspondientes al roscado exterior. Tanto las plaquitas para exteriores como para interiores están disponibles en versiones de derecha e izquierda. Puesto que las tolerancias y geometría de corte difieren entre las plaquitas para interiores y exteriores, es importante que no se confundan.

2.2.3 OTROS TORNOS Y MÁQUINAS DE TORNEAR

Además de los tornos mecánicos, se han desarrollado otras máquinas de torneear para satisfacer funciones particulares o para automatizar el proceso de torneado. Entre estas máquinas están:

- El torno para herramientas.
- El torno de velocidad.
- El torno revolver.
- El torno mandril.
- La maquina automática de barras.
- El torno controlado numéricamente.
- El torno tipo suizo controlado numéricamente.

2.2.3.1 Torno para herramientas y torno de velocidad

Estos dos tornos están estrechamente relacionados con el torno mecánico. El torno para herramientas es más pequeño y tiene más velocidades de avance disponibles. Se construye también para precisiones más altas en concordancia con su propósito de fabricar componentes para herramientas, accesorios y otros dispositivos de alta precisión.



El torno de velocidad es más simple en su construcción que el torno mecánico. No tiene carro ni cursor transversal ni tampoco tornillo guía para manejar el carro. El operador sostiene la herramienta de corte usando un sostén fijo en la bancada del torno. Las velocidades son más altas en el torno de velocidad, pero el número de velocidades es limitado. Las aplicaciones de este tipo de maquina incluyen el torneado de madera y el rechazado de metal.

2.2.3.2 Torno revolver

Un torno revolver es un torno operado manualmente en el cual el cabezal contrapunto se ha reemplazado por una torreta que sostiene hasta seis herramientas de corte. Estas herramientas se pueden poner rápidamente en acción frente al trabajo, una por una, girando la torreta. Además, el poste convencional de herramientas que se usa en el torno mecánico esta reemplazado por una torreta de cuatro lados, que es capaz de poner cuatro herramientas en posición. Dada la capacidad de cambios rápidos de herramientas, el torno revolver se usa para trabajos de alta producción que requieren una secuencia de cortes sobre la parte.

2.2.3.3 Torno mandril

Como su nombre lo indica, este torno usa un mandril en el husillo para sostener la parte de trabajo. El contrapunto esta ausente en esta maquina, de manera que las partes no se pueden montar entre centros. Esto restringe el uso de un torno mandril a partes cortas y ligeras. La disposición de la operación es similar al torno revolver, excepto que las acciones de avance de las herramientas de corte se controlan más en forma automática que mediante un operador. La función del operador es cargar y descargar las partes.



2.2.3.4 Máquina de barra automática

Una maquina de barra automática es similar al torno mandril, excepto que se usa una boquilla en lugar de un mandril, la cual permite alimentar barras largas con un diámetro fijo a través del cabezal en posición de trabajo. Al final de cada ciclo de maquinado, una operación de corte retira la parte torneada. El avance del material, así como los corrimientos y los avances de las herramientas de corte se realizan automáticamente. Debido al alto nivel de operación automática, frecuentemente se le da a esta maquina el nombre de *máquina de barras automáticas*. Una aplicación importante de este tipo de máquinas es la producción de tornillos y partes similares de artículos de ferretería. A menudo se usa el termino *maquina de tornillos automática* para las máquinas que se usan en estas aplicaciones.

Las máquinas de barras pueden clasificarse como de husillo simple y de husillo múltiple. Una maquina de barras de husillo simple tiene un husillo que permite solamente una herramienta de corte a la vez por cada parte que se maquina. Por tanto, mientras cada herramienta corta el trabajo las otras herramientas están ociosas (los tornos revolver y los tornos de mandril están también limitados por esta operación secuencial no simultanea). Para incrementar la utilización de las herramientas de corte y la velocidad de producción existen las máquinas de barras de husillo múltiple. Estas máquinas tienen más de un husillo, de manera que muchas partes se pueden maquinar simultáneamente por muchas herramientas. Por ejemplo, una maquina de barras automáticas de seis husillos corta seis partes al mismo tiempo. Al final de cada ciclo de maquinado, los husillos (incluyendo las boquillas y barras de trabajo) se corren al siguiente juego de herramientas de corte. Esto es, cada parte debe ser cortada en forma secuencial por seis juegos de herramientas de corte que toman seis ciclos de maquinado, pero cada parte se completa al final de cada ciclo. Como resultado, una máquina automática de tornillos con seis husillos tiene la velocidad mas alta de producción que cualquier maquina de torneado.



2.2.3.5 Tornos controlados numéricamente

La secuenciación y la actuación de los movimientos en las máquinas de tornillos y de mandril se han controlado tradicionalmente por medio de plantillas y otros dispositivos mecánicos. La forma moderna es el control numérico computarizado CNC. El CNC (control numérico computarizado) es un medio sofisticado y muy versátil para controlar los dispositivos mecánicos, que ha conducido al desarrollo de máquinas de herramienta capaces de ciclos de maquinado y formas geométricas mas complejas y a niveles mas altos de operación automática que las máquinas de tornillos convencionales y las máquinas de mandril. El torno de CNC es en ejemplo de estas máquinas de torneado, y es especialmente útil para operaciones de torneado en contorno con tolerancias de trabajo estrechas. En la actualidad, casi todas las máquinas de barras y tornos de mandril están equipadas con un control numérico computarizado.

2.2.3.6 Tornos tipo suizo

Los tornos suizos son una variación de los centros de torneado CNC, diseñados especialmente para mecanizar partes de precisión de pequeños diámetros, a partir de materiales muy duros como el acero inoxidable y el titanio. Son tornos de uso limitado a ese tipo de partes, pero para esa aplicación su productividad va más allá que cualquiera alcanzada por un proceso comparable.

FUNCIONAMIENTO

Las características principales que diferencian a un torno suizo de uno convencional son:

- El movimiento en el eje Z proviene de la alimentación de la pieza, no de la herramienta. Esta última se mueve en el eje X y en el eje Y, pero no en el Z.

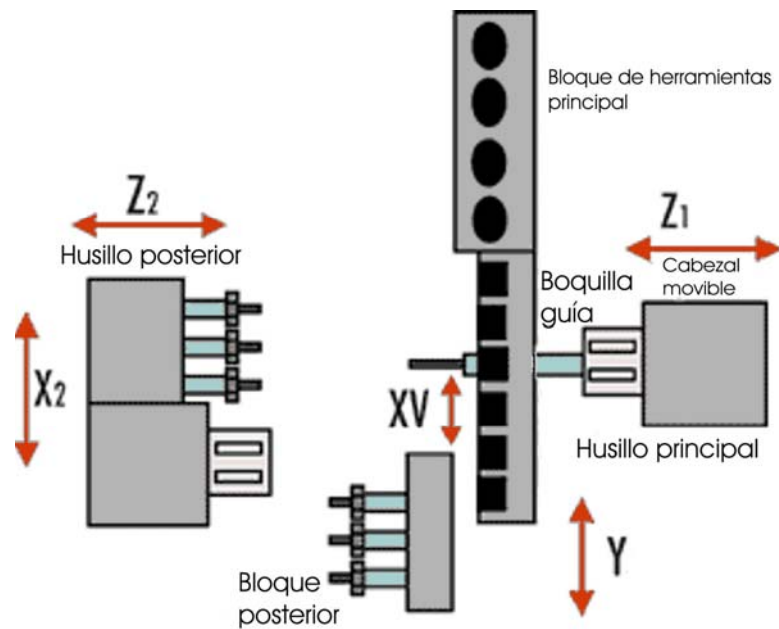


Figura 25. Funcionamiento de un torno tipo suizo

- La pieza se traslada en dirección Z debido a un cabezal deslizante que alimenta la pieza a través de una boquilla guía que sirve como segundo apoyo.

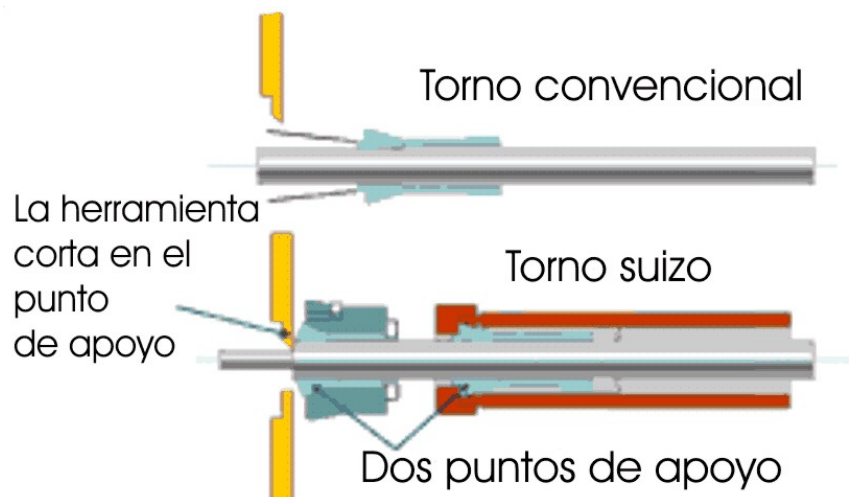


Figura 26. Mecanismo de sujeción en un torno tipo suizo



BENEFICIOS

- Debido a su configuración, el mecanizado en tornos suizo permite profundidades y fuerzas de corte inalcanzables para otros equipos, esto es debido a que la herramienta corta apenas a milímetros del punto de apoyo, eliminando el riesgo de deflexión en partes delgadas y largas, sin la necesidad de comprometer la precisión y la vida de la herramienta.
- Disminuye significativamente el error humano producto del manejo de piezas pequeñas en mecanizados subsecuentes, realizados en distintas máquinas. Esto es debido a que, generalmente, la pieza sale terminada del torno sin necesidad de mecanizados secundarios.
- Elevada productividad debido a que el torno permanece haciendo piezas mientras dure el material suministrado por el alimentador de barras.

LIMITACIONES

- Debido a su configuración, el mecanismo suizo no permite pasadas múltiples de la herramienta de corte, es decir, no se pueden realizar operaciones de desbastado, semiacabado y acabado. En vez de eso, se realiza un corte final a la profundidad necesaria.
- Son máquinas que deben ser adecuadas al tamaño de operación, es decir, debido a que la alimentación se realiza a través de una boquilla guía, se pueden mecanizar piezas de diámetros menores al de esta, pero nunca mayores.



2.3 FRESADO

El fresado es una operación de maquinado en la cual se hace pasar una parte de trabajo enfrente de una herramienta cilíndrica rotatoria con múltiples bordes o filos cortantes (en algunos casos raros se usa una herramienta con un solo filo cortante llamado *cortador volante*). El eje de rotación de la herramienta cortante es perpendicular a la dirección del avance. La orientación entre el eje de la herramienta y la dirección del avance es la característica que distingue al fresado del taladrado. En el taladrado, la herramienta de corte avanza en dirección paralela a su eje de rotación. La herramienta de corte en fresado se llama fresa o cortador para fresadora y los bordes cortantes se llaman dientes. La maquina herramienta que ejecuta tradicionalmente esta operación es un fresadora.

La forma geométrica creada por el fresado es una superficie plana. Se pueden crear otras formas mediante la trayectoria de la herramienta de corte o la forma de dicha herramienta. Debido a la variedad de formas posibles y a sus altas velocidades de producción, el fresado es una de las operaciones de maquinado más versátiles y ampliamente usadas.

El fresado es una operación de corte interrumpido, los dientes de la fresa entran y salen del trabajo durante cada revolución. Esto interrumpe la acción de corte y sujeta los dientes a un ciclo de fuerzas de impacto y choque térmico en cada aeración. El material de la herramienta y la geometría del cortador deben diseñarse para soportar estas condiciones.

2.3.1 TIPOS DE OPERACIONES DE FRESADO

Hay dos tipos básicos de operaciones de fresado; (a) fresado periférico y (b) fresado en las caras.

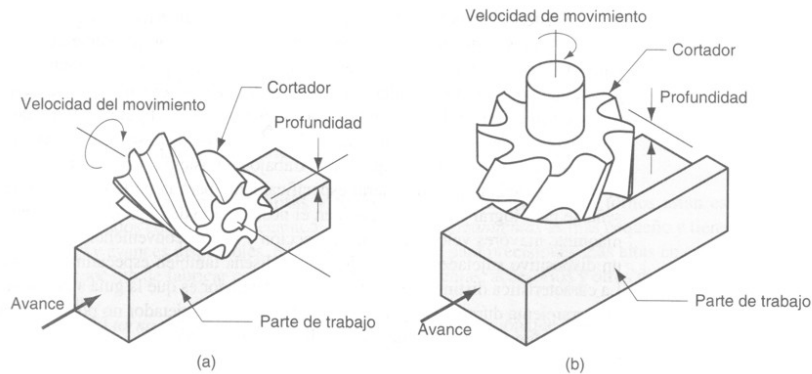


Figura27. (a) Fresado periférico. (b) Fresado frontal

FRESADO PERIFÉRICO

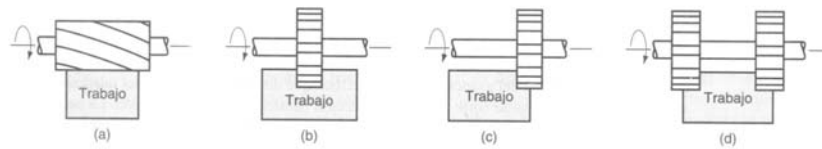


Figura 28. Tipos de fresado periférico

En proceso, también llamado fresado plano, el eje de la herramienta es paralelo a al superficie que se esta maquinando y la operación se realiza por los bordes de corte de la periferia exterior del cortador. Existen varios tipos de fresado periférico; (ver figura) (a) *fresado de placa*, la forma básica de fresado periférico en la cual el ancho de la fresa se extiende mas allá de la pieza de trabajo en ambos lados; (b) *ranurado*, también llamado *fresado de ranuras*, en el cual el ancho de la fresa es menor que el ancho de la pieza de trabajo, creando una ranura en el trabajo (cuando la fresa es muy delgada se puede usar esta operación para tallar ranuras angostas o para cotar una parte en dos, llamado *fresado aserrado*); (c) *fresado lateral*, en el cual la fresa maquina el lado de una pieza de trabajo; y (d) *fresado paralelo simultaneo*, el cual es el mismo que el fresado natural, excepto que el corte tiene lugar en ambos lados del trabajo.



En el fresado periférico hay dos direcciones opuestas de rotación que puede tener la fresa con respecto al trabajo. Estas direcciones distinguen dos formas de fresado, fresado ascendente y fresado descendente. En el *fresado ascendente*, también llamado *fresado convencional*, la dirección del movimiento de los dientes de la fresa es opuesto a la dirección de avance cuando cortan el trabajo. Es decir, cortan “contra el avance”. En el fresado descendente, también llamado fresado tipo escalamiento, la dirección del movimiento de la fresa es la misma que la dirección de avance cuando los dientes cortan el trabajo. Es un fresado “con el avance”.

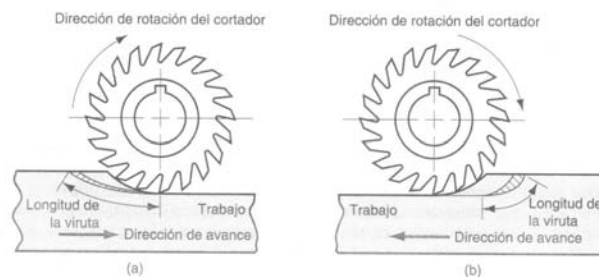


Figura 29. (a) Fresado ascendente. (b) Fresado descendente.

La geometría relativa de estas dos formas de fresado tienen sus diferencias en las acciones de corte. En el fresado descendente, la viruta formada por cada diente del cortador comienza muy delgada y aumenta su espesor durante el paso del diente. La longitud de una viruta en el fresado descendente es menor que en el fresado ascendente. Esto significa una reducción en el tiempo de trabajo por volumen de material cortado, lo cual tiende a incrementar la vida de la herramienta en el fresado descendente.

La dirección de las fuerzas de corte difiere en el fresado ascendente y descendente. La dirección de la fuerza de corte es tangencial a la periferia de la fresa para los dientes que están enganchados en el trabajo. En el fresado ascendente hay una tendencia a levantar la parte de trabajo al salir los dientes del cortador del



material. En el fresado descendente la dirección de la fuerza de corte es hacia abajo, y por esa causa el trabajo se mantiene contra la mesa de la máquina de fresado.

FRESADO EN LAS CARAS O FRESADO FRONTAL

En el fresado frontal, el eje de la fresa es perpendicular a la superficie de trabajo y el maquinado se ejecuta por los bordes o filos cortantes del extremo y la periferia de la fresa. Cuando el diámetro de la fresa es más grande que el ancho de la parte de trabajo, de tal manera que la fresa sobrepasa al trabajo en ambos lados, se denomina fresado frontal convencional. De igual manera que en el fresado periférico, también en el fresado frontal existen diversas formas; *fresado parcial*, *de caras o parcial frontal*, en el cual el diámetro de la fresa es menor que el ancho del trabajo, de manera que se corta una ranura dentro de la parte; *el fresado de perfiles* es una forma de fresado terminal en el cual se corta una parte plana de la periferia; *fresado de cavidades*, otra forma de fresado terminal usada para fresar cavidades poco profundas en partes planas; *fresado de contorno superficial*, en el cual una fresa con punta de bola (en lugar de una fresa cuadrada) se hace avanzar hacia delante y hacia atrás y hacia un lado y otro del trabajo, a lo largo de una trayectoria curvilínea a pequeños intervalos para crear una superficie tridimensional. Se requiere el mismo control básico para maquinar los contornos de moldes y dados en cuyo caso esta operación se llama tallado o contorneado de dados.

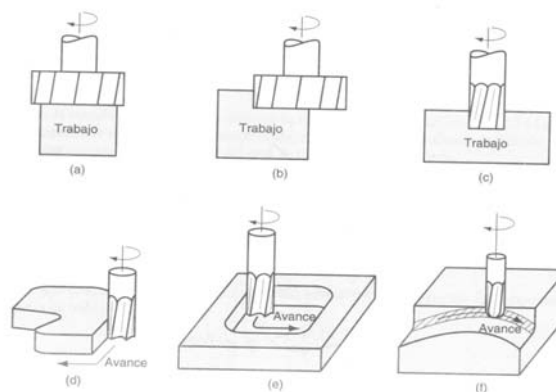


Figura 30. (a) Fresado frontal. (b) De frente parcial. (c) Terminal. (d) De perfiles. (e) De cavidades. (f) De contorno superficial

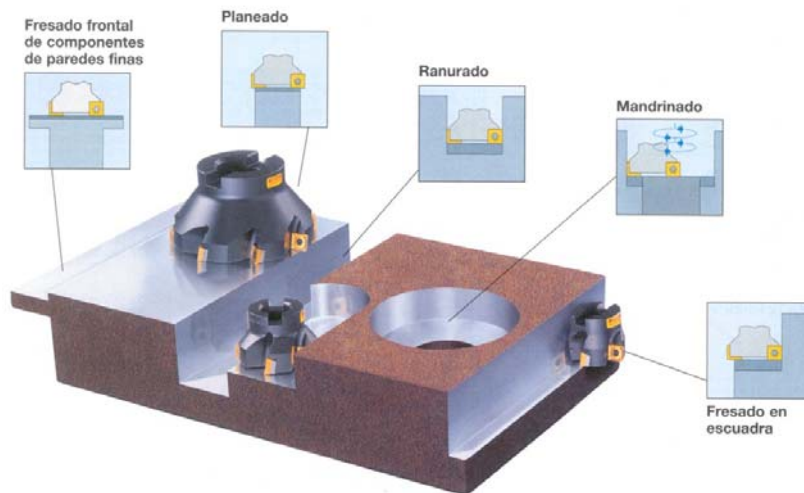


Figura 31. Tipos de operaciones realizadas por fresado

PLANEADO Y ESCUADRADO

El mecanizado de superficies planas de varios tamaños se lleva a cabo muy eficientemente con una moderna fresa para planear. Como comparación, se generan superficies redondas en el torneado, y superficies planas en el fresado. El torneado es un proceso que se realiza con una sola punta, mientras que en el fresado casi siempre se utilizan fresas con varios dientes.

Muy a menudo se determina finalizar una superficie contra una cara perpendicular, lo que requiere utilizar una fresa para escuadrar. Esto requiere utilizar una fresa para planear con un ángulo de posición de 90° . Debido a que generalmente en el planeado la utilización de un ángulo de posición menor es mas ventajoso, las herramientas para fresar que mecanizan superficies mas grandes han sido clasificadas como fresas para planear, con ángulos de posición menores de 90 grados, y fresas para planear/escuadrar las que tiene el ángulo de posición de 90 grados.

Sin embargo, en lo que respecta a las fresas para planear/escuadrar (tipo 290) hoy en día son diseñadas para todo tipo de aplicaciones, puesto que no solo son



capaces de producir una escuadra de 90 grados, sino que en muchos casos, también son unas eficaces fresas para planear para uso general. Esto ha proporcionado a muchos talleres los medios para disponer de un solo tipo de fresa para planear, en un lugar de tener dos cuando es necesario el fresado en escuadra.

2.3.2 FRESAS

La clasificación de los cortadores para fresadoras o fresas como se les conoce comúnmente, esta muy asociada con las operaciones de fresado que acabamos de describir. Los tipos de fresas incluyen los siguientes:

- *Cortadores cilíndricos o fresas planas.* Estos se usan en el fresado periférico de planchas, son fresas cilíndricas con varias filas de dientes. Los bordes cortantes se orientan por lo general en un ángulo de hélice para reducir el impacto de la entrada en el trabajo; estas fresas se llaman *cortadores helicoidales*.
- *Cortadores formadores o fresas formadoras.* En estos cortadores periféricos, los bordes cortantes tienen un perfil especial que imparten el trabajo. Una aplicación importante esta en la fabricación de engranajes, en el cual la fresa formadora tiene una forma que corta las ranuras entre los dientes adyacentes de los engranes, formando de esta manera la geometría del diente del engrane.
- *Cortadores frontales o fresas frontales.* Estos se diseñan con dientes que cortan tanto lateralmente como en la periferia de la fresa. Las fresas frontales se pueden hacer de acero de alta velocidad, o se pueden diseñar para usar insertos de carburo cementados.
- *Cortadores para acabado o fresado terminal.* Una fresa terminal se parece a una broca, pero si la observamos con más atención esta diseñada para un corte primario con los dientes periféricos más que con su extremo (una broca corta solamente en su extremo al penetrar en el trabajo). Las fresas terminales se diseñan con extremos cuadrados, extremos con radio y extremos de bola. Los



extremos pueden usarse para fresado frontal, fresado de perfiles y cavidades, cortar ranuras, grabar, fresas contornos de superficies y tallar dados.

2.3.3 MÁQUINAS FRESADORAS CNC

En las máquinas fresadoras CNC la trayectoria de la fresa se controla por datos numéricos en lugar de planillas físicas. Las máquinas fresadoras CNC están adaptadas especialmente para el fresado de perfiles, fresado de cavidades, fresado de contorno de superficies y operaciones de tallado de dados, en las que deben controlar simultáneamente dos o tres ejes de la mesa de trabajo. Normalmente se requiere el operador para cambiar las fresas y cargar y descargar las partes de trabajo.

En desarrollo reciente de la tecnología de máquinas de herramienta CNC es el *centro de torno y fresa CNC*. Esta maquina tiene la configuración natural de un centro de torneado, y además puede posicionar una parte de trabajo cilíndrica en un ángulo específico con un plato posicionador en el denominado eje C, de manera que una herramienta rotatoria de corte (por ejemplo, una fresa) puede maquinar formas en la superficie externa de la parte. Un centro ordinario de torneado no tiene la capacidad de pararla pieza de trabajo en una posición angular definida y no tiene husillos para herramientas ordinarias.

2.3.4 FRESADO DE ROSCAS

Es un método de corte usado para fabricar piezas roscadas en una maquina fresadora de roscas. Las herramientas de corte pueden ser de formas simples o múltiples y son usadas en fresadoras de roscas tradicionales o planetarias. Las piezas roscadas en una fresadora pueden tener diámetros de paso dentro de tolerancias de 0,025mm, un acabado superficial dentro de 1,4 μm , exactitud de 0,8 mm/m y espaciamiento (de roscados simultáneos) con una exactitud de 0,01 mm.



Las fresadoras de roscas son usualmente colocadas a 20° de inclinación cuando entran al corte. Esto reduce la posibilidad de dejar marcas de herramienta en el costado de la rosca y además asegura una profundidad total de rosca en toda la parte de trabajo.

Las aplicaciones del fresado de roscas son variadas, una fresadora de roscas puede cortar roscas internas y externas y, en algunos casos, puede cortarlas al mismo tiempo. La pieza de trabajo puede estar fija o en rotación, haciendo que el método pueda competir con tornos y con máquinas que usen machuelos o dados para cortar formas roscadas.

Las razones principales para escoger el fresado de roscas por encima de otros métodos de corte de roscas son:

- Ofrece una rosca mejor acabada y mas exacta que en un machuelo o dado.
- Es más eficiente que usar un torno de herramienta única.
- La rosca deseada tiene un paso muy grueso para ser cortado con un dado.
- La rosca deseada esta cerca de un cambio de diámetro u otro tipo de interferencia, haciendo al fresado de roscas el método más practico a utilizar.

MÁQUINAS DE FRESADO DE ROSCAS

El fresado ascendente puede ser realizado en todos los tipos de máquinas de fresado de roscas, pero algunos modelos son también diseñados para el fresado descendente. En este ultimo, la rotación relativa entre la pieza de trabajo y la herramienta de corte es similar al de dos engranajes contiguos.



Las máquinas de fresar roscas pueden ser planetarias o convencionales, en las planetarias la pieza de trabajo no rota, mientras que en las convencionales esta sí lo hace. Las máquinas convencionales pueden ser universales o de producción.

Máquinas universales: tienen un tornillo guía y pueden cortar roscas internas y externas, con la excepción de roscas cuadradas. Seleccionando los engranajes y guías adecuados se pueden roscar partes desde 0,8 hasta 1520 mm. Seleccionar engranajes en el impulsor de corte provee una amplia variedad de velocidades. El cabezal de corte puede ser puesto en el ángulo apropiado para roscas derechas o izquierdas. Un cortador de forma única se debe fijar a un ángulo específico, y entonces debe recorrer la longitud de la rosca.

Máquinas de producción: estas son semiautomáticas; la pieza de trabajo es hundida dentro del cortador rotativo no deslizante por medio de una leva. La pieza da un total de 1,1 revoluciones, entonces se retira del corte y la máquina se detiene para descargar y cargar. Estas máquinas usan un tornillo maestro y un segmento estacionario en lugar de un tornillo guía, los cuales deben ser cambiados para cada cambio en el paso o guía.

Máquinas planetarias: estas son usadas para roscar formas no comunes difíciles de conseguir (pero no son usadas para roscar piezas largas, tales como tornillos guía). La pieza de trabajo es afianzada con abrazaderas a una parte fija y no rota durante el corte. Solo la herramienta de corte se mueve, rotando sobre su eje, girando alrededor de la pieza de trabajo. Un doble cabezal puede ser usado para cortar ambos extremos de una parte, y roscas internas y externas pueden ser cortadas al mismo tiempo.

Máquinas de control numérico: estas son usadas para fresar roscas junto a otras junto a otras operaciones en una sola instalación. Una vida útil de la herramienta de corte y roscas de mayor calidad son algunas de sus ventajas.



HERRAMIENTAS DE CORTE

Herramientas de corte de forma única y de formas múltiples son usadas para fresar roscas. Herramientas de formas múltiples se usan para avances relativamente pequeños y pasos medios y finos, mientras que las de forma única son usadas para pasos gruesos y roscas largas.

Las herramientas de forma única deben recorrer la pieza de trabajo durante el proceso de corte, o la pieza de trabajo recorrer la herramienta. Cuando estas son usadas el eje del cortador es pivotado una cantidad igual al ángulo de hélice de la rosca.

Las herramientas de formas múltiples tienen hileras anulares de dientes con la forma y el paso indicado, pero no avance. Los cortadores deben ser dos tres pasos mas largos que la rosca que se va a cortar, o la pieza de trabajo debe ser rotada mas que el mínimo de 1,1 revoluciones. Estas herramientas de corte generalmente solo cortan el cuerpo y los lados de la rosca, no la parte superior, esta última es usualmente maquinada en tornos o perforadoras.

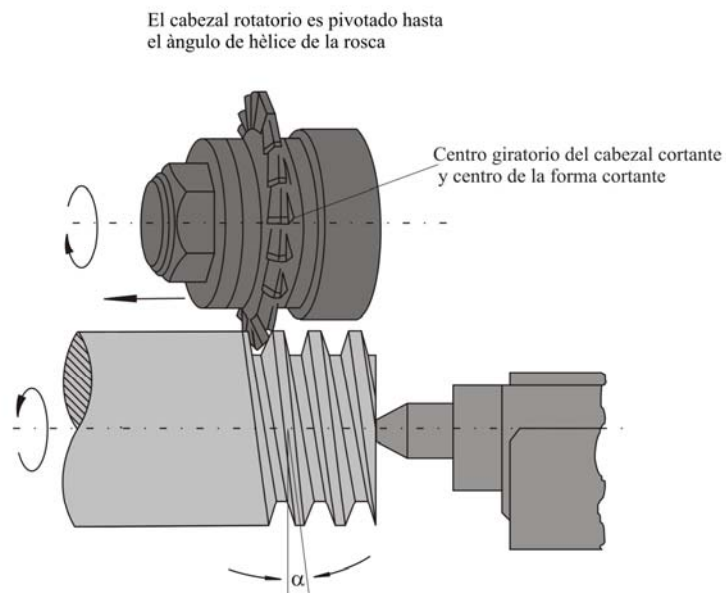


Figura 32. Fresado convencional de una rosca utilizando una herramienta de forma única.



2.4 ROSCADO POR REMOLINO (THREAD WHIRLING)

El roscado por remolino es un proceso especializado de maquinado de roscas que según algunos especialistas puede producir resultados espectaculares. Se puede definir el proceso como “un fresado de roscas con una herramienta de dientes internos”.

Es esencialmente un proceso de roscado en donde un cortador hueco rota alrededor del diámetro exterior de la parte de trabajo. El cortador hueco (de tipo anular) usa múltiples dientes para cortar el diámetro de la parte como si ‘orbitara’ alrededor de la pieza de trabajo.

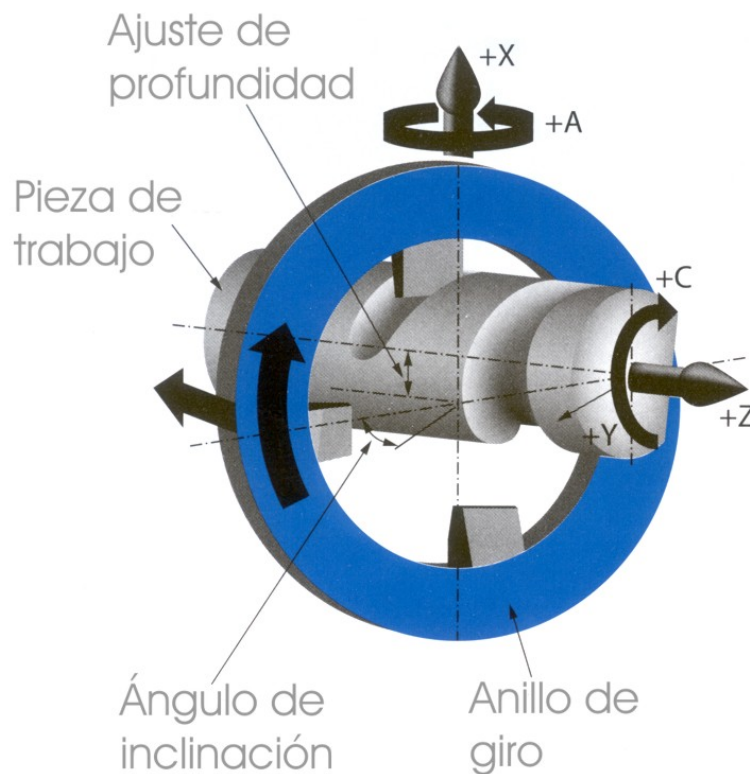


Figura 33. Mecanismo de roscado por remolino.

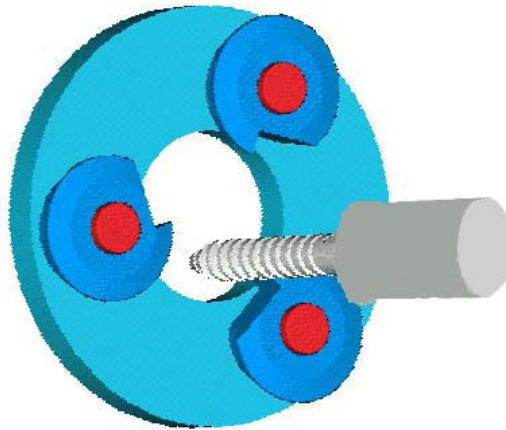


Figura 34. Accesorio con herramientas de forma para roscado por remolino.

Como muestra la figura el cabezal de giro posee varios cortadores especialmente diseñados. Estos dientes hacen contacto continuo con la parte mientras el cabezal gira, cortando las roscas en el diámetro exterior de la parte en cuestión. El proceso de remolino ‘envuelve’ al diámetro de la parte. La trayectoria orbital excéntrica del cortador produce un arco de contacto entre el cortador y la pieza, resultando en un acabado superficial superior y en un tiempo de ciclo menor. En el roscado por giro, la parte rota lentamente mientras el cortador rota alrededor de la parte a gran velocidad de husillo. La parte y el cortador giran ambos en la misma dirección del husillo. El cortador anular debe ser alineado al ángulo de hélice apropiado. El cortador o la parte avanzan en el eje z del paso de la rosca, esta dirección de avance determina si la orientación de la rosca es derecha o izquierda.



Figura 35. Vista de un accesorio en operación.



APLICACIONES

Una de las principales aplicaciones que se le está dando en la actualidad a este proceso es para roscar tornillos quirúrgicos en tornos de tipo suizo, dejando a un lado a las máquinas dedicadas exclusivamente a roscar (ver figura 36), manteniendo la multifuncionalidad de los tornos y centros de mecanizado.



Figura 36. Máquina de roscado por remolino

Con este proceso se solucionan muchos de los problemas que se encuentran en la fabricación de este tipo de tornillos, contruidos a partir de materiales de baja maquinabilidad como aceros 316L y titanio, o que presentan roscas profundas tipo buttress (roscas cortantes) y presentan amplias diferencias entre el diámetro de la cabeza y la raíz. Esta combinación de factores hace que se requieran numerosas pasadas en tornos convencionales o altas fuerzas de corte. La primera alarga el tiempo de maquinado y la segunda introduce el riesgo de arqueamiento o deflexión de la pieza.



Las operaciones tradicionales de roscado tienen limitaciones para este tipo de aplicación, el roscado por centro punto funciona bien para tornillos cortos, pero para tornillos largos, son usualmente necesarios un pretorneado y soportes especiales. El corte con dados ha sido probado convenientemente para acero 316L pero no para titanio.

Productos helicoidales pueden ser maquinados con precisión y en una sola pasada sin la necesidad de soportes especiales combinando la velocidad de giro con la rigidez aportada por un torno suizo de cabezal deslizante.

En funcionamiento, el anillo cortante rota a velocidades hasta de 3000 rpm alrededor de la pieza en rotación lenta (10 a 20 rpm). Las tres herramientas rotando a 3000 rpm son equivalentes a una sola herramienta operando a 9000 rpm, ocho o nueve veces más rápido que los típicos roscados de formas profundas tipo buttress.



Figura 37. Torno tipo suizo marca Citizen Cincom con accesorio para roscado por remolino.



2.5 EL ROSCADO CON DADO

El roscado con dado es un proceso de maquinado para el corte de roscas externas en superficies cilíndricas o cónicas, mediante el uso de dados sólidos o auto-aperturables. El roscado con dado es un método más lento para producir roscas externas que el laminado de roscas, pero es más rápido que el roscado de punta única en un torno.

La dureza del metal a trabajar, limita la aplicación del proceso. Intentar el roscado de metales más duros que HRc 36 usualmente ocasiona desgaste o rompimiento de herramientas. El roscado de punta única o el esmerilado de roscas, se recomienda para metales de mayor dureza que HRc 36.

MÁQUINAS.

Las máquinas más utilizadas en el roscado con dado son prensas taladradoras, tornos de torreta manuales, máquinas automáticas de un sólo eje o de múltiples ejes, y máquinas especiales de roscado.

Prensas Taladradoras. Cuando la forma de la pieza de trabajo lo permite, y si no hay otras operaciones involucradas, las prensas taladradoras son frecuentemente preferidas para el roscado con dado, porque son fáciles de instalar y operar. Una parte que pueda ser sostenida por un sujetador fijo o dispositivo similar para sostener la pieza de trabajo, puede ser roscada en una prensa taladradora manual tan rápido como en cualquier otra máquina.

Los dispositivos de control de avance pueden ser incorporados en una prensa taladradora. Sin embargo, si se requiere controlar el avance, es preferible un tipo de máquina más rígida, tal como un torno.



Tornos de torreta manuales. Se utilizan frecuentemente para el roscado de cantidades pequeñas y medianas, particularmente cuando el roscado forma parte de una secuencia de operaciones de maquinado requeridas. Cuando el roscado es la única operación, la productividad de un torno de torreta es menor a la de una prensa taladradora, porque manipular un torno es más lento que mover un eje de prensa taladradora.

Los tornos de torreta pueden ser equipados para manipular tanto barras como partes semiterminadas. También pueden roscar piezas que son muy grandes para una manipulación práctica en una prensa taladradora.

Máquinas Automáticas. Debido al extenso tiempo de instalación y al alto costo de operatividad involucrados, las máquinas automáticas (tornos de torreta automáticos, barras o máquinas sujetadoras automáticas de un sólo eje o múltiples ejes, y otros equipos automáticos) son utilizadas sólo para producciones medianas o grandes. En estas máquinas, varias operaciones adicionales al roscado pueden realizarse en un mismo ciclo.

Máquinas especiales de roscado. Están disponibles para realizar solamente roscados con dado, tanto en partes cilíndricas como irregulares. Las piezas de trabajo pueden ser cargadas y descargadas a mano, o las máquinas pueden ser alimentadas por embudo y ser totalmente automáticas. Las máquinas tipo boquilla que pueden manipular piezas de trabajo largas, son utilizadas frecuentemente para roscar barras, ejes y tuberías.

2.5.1 DADOS SÓLIDOS

Los dados de roscado sólidos pueden ser de una sola pieza de construcción, con filos cortantes integrales, o pueden tener filos cortantes reemplazables (peines). Los dados sólidos de una sola pieza pueden ser no-ajustables o ajustables; los dados



sólidos de tipo inserto son ajustables. Los dados de una sola pieza usualmente son desechados cuando se gastan; los peines insertados pueden ser reafileados.

Dados de una pieza no-ajustables. Poseen todas las secciones cortantes en una posición fijada rígidamente (Figura 38). Están disponibles en tamaños estándares para adaptarse a diversos tipos de tornillos.

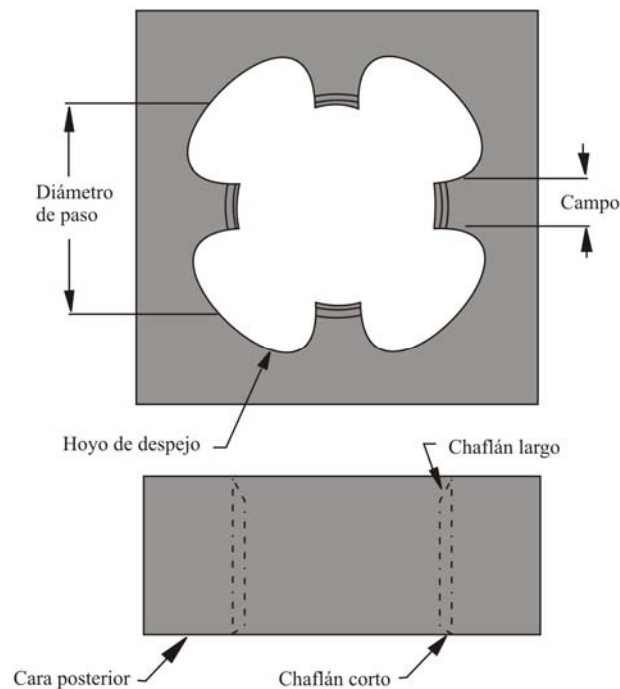


Figura 38. Dado de una pieza no-ajutable

Dados de una pieza ajustables. Son de dos tipos. Uno de los tipos (Figura 39), es similar al tipo no-ajutable, excepto que el cuerpo ha sido ranurado, un agujero de alivio le ha sido añadido, y un tornillo de ajuste le ha sido incorporado. El tornillo de ajuste permite una pequeña regulación, para compensar el desgaste y para lograr mayor precisión de la que es posible con el tipo no-ajutable.

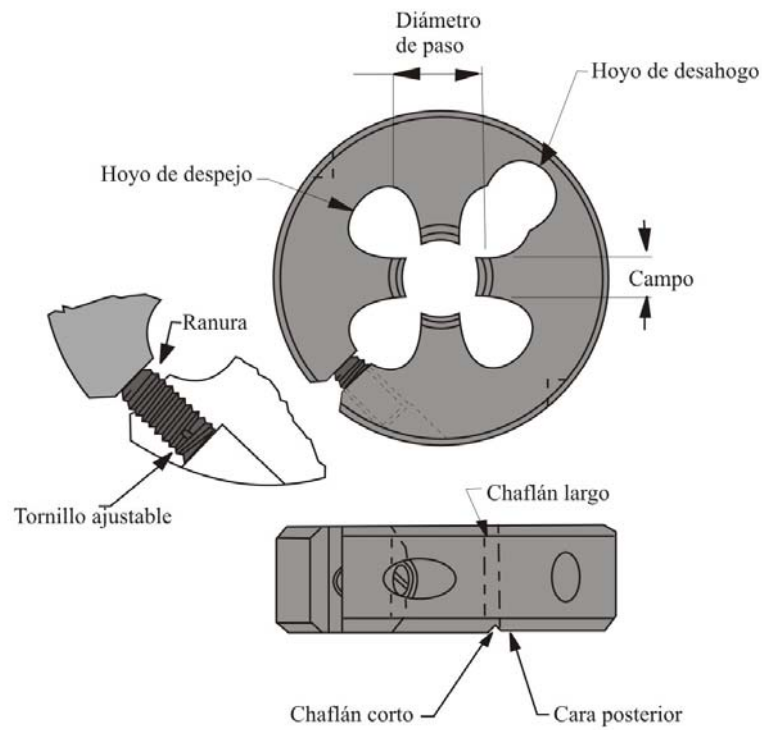


Figura 39. Dado ajustable con tornillo

El otro tipo de dado de una pieza ajustable, es el de tipo resorte (Figura 40.1). La regulación viene determinada por el diseño del cuerpo y del sujetador, que funcionan como una boquilla de sujeción.

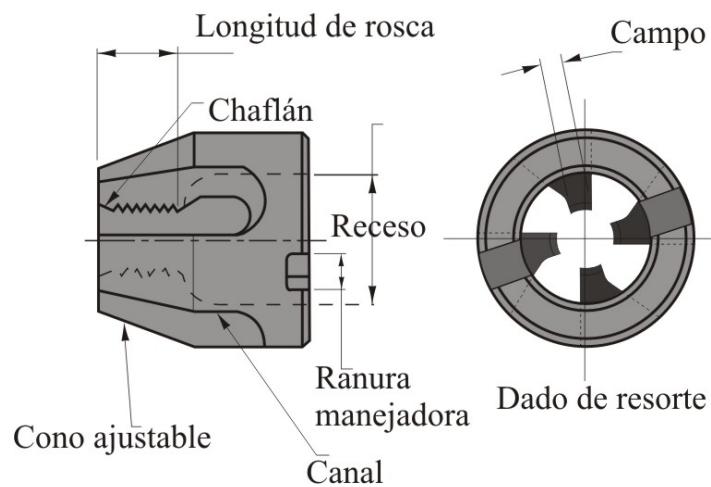


Figura 40.1. Dado ajustable con tornillo



A medida que la tuerca exterior del sujetador se aprieta, aplica presión a la sección cónica del dado, forzando las quijadas hacia adentro. La tuerca puede ser movida y fijada en la posición que se desee, permitiendo el ajuste de las secciones cortantes y mayor precisión que la que es posible con los dados no-ajustables.

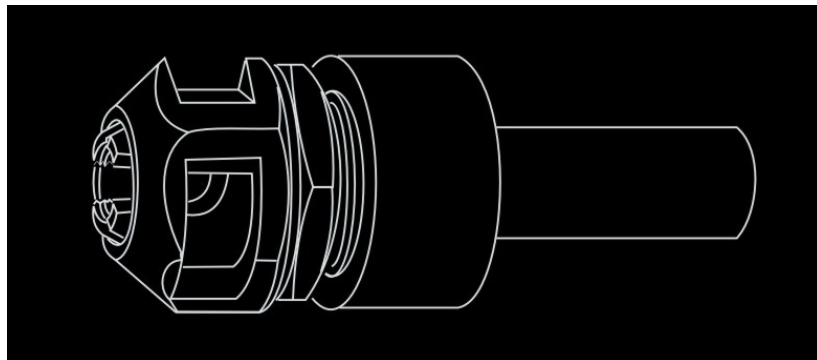


Figura 40.2. Dado ajustable con tornillo y sujetador

Dado sólido con peine insertado. Consta de un sujetador y tres o más filos cortantes insertados (peines). Los insertos pueden ser ajustados para compensar el desgaste, y pueden ser removidos para afilarse y reemplazados cuando se requiera. En consecuencia, para grandes tandas de producción, el costo de las herramientas es menor que con los dados de una sola pieza.

Como los dados de una pieza, sin embargo, los dados sólidos con peine insertado, sólo pueden ser removidos de la pieza de trabajo siendo arrastrados hacia atrás sobre las roscas cortadas. Además, en relación a su tamaño, cuestan más que los dados de una pieza.

Los peines circulares, también se utilizan en dados sólidos, en grupos de cuatro o cinco. Con cinco peines, el dado bruñe menos la pieza de trabajo al roscar, que cuando utiliza cuatro peines. La reducción en el roce ayuda a fabricar roscas más lisas y hace que el dado dure más. Por otra parte, con cinco peines, el dado corta mejor con menos torque.



2.5.2 DADOS AUTO-APERTURABLES

Existen dos tipos básicos de dados auto-aperturables, rotativos y fijos. Los elementos cortantes de ambos tipos se denominan peines, y cada tipo se identifica, adicionalmente, por el diseño o la posición del peine, o por ambos. Los peines se designan como radiales, tangenciales, y circulares.

Dados auto-aperturables rotativos. Poseen una pieza de trabajo fija y una herramienta rotativa, como en una prensa taladradora. Estos dados usualmente se abren mediante la colocación de una horquilla en el dado. A medida que el dado avanza, la horquilla encuentra un tope. La presión ejercida contra la horquilla, abre el dado, retirando los peines de la pieza de trabajo. El dado, entonces, puede retornar a su posición original para el próximo ciclo.

Dados auto-aperturables fijos. En contraste, poseen una pieza de trabajo rotatoria y una herramienta fija, como en un torno de torreta. Los dados fijos se abren en puntos predeterminados, mediante uno de muchos dispositivos mecánicos, y el dado retorna a su posición original. Aunque los dados fijos no rotan, pueden alimentarse axialmente a medida que el roscado progresa y, entonces, no permanecen fijos.

Peines Radiales. La figura 41(a) muestra la posición de cuatro peines radiales en un dado auto-aperturable, y la relación de cada peine con la pieza de trabajo. El complemento del ángulo de corte superior de un peine radial se determina sumando el ángulo B visible (si es positivo, como en la figura 41(a) a la altura de punta del ángulo A. Si el ángulo B es negativo, el complemento del ángulo de corte se determina sustrayendo el ángulo B de la altura de punta del ángulo A.

Los peines radiales fueron creados para operar a una distancia específica de la línea central de la pieza de trabajo que se está roscando. Esta distancia (H, en la



figura 41a) se denomina la altura de punta. Varía de acuerdo al diámetro de la pieza de trabajo, y está determinada por constantes de altura de punta de ángulos, suministradas para modelos específicos de dados. Si la distancia H se reduce, el área de superficie de apoyo (peine contra pieza de trabajo) y el ángulo de inclinación superior, también se reducen.

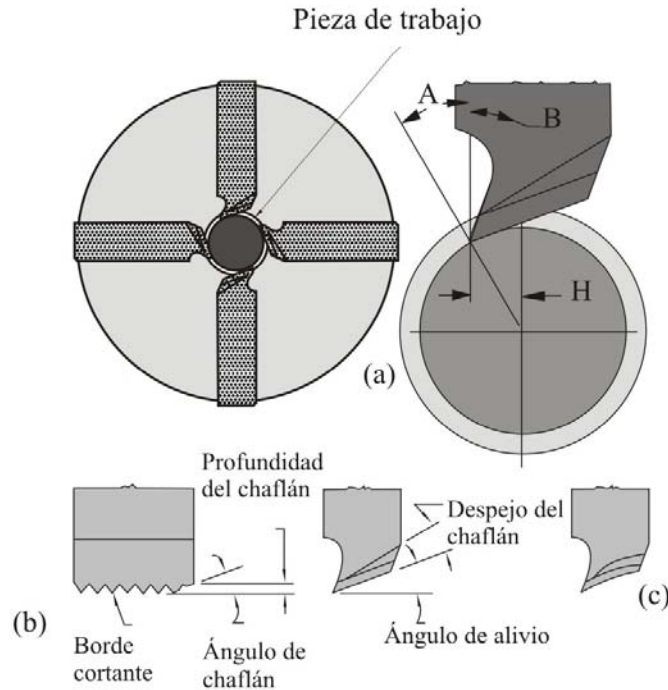


Figura 41. Peines radiales y su posición en un dado auto-aperturable

Dos diseños de bordes cortantes para peines radiales hechos en acero de alta velocidad aparecen ilustrados en las figuras 41(b) y (c). Un borde cortante recto (figura 41b) puede ser generado con una máquina fresadora o limadora. Un borde cortante circular (Figura 41c) se genera con una herramienta rotatoria, tal como una fresadora.

Los peines radiales pueden afilarse de manera efectiva solamente en el chaflán; la remoción de más de 0,025mm (0,001 pulgadas) del área del ángulo de inclinación, afectaría de un modo adverso la relación peine-pieza de trabajo (Figura



41a). En consecuencia, la vida total de los peines radiales es relativamente corta, por lo que su uso frecuentemente se restringe al roscado de metales blandos, fáciles de maquinar, tales como aleaciones suaves de aluminio o bronce de fácil tallado.

Peines Tangenciales. La posición de cuatro peines tangenciales en un dado auto-aperturable aparece en la Figura 42. Estos peines se fabrican en grupos, con sus filos cortantes extendidos a lo largo de una sola cara, tal como se muestra.

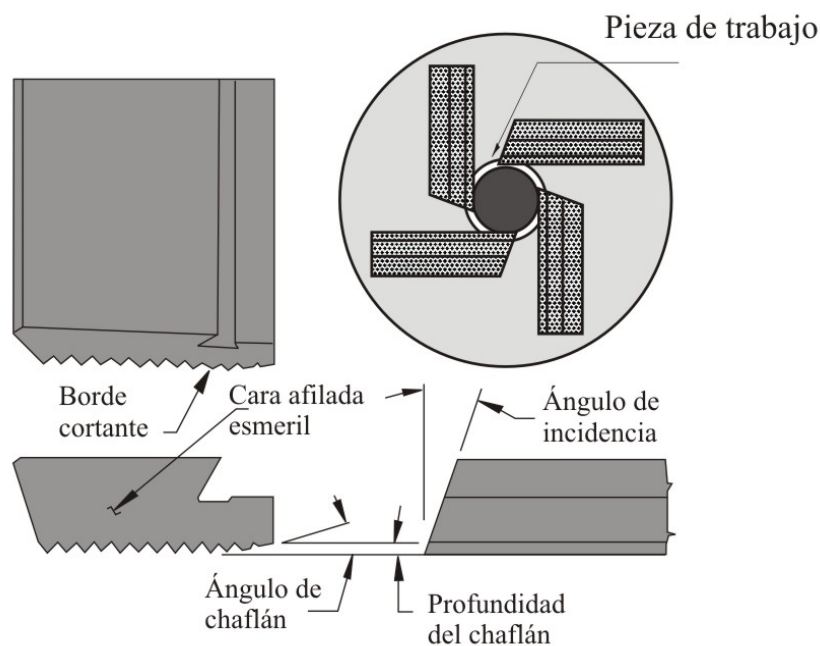


Figura 42. Peines tangenciales y su posición en un dado auto-aperturable.

El ángulo de chaflán es permanente para toda la vida del peine y no requiere re-esmerilarse. La sección de chaflán (incluyendo el primer diente completo), no sólo corta la forma inicial de la rosca, sino que también remueve el exceso de material de existencia que excede el límite de tamaño.

El ángulo de inclinación de los peines tangenciales (figura 42), varía de acuerdo a las características de maquinado del metal a trabajar. Los peines tangenciales están adecuados especialmente para roscar acero y otros metales relativamente duros, debido a su larga vida total (incluyendo re-esmerilado). El



afilado repetido se permite, siempre que una longitud suficiente del peine se mantenga, para ser sujeta para afilarse o para ser asegurada en el dado.

Peines Circulares. Las posiciones de los peines circulares en un dado, se muestran en la Figura 43. Los peines circulares se fabrican en grupos de cuatro o cinco peines con rosca de forma anular. Una canal simple, cortada axialmente a través del peine, provee el filo cortante. El diámetro interior de cada peine es dentado para colocarlo en un sujetador en un dado.

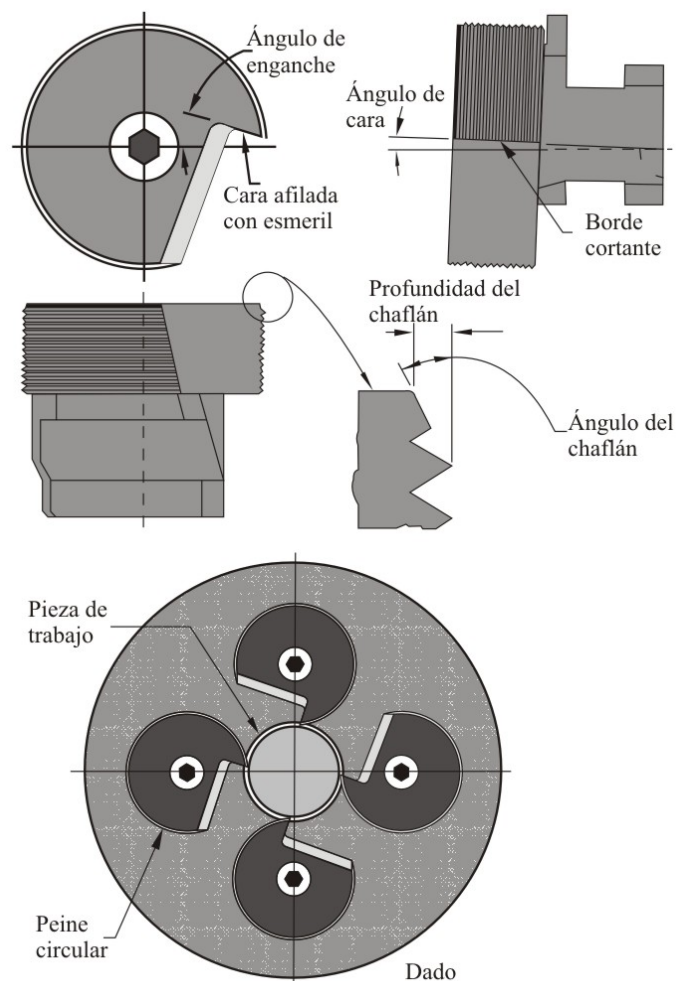


Figura 43. Peines tangenciales y su posición en un dado auto-aperturable.



Los peines circulares se utilizan en alta producción para todos los metales que son roscados. Estos poseen una vida total larga, ya que pueden ser reafileados mientras haya suficiente remanente del peine para sostener el filo cortante y el agujero dentado para el montaje.

2.5.3 DADOS SÓLIDOS VERSUS DADOS AUTO-APERTURABLES.

El uso de dados sólidos está generalmente restringido al roscado de pequeñas cantidades en máquinas operadas manualmente, o a máquinas (tales como automáticas de múltiples ejes) que proveen un espacio insuficiente para permitir el funcionamiento de un dado auto-aperturable. La principal razón por la que los dados sólidos no se prefieren para el roscado de alta producción, es que el eje debe ser invertido para el desmontaje del dado, luego de que las roscas sean cortadas. El dar marcha atrás al dado sobre las roscas, consume tiempo e incrementa el desgaste del dado; también puede atrapar virutas entre las roscas, ocasionando el daño de roscas o el rompimiento de un dado, o ambas cosas.

Las circunstancias, a veces, dictaminan el uso de los dados sólidos, a pesar de estas desventajas. Por ejemplo, cuando el metal fuera del diámetro externo de la rosca debe ser removido en la operación de roscado, los dados sólidos son frecuentemente usados, porque son más fuertes que los dados auto-aperturables.

A pesar de que los dados auto-aperturables cuestan más inicialmente que los dados sólidos de una sola pieza, el reemplazo (o afilado) de los peines cuesta mucho menos que reemplazar un dado sólido, y, por lo tanto, los dados auto-aperturables tienen un costo total menor. Adicionalmente, debido a que los dados auto-aperturables poseen un rango de regulación mayor que los dados sólidos, pueden ser utilizados para el roscado en cualquier grado de precisión. Además, los dados auto-aperturables eliminan la necesidad de invertir el eje para retirar el dado de la pieza de



trabajo, proveen un más fácil despeje de virutas que los dados sólidos, y eliminan las líneas de tope.

Retiro del Dado. La facilidad de retirar el dado de la pieza de trabajo, es usualmente la ventaja más importante de los dados auto-aperturables. El uso de un dado que retorna a la posición abierta, elimina la necesidad de parar el eje, a pesar de que la herramienta o la pieza de trabajo estén rotando. En algunas aplicaciones, ésta sola característica, incrementa la productividad en un 50% ó más. Además de ahorrar tiempo, los dados auto-aperturables reducen significativamente la posibilidad de daño a las roscas por virutas atascadas. Adicionalmente, debido a que los peines realizan un sólo viaje sobre la pieza de trabajo, el desgaste del peine se reduce y la vida de la herramienta se incrementa.

El desalojo de viruta constituye un problema crónico en el corte de roscas. Un espacio para desalojo de viruta adecuado debe ser suministrado, para que las virutas puedan rodar, romperse, y salirse de los filos cortantes. Cuando una viruta es forzada dentro de una cavidad, o no puede desalojar el filo cortante, las roscas que están siendo cortadas pueden rayarse, y el borde de la herramienta puede dañarse.

Los dados sólidos fabricados con herramienta de acero costosa, sólo son producidos en tamaños pequeños. La práctica en el diseño de dados sólidos limita la longitud de los dientes de roscado a un mínimo absoluto, para minimizar el traqueteo y la ruptura prematura del dado. Esta práctica reduce el área disponible para el desalojo de virutas.

A pesar de que los dados auto-aperturables esencialmente proveen más espacio para que las virutas entren y se retiren de la pieza de trabajo, el espacio de desalojo de virutas disponible en cualquier dado, viene influenciado por el diámetro de las roscas que están siendo cortadas. A medida que el diámetro de las roscas se reduce, el problema de la congestión de virutas aumenta.



Las líneas de tope constituyen un problema en las piezas roscadas con dado, cuando se utilizan dados sólidos. A medida que el dado avanza en la pieza de trabajo, el metal es removido por la sección cortante. Cuando el cortador se para al final del ciclo, la remoción de metal cesa abruptamente, y una línea de tope, o escalón, queda en la pieza de trabajo en el avance más lejano de los filos cortantes. No existe ningún modo práctico de evitar esta línea cuando se utilizan dados sólidos. Los dados auto-aperturables pueden abrirse justo antes del punto de avance total, ocasionando que los cortadores se vayan retirando gradualmente de la pieza de trabajo, con un movimiento giratorio hacia adelante, con lo cual se evitan las marcas de corte.

2.5.4 ROSCADO CON PEINE ÚNICO

Los peines de roscas pueden utilizarse solos, en vez de conformados en grupos en un cabezal de dado. Cortar roscas con un solo peine frecuentemente es ventajoso, cuando una parte rota en centros, y un dado o sujetador no puede envolver la pieza, o cuando no hay suficiente espacio de herramienta para permitir el uso de un sujetador de múltiples peines. El peine puede ser sujetado rígidamente en una herramienta sujetadora estándar, o, tal como aparece en la figura 44, en un sujetador que se abre y cierra automáticamente, mediante amortiguadores de golpe en la máquina.

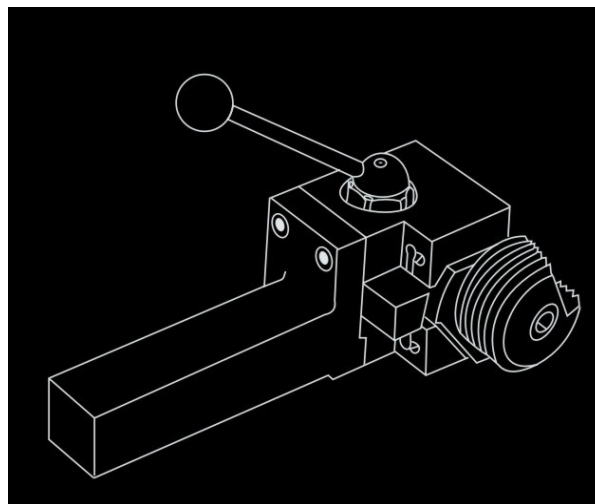


Figura 44. Accesorio de peine único.



El roscado con peine único, usualmente reduce el tiempo de roscado en un 50%, en comparación con el roscado de punta única, particularmente si un ángulo de chaflán relativamente plano (por ejemplo, 10°), puede utilizarse. Un ángulo de chaflán plano permite que más roscas participen en la remoción progresiva de metal hacia la conformación final de la rosca. También incrementa la vida de la herramienta, a pesar de que aún con un ángulo de chaflán normal de 15° a 20° , la vida de un peine simple usualmente es más larga que la de una herramienta de punta única.

2.5.5 MODIFICACIÓN DE PEINES.

Formas fieles de rosca usualmente son cortadas dentro del peine, para su reproducción en la pieza de trabajo. Sin embargo, algunas veces, los primeros tres o cuatro dientes del peine, son modificados para distribuir las fuerzas cortantes sobre un área más extensa. Esta técnica mejora el acabado superficial y prolonga la vida del peine en el roscado de materiales duros. Los peines pueden ser modificados, esmerilándolos para que la primera rosca sea cortada de mayor tamaño y las roscas subsiguientes sean progresivamente perfiladas hasta lograr el tamaño correcto.

2.5.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL RENDIMIENTO.

En el proceso de roscado con dado, los principales factores que influyen en la calidad de la rosca, la capacidad de producción y el costo son:

- La composición y dureza del metal a trabajar.
- La precisión y el acabado.
- El tamaño de la rosca.
- Los obstáculos, tales como cambios de diámetro o escalones.
- La velocidad.
- El control de avance.
- El fluido de corte.



Estos factores usualmente están relacionados, y su relativa importancia varía profundamente en las diferentes aplicaciones.

Composición y dureza del metal a trabajar. De ser posible una escogencia, los grados de fácil tallado de cualquier metal resultarán en roscas más precisas y de mejor acabado, en alta capacidad de producción y a menor costo, que los grados de difícil tallado. Cuando un metal de fácil tallado no puede ser usado, aleaciones comparables de una determinada parte, ocasionarán diferentes grados de desgaste de la herramienta, y la velocidad de roscado permitida usualmente variará un poco.

Dureza. Para el roscado de metales más suaves que 24 HRC, los peines estándares, fabricados en acero de alta velocidad para todo uso, y cuya superficie no ha sido tratada, son usualmente satisfactorios. Para metales dentro del rango de 24 a 31 HRC, se recomiendan los peines a cuya superficie le ha sido aplicado algún tratamiento, como nitrurado líquido, o bien un revestimiento, como el nitruro de titanio.

Es posible el roscado con dado de metales tan duros como de 36 HRC, pero se necesitan peines fabricados con los grados de aleación más altos de acero de alta velocidad (tales como M3, M4, M42, o T15), y la vida del peine entre las afiladas es corta. Los metales de mayor dureza que 36 HRC, usualmente se roscan con una herramienta de punta única o mediante esmerilado.

A medida que se incrementa la dureza del metal a trabajar, mayor fuerza se requiere, y la rigidez de las máquinas y herramientas se hace más crítica. Además, las ventajas del control de avance son más marcadas al roscar metales más duros.

Los metales suaves, especialmente en grados de difícil tallado, algunas veces causan dificultad en el roscado con dado, debido a que forman virutas en cadena que se adhieren a los peines.



La dureza para mejores rendimientos en el roscado de acero inoxidable y otros aceros austeníticos, es más crítica que la del acero de aleación pobre o aceros al carbono. El rango preferido para el roscado de aceros austeníticos, es de 200 a 225 HB. Cuando estos metales son significativamente más suaves que 200 HB, son pegajosos y se adhieren a los peines, ocasionando una variación en su dimensión y un mal acabado y, a veces, daños a los peines. Cuando estos metales son significativamente más duros que 225 HB, resulta en un desgaste excesivo de los peines.

Precisión y acabado. En el Roscado con dado, la precisión dimensional y el acabado superficial usualmente están íntimamente relacionados; una excesiva variación en la dimensión, comúnmente viene acompañada de superficies ásperas en las roscas.

Además de la composición y dureza del metal que está siendo roscado, las principales variables que afectan la precisión y el acabado, son el tipo y condición de la máquina y de la herramienta usada y el tipo de fluido para cortar utilizado.

Máquinas. Siendo constantes otras condiciones, un control dimensional más real se obtiene invariablemente en una máquina que rota la pieza de trabajo en vez de la herramienta. Por ejemplo, se puede obtener un mejor control dimensional en un torno de torreta que en una prensa taladradora. Sin importar cuál sea el tipo usado, la máquina debe mantenerse a su máxima capacidad, mediante ajustes que compensen el desgaste de los soportes y otras partes móviles.

Herramientas. Para lograr una condición de balance, los dados de roscado tienen un mínimo de tres peines (o, en dados sólidos, superficies de corte). El incremento del número de peines ayuda al mantenimiento de tolerancias cortas y de un buen acabado, ya que mientras mayor sea el número de filos cortantes, menor es la



carga de virutas por diente. Dados de cinco peines son frecuentemente utilizados para incrementar la precisión y mejorar el acabado.

Peines con chaflanes cortos (ángulos de 35° a 45°), pueden producir roscas ásperas o por debajo de los estándares normales, especialmente en metales difíciles de maquinar, ya que las fuerzas cortantes en los dientes guías se incrementan a medida que la longitud del chaflán se reduce. Los filos cortantes de los peines deben mantenerse afilados, mediante el esmerilado o el reemplazo, dependiendo del tipo de dado. En los dados auto-aperturables, es esencial que todas las partes móviles sean endurecidas, y que se realice la compensación por desgaste (por reemplazo, de ser necesario). Si se utilizan dados con componentes desgastados, esto resultará en una pérdida de precisión.

Tamaño de las roscas. Siendo iguales otros factores, el diámetro de la parte que está siendo roscada tiene un efecto significativo en el proceso, en la capacidad de producción, y en el costo por pieza roscada.

Roscado cerca de un cambio de diámetro. Una pieza de trabajo que ha de ser roscada cerca de un cambio de diámetro, deberá tener una canal de alivio lo suficientemente ancha para admitir el chaflán completo del peine y la primera rosca completa, y para proveer un espacio adicional por sobre-carrera que permita la apertura del dado sin toparse con el cambio de diámetro. El diseño de la pieza de trabajo frecuentemente limita el ancho de la canal de alivio. Mientras sea posible, el ancho de la canal de alivio debería revisarse para permitir el uso de peines con la máxima longitud de chaflán, y así proveer máxima eficiencia de operatividad.

Aparte del peligro de rompimiento del dado por choque con el cambio de diámetro, las dos principales desventajas del roscado cerca de un cambio de diámetro son el incremento en el costo de la herramienta por la corta vida de la misma, y la reducción en la productividad debido a velocidades menores y a mayores períodos de paralización del trabajo por el cambio de herramientas.



Velocidad. Los cortes que se realizan a baja velocidad, incrementan el tiempo de maquinado y suben los costos de producción.

Los cortes lentos a través de ranuras, también pueden producir superficies ásperas e irregulares. Por el contrario, los cortes que se realizan muy rápidamente, generan un calor excesivo, disminuyendo la vida de la herramienta, y afectando adversamente la precisión de la rosca.

Sin embargo, una velocidad más alta que la promedio, a veces puede constituir una ayuda para mantener la precisión en el corte. Cuando se corta a través de ranuras, agujeros, escollos, líneas separadoras, u otras irregularidades, un dado de roscado logra una mejor superficie si está cortando más rápido de lo normal. Claro está, la vida de la herramienta sufrirá por la sucesión de golpes a la que es sometida

Control de avance. El control de avance es el control del avance axial de los peines en el roscado con dado. Los tornillos guía u otros dispositivos utilizados para el control de avance, se ajustan para mover los peines a una velocidad acorde con el paso de la rosca que se está cortando.

Los tipos más comunes de control de avance disponibles comercialmente, son aquellos que poseen:

- Un actuador hidráulico.
- Un actuador de aire.
- Un actuador de leva.
- Una combinación de actuador hidráulico (o de aire) y de leva.
- Engranajes para alimentación.
- Un tornillo y tuerca guía.
- Un tornillo guía con control hidráulico.



2.6 FABRICACIÓN DE ROSCAS POR ESMERILADO

En algunas oportunidades, las roscas son esmeriladas en lugar de ser cortadas o laminadas, por las siguientes razones:

- Si el trabajo es más duro que 36 HRC, el esmerilado puede ser el único método factible de producción.
- Si el trabajo es más suave que 17 HRC, el esmerilado puede dar un mejor acabado.
- Si se requiere un alto grado de precisión dimensional, el esmerilado es casi invariablemente el método preferido.

La mayoría de los procesos de roscado aplican métodos diferentes al esmerilado, por ejemplo, corte en una operación de torneado o fresado, o formas cinceladas realizadas mediante uno de los diversos métodos de laminado con roscas. El esmerilado de rosca se aplica sólo cuando las ventajas de las roscas esmeriladas superan las desventajas del generalmente mayor costo del equipo o cuando, por razones tecnológicas, los métodos comunes usualmente más productivos no pueden cumplir con los requerimientos de producción o calidad.

2.6.1 PROCESOS DE ESMERILADO DE ROSCAS

Métodos de Esmerilado. Las roscas son esmeriladas por contacto entre una pieza giratoria en elaboración y una rueda giratoria esmeriladora que ha sido amoldada a la forma de rosca deseada. Además de la rotación, hay un relativo movimiento axial entre la rueda y la pieza en elaboración para obtener el paso de la rosca que se está esmerilando. El esmerilado de roscas puede producir roscas internas o externas.

Los métodos para esmerilar roscas son:



- Esmerilado cilíndrico, en el cual la pieza en elaboración es sostenida entre ejes o por medio de una boquilla.
- Esmerilado sin ejes, en el cual la pieza en elaboración es sostenida contra la rueda de esmerilado por un soporte (cuchilla de soporte de la pieza en elaboración) y una rueda reguladora.

Cuando la forma de la pieza en elaboración lo permite y cuando la cantidad de la producción es grande, el esmerilado sin ejes es la mejor opción porque la productividad es mucho mayor que en el esmerilado cilíndrico.

En los tipos de esmerilado con ejes, las especificaciones del material y la forma, largo y calidad de las roscas determina el número de pasadas requeridas. El número de pasadas puede variar de una a cinco o seis. Con el esmerilado sin ejes, habitualmente la pieza es terminada en una pasada por la máquina. A medida que el trabajo se desplaza a lo largo de la rueda, es calibrado al diámetro correcto y luego se forman las roscas.

Las máquinas para esmerilado de roscas se distinguen por tres características:

- Medios para impartir un movimiento axial preciso entre la rueda y la pieza en elaboración para hacer coincidir la rosca que se está esmerilando (el principio de tornillo patrón es comúnmente utilizado).
- Dispositivos para rectificación o reacondicionamiento de la rueda de esmerilado para generar la forma requerida en la pieza en elaboración.
- Plano inclinado de rotación de la rueda de esmerilado para cortar la hélice requerida.

Las máquinas de esmerilado de roscas difieren en el tipo de rueda de esmerilado usada (con una acanaladura o multiacanalada), el método de soporte de la



pieza en elaboración y el método para restaurar el contorno de corte de la rueda de esmerilado (reacondicionamiento o rectificación con diamante o rectificación por trituración). En algunas ocasiones, las máquinas de esmerilado son clasificadas como externas, internas o universales. Las del tipo universal sirven para esmerilar las roscas internas y las externas.

2.6.2 APLICACIONES DEL ESMERILADO DE ROSCAS

Las piezas roscadas que son esmeriladas incluyen aquellas que son muy difíciles de cortar, fresar o laminar cuando se requiere un acabado fino o cuando los requisitos de guía, paso y forma de precisión deben mantenerse antes y especialmente después del endurecimiento. Las piezas sin eje roscadas con esmerilado incluyen piezas roscadas en forma continua, tales como tornillos de presión, husillos giratorios, casquillos roscados, casquillos roscados ajustables para cabezas de taladro, calibradores de rosca, engranajes de tornillo sin fin, tornillos de hierro pulverizado y casquillos auto-roscables insertados.

Los materiales que pueden ser esmerilados incluyen barras para fabricación de tornillos templadas y no templadas, aceros aleados e inoxidables para herramientas de alta velocidad y hierro sinterizado. Este último es ampliamente utilizado continuamente para elaborar tornillos roscados de forma continua.

El proceso de roscado completo o sin hacer cortes preliminares es aplicado en la fabricación de ciertas clases de piezas roscadas y en la producción de herramientas de precisión, tales como machuelos de roscar y calibradores de rosca. En algunos casos, las roscas de acero de paso grueso, las cuales tienen una superficie endurecida, pueden ser roscadas de manera burda por medio del corte, después endurecidas y finalmente corregidas mediante esmerilado. Muchos machuelos de roscar esmerilados se producen mediante esmerilado a partir de barras sólidas después del tratamiento térmico. Endurecer los machos de roscar de acero de alta velocidad antes que la rosca



se forme elimina las crestas estrechas o delicadas que podrían interferir con la aplicación de la alta temperatura requerida para lograr una dureza uniforme y una estructura de acero óptima.

2.6.3 TOLERANCIAS

Las roscas son esmeriladas para lograr una precisión y acabados no alcanzables mediante otros métodos de roscado. Las tolerancias son mantenidas por tamaño a $\pm 0,0001\text{mm/mm}$ ($\pm 0,0001$ pulg/pulg) de diámetro de paso y por guía dentro de $7,5 \mu\text{m}$ en 500 mm (0,0003 pulgadas en 20 pulgadas) de longitud. Los materiales duros pueden ser roscados más económicamente mediante esmerilado que mediante otros métodos. El aluminio y otros materiales suaves comparables también pueden ser esmerilados pero con gran dificultad, debido a su tendencia a sobrecargar la rueda y causar combustión.

Las especificaciones de las roscas a ser esmeriladas no deben indicar esquinas filosas en la base. Normalmente, un radio de 0,08 mm (0,003 pulgadas) es lo mínimo que se puede esperar y se prefieren radios mucho más grandes en el orden de 0,25 mm (0,010 pulgadas).

Las roscas sin eje esmeriladas deben tener una relación de longitud-a-diámetro de por lo menos 1:1; preferiblemente, la longitud debe ser mayor que el diámetro. Además, las piezas a ser roscadas con esmerilado sin eje no deben tener arandelas grandes, no deben ser planas o tener forma de huevo debido a cortes, ni deben estar dobladas o desviadas. El ahusamiento y aplanamiento deben también evitarse porque los mismos no se eliminan con el esmerilado de rosca.

El número de pasadas de rueda o cortes requeridos para esmerilar una barra sólida depende del tipo de rueda y de la precisión requerida.



2.6.4 SELECCIÓN DE LAS RUEDAS

La selección de abrasivos depende de la composición y dureza del metal que se trabaja y del número de roscas por 25 mm (1 pulgada). Con pocas excepciones, las roscas son esmeriladas con ruedas de óxido de aluminio. Las ruedas de carburo de silicio, son utilizadas para esmerilar titanio y las ruedas de diamante para esmerilar carburo sinterizado y materiales cerámicos. Las variedades semi-friables de óxido de aluminio son preferidas generalmente, pero en algunas aplicaciones, las de tipo friable dan mejores resultados y en unos pocos casos, una variedad correosa es mejor.

El tamaño de la arenilla está determinado principalmente por el paso de la rosca que se está esmerilando; mientras más fina es la rosca, más fino es el tamaño de la arenilla. La arenilla fina mejora el acabado de la superficie, pero la arenilla gruesa remueve el metal más rápidamente.

Ruedas vitrificadas y de resinoide. Para el esmerilado de roscas se utiliza bien sea una traba vitrificada o resinoidal. Las ruedas de resinoide remueven el material más rápidamente, pero son menos rígidas que las ruedas vitrificadas y se desvían más fácilmente. Por lo tanto, las ruedas de resinoide usualmente se utilizan en aplicaciones de alta producción, mientras que las ruedas vitrificadas se utilizan cuando el principal objetivo es la precisión, como en el esmerilado de roscas en calibradores. Las ruedas vitrificadas también se usan para corregir errores de guía en las roscas precortadas. Las ruedas de resinoide más flexibles tienden a seguir los errores de guía en vez de corregirlos. La traba vitrificada se usa también para ruedas reacondicionadas por trituración, un método no aplicable al tipo más elástico trabado por resinoide.

Las Ruedas de Diamante colocadas en una traba de goma o plástica, son también usadas para el esmerilado de roscas, especialmente para esmerilar materiales de carburo y otras aleaciones endurecidas. El esmerilado de roscas se lleva a cabo



con éxito comercialmente en machuelos de roscar y calibradores hechos de carburo. Las ruedas de diamante son reacondicionadas utilizando ruedas de carburo de silicio que se desplazan por el perfil de la rosca de en el ángulo requerido para que los flancos de ésta sean esmerilados. La acción de la ruedas de reacondicionamiento quizás se describe mejor como una fricción de la traba que sostiene los granos de diamante. Obviamente, las ruedas de carburo de silicio no reacondicionan los diamantes, pero aflojan la traba hasta que los diamantes no requeridos se desprendan.

Grado de la Rueda. Depende principalmente del tamaño de la arenilla: mientras más grande es la arenilla, más dura será la rueda. El metal de trabajo, el método de esmerilado, el tipo de rosca y su separación y el tamaño de la rueda; están entre los factores que determinan el grado que se va a usar.

2.6.5 VELOCIDAD DE ESMERILADO

Para el acero inoxidable 316L se recomiendan las siguientes especificaciones:

Tabla 5

PASO [MM]	ROSCAS POR CADA 25 MM	TIPO DE RUEDA ANSI	VELOCIDAD DE LA RUEDA	VELOCIDAD DE LA PIEZA
0,4-0,35	64-80	A220UB	51 m/s, 10000 rpm	1,2 m/s, 4 rpm

2.6.6 ESMERILADO CILÍNDRICO DE ROSCAS

Se emplean cinco métodos básicos, de acuerdo al diseño de la rueda, para el esmerilado cilíndrico de roscas y cuatro de estos métodos utilizan ruedas multiacanaladas:



- Esmerilado transversal con rueda con una acanaladura.
- Esmerilado transversal con rueda multiacanalada.
- Esmerilado inclinado con rueda multiacanalada.
- Esmerilado con rueda multiacanalada, de nervadura alterna.
- Esmerilado con rueda multiacanalada, de tres nervaduras.

Esmerilado transversal con rueda con una acanaladura. Con este método, el borde de la rueda es nivelado a la forma de la rosca que se va a esmerilar, el perfil del borde cortante actúa como el de una herramienta de metal de punta única de las que se usan para cortar roscas en un torno. Debido a que la rueda de esmerilado tiene frecuentemente de 457 a 508 mm (18 a 20 pulgadas) de diámetro, el arco de contacto en su profundidad total es considerable. Por lo tanto, para obtener precisión, la rueda debe estar inclinada hacia el ángulo de la hélice; este ajuste es indispensable en las hélices de 4° o más. (Figura 45a)

El esmerilado transversal con rueda con una acanaladura es el método original y el más versátil para esmerilado de roscas, y todavía se utiliza en la mayoría de las operaciones. Además, puede ser considerado como el método por medio del cual se logra el grado más alto de precisión dimensional en roscas esmeriladas. Los límites de capacidad del esmerilado de rosca con las ruedas con una acanaladura son los más amplios disponibles y se extienden desde el tipo de rosca más fino hasta el más grueso. Además, con la ayuda de los dispositivos apropiados de rectificación, las ruedas con una acanaladura pueden adaptarse a diferentes perfiles, incluyendo aquellas que difieren de las formas convencionales de roscas, tales como: fresas, tornillos sin fin y tornillos de traslación con carrileras especiales.

Esmerilado con ruedas multiacanaladas. Las ruedas multiacanaladas tienen dos o más muescas o ranuras alrededor de su periferia. Cada pestaña es nivelada a la forma de la rosca que se va a esmerilar. La forma de la rosca es pasada a la rueda por medio de diamante o trituración.



Si la rueda para esmerilar es tan gruesa o más que el largo requerido de la rosca (Figura 45b), ésta puede terminarse en una revolución de trabajo más media revolución para alimentar la rueda. Este esmerilado funciona con una rueda que es lo suficientemente ancha como para tener pestañas que produzcan de seis a ocho roscas de la pieza en elaboración. El borde de entrada de la rueda es generalmente ahusado, con las primeras dos o tres pestañas en forma truncada para que la rueda penetre gradualmente en el material como trazado en forma axial. La rueda avanza a la posición radial del corte, la cual podría ser la profundidad total de la rosca para el esmerilado de un solo paso o sólo una parte de la profundidad de la rosca para el esmerilado de varios pasos. Luego que la rueda alcanza su posición, la pieza que hace el recorrido y la rotación toca el borde de entrada de la rueda y continúa el movimiento de trazado a lo largo de la cara de la rueda hasta que el final de la sección haya pasado la rueda. En caso de esmerilado de múltiples pasos, el proceso de retracción de la rueda y retorno es el mismo del esmerilado de rueda con una acanaladura, pero debe recorrer una distancia mayor de retorno debido a que el ancho de la rueda es mayor.

El esmerilado puede funcionar también en el sistema de dos vías. En este caso, ambas caras de la rueda funcionan, de manera alterna, como bordes de entradas y las pestañas del comienzo son truncadas en las dos terminaciones de la cara de la rueda.

El esmerilado transversal con ruedas multiacanaladas es más productivo que el esmerilado con rueda con una acanaladura debida al más alto porcentaje de eliminación de material por paso, y es utilizado frecuentemente en máquinas de esmerilado de roscas que están adaptadas a este método mediante el uso de ruedas más anchas y dispositivos multinervados apropiados de rectificación de ruedas. Sin embargo, la aplicación del esmerilado con ruedas multiacanaladas tiene ciertas limitaciones:



- La separación de las roscas no debe exceder de un octavo del ancho disponible de la rueda.
- No debe haber cambios de diámetro en la pieza en elaboración que puedan interferir en su paso a lo largo del ancho total de la cara de la rueda.

Con respecto a la precisión factible, el esmerilado con rueda multiacanalada es exitosamente aplicado inclusive en roscas con variación ajustada, excepto para requerimientos de precisión extrema especificados en la plantilla para roscas.

Esmerilado inclinado. Para este método de esmerilado, deben usarse ruedas que tengan aproximadamente 1 1/2 pulgadas de separación más ancha que la sección roscada de la pieza en elaboración, pero la rosca completa es producida en menos de 1 1/2 revoluciones de la pieza de trabajo. La rueda, que tiene perfil con pestañas de rosca en forma de anillo de igual profundidad en toda la periferia, avanza gradualmente en la pieza en rotación durante más o menos 1/3 de revoluciones de esta. Luego, la rueda se queda en esa posición mientras la pieza en elaboración continúa haciendo algo más que una revolución adicional completa (Figura 45c).

En este punto, la rosca completa ha sido esmerilada en una sola pasada; la rueda se retira y el banco de fresado vuelve a su posición de comienzo, listo para empezar la siguiente pieza.

El esmerilado inclinado con rueda multiacanalada es el método de esmerilado de rosca más productivo y se utiliza con éxito cuando las dimensiones de la pieza de trabajo y de la rosca, permiten su aplicación. La precisión que se alcanza satisface la mayoría de los requerimientos generales, con la excepción de partes con tolerancias muy críticas.



Esmerilado de nervadura alterna. Es un tipo de esmerilado inclinado con ruedas multiacanaladas, con espaciado de pestañas en la rueda dos veces más que en la separación de las roscas, es utilizado en algunas ocasiones para roscas de una separación muy corta o por ruedas con adherencia de resinoide donde la rectificación de pestañas correspondiente a la separación real de las roscas sería difícil de llevar a cabo. La rueda de esmerilado puede formarse por rectificación con aplastamiento o rectificación con diamantes. En el primer paso, la rueda esmerila cada dos roscas de la pieza en elaboración, en los pasos siguientes, después que el trabajo es desplazado una distancia igual a la separación de la rosca, las que no se han tocado en el primer paso son esmeriladas. (Figura 45d).

Este método requiere aproximadamente $2 \frac{1}{2}$ revoluciones totales de la pieza en elaboración para la operación completa.

Esmerilado con tres nervaduras. Otra variante del esmerilado de rosca con rueda multiacanalada es la rueda de tres pestañas. Esta rueda tiene una pestaña áspera que elimina aproximadamente $\frac{2}{3}$ del material y una pestaña intermedia que recoge el remanente del material menos aproximadamente 0.13 mm (0.005 de pulgada, el cual es dejado para ser limpiado por la pestaña de acabado. Si se desea, la rueda puede ser reacondicionada de manera que un área achatada termine de esmerilar la cresta de la rosca. La rueda de tres pestañas produce roscas cuya precisión iguala o excede la de las roscas producidas por la rueda con una acanaladura. Si es necesario, este tipo de rueda puede estar inclinada hacia el ángulo de la hélice, tomando en cuenta que se haga una concesión para el radio de curvatura del trabajo. La rueda de tres pestañas está diseñada para trazar el trabajo en vez de hacer cortes inclinados.

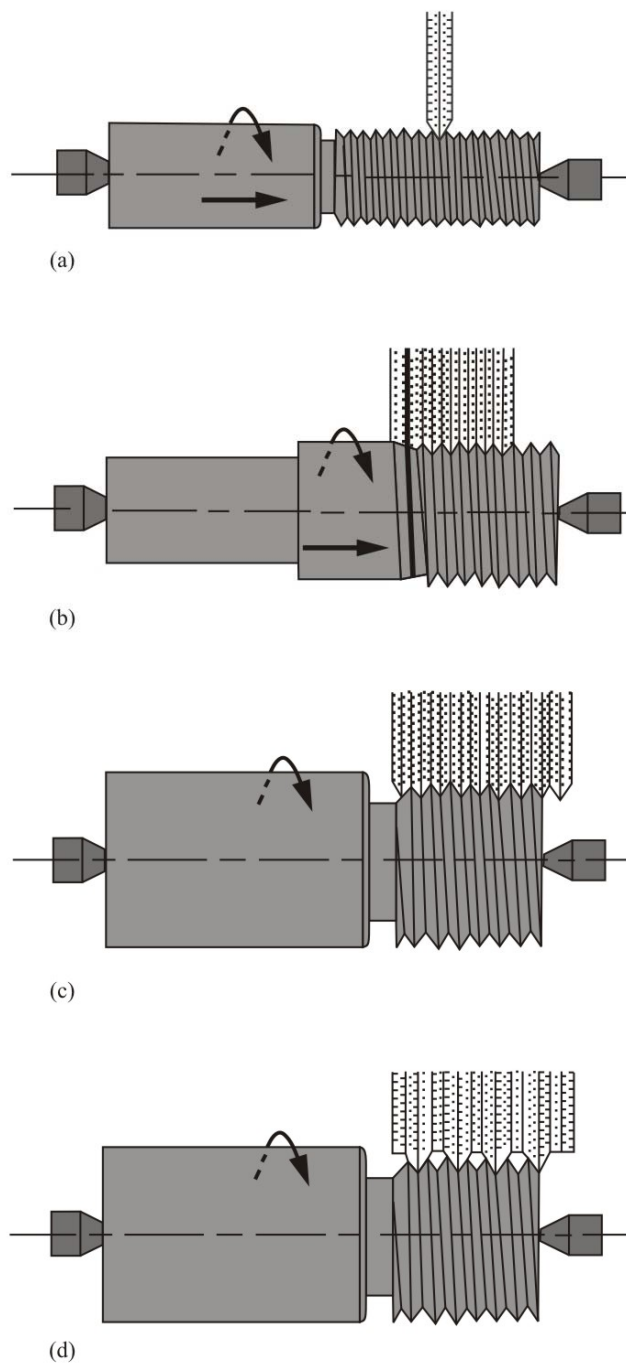


Figura 45. Tipos de esmerilado cilíndrico.



2.6.7 ESMERILADO DE ROSCA SIN CENTROS

El esmerilado sin centro es el método más productivo de esmerilado de tornillos roscados.

Las ruedas para el esmerilado de rosca sin eje pueden también ser de una acanaladura o múltiples acanaladuras. El tamaño del grano varía de 100 a 320 dependiendo del número de roscas por 25mm. Las ruedas más duras son usadas en el esmerilado de rosca sin centro más que para otras operaciones de esmerilado en el mismo material

La vida de la rueda depende del tipo y dureza del material que se está esmerilando, tolerancia de la rosca y la cuota de producción. Debido a que el máximo desgaste ocurre en la cresta de la rosca de la rueda de esmerilado, ésta debe ser reacondicionada para mantener la tolerancia de la raíz de la rosca producto. Las ruedas de esmerilado de rosca sin eje son reacondicionadas por aplastamiento.

Producción De Roscas. Las roscas pueden ser esmeriladas de material macizo por el método sin centros. Existen mecanismos de regulación para adaptar el trabajo de diferente tamaño y variar la cuota de alimentación. La rueda de esmerilado es del tipo multiacanalada, la cual consiste en una serie de sierras anulares a través de la cara. Estas sierras se ajustan en separación y perfil a la rosca que se va a esmerilar. La rueda de esmerilado está inclinada para que se adapte a la hélice o ángulo de entrada de la rosca. Esmerilando roscas en trabajos tales como tornillos de presión tipo boquilla, preformas son alimentadas automáticamente y pasadas entre la rueda esmeriladora y la rueda reguladora en una línea continua.

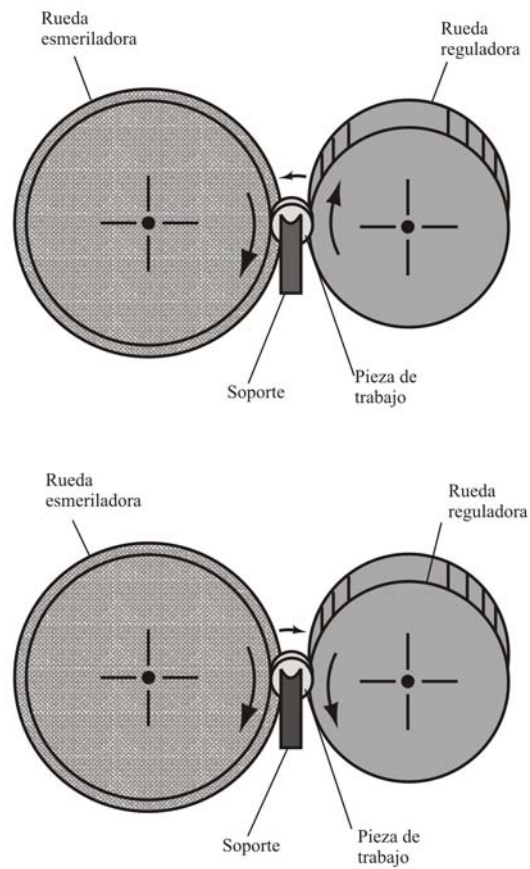


Figura 46.1. Dos tipos de esmerilado sin centros.

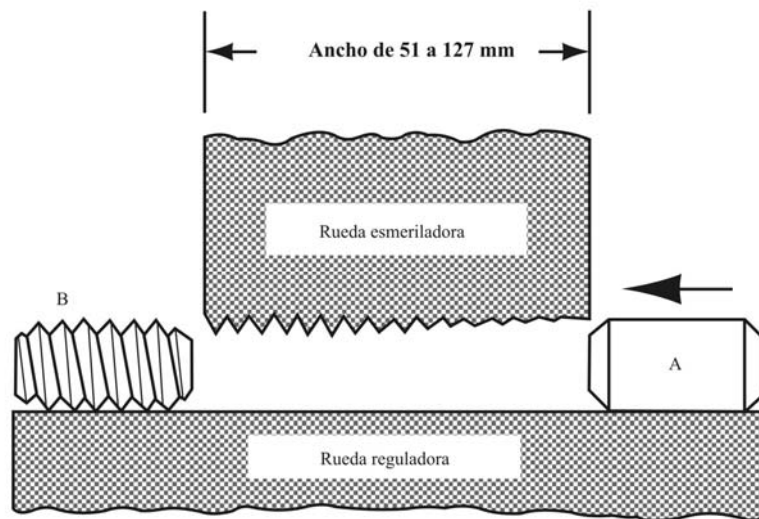


Figura 46.2. Principio de funcionamiento del esmerilado sin centros



2.6.8 PRÁCTICAS DE PRODUCCIÓN

Pasos de rosca tan pequeños como de 80 roscas por 25mm (1 pulgada) pueden ser esmeriladas con los procedimientos convencionales de esmerilado de roscas. Se han desarrollado técnicas especiales para esmerilar roscas tan cortas como 400 por 25mm (1 pulgada). La mayoría de las roscas esmeriladas en una producción normal son considerablemente más gruesas que 80 por 25mm (1 pulgada).

Una rosca de alta dureza puede obtenerse por esmerilado debido a que la pieza en elaboración puede esmerilarse después de haber sido totalmente endurecida. Esto elimina la distorsión comúnmente encontrada en piezas roscadas antes de un tratamiento térmico y produce formas rectificadas de roscas con la conducción y diámetro de separación sujeto a una tolerancia mínima. Límites de 0.005 mm (0.0002 pulgadas) o menos pueden mantenerse en el diámetro de separación y de menos de 0.0002 mm/mm (0.0002 pulgadas / pulgadas) en tolerancia de conducción.

El esmerilado de roscas es aplicable prácticamente a todos los tipos de materiales y durezas. Por otra parte, el corte de roscas es superior desde el punto de vista del manejo del material y cuota de producción, especialmente cuando la tolerancia de roscado es amplia. Sin embargo, estas ventajas son rápidamente desplazadas cuando se requiere una tolerancia mínima. Cuando se necesiten roscas de fino acabado y tolerancia mínima, el esmerilado de rosca es más económico que otros métodos, incluyendo corte y fresado de roscas.

2.6.9 APLICACIONES DE ALTO VOLUMEN DEL ESMERILADO DE ROSCAS

En cantidades de producción, el esmerilado de rosca puede ser usado para producir diversos tipos de partes esmeriladas, así como otros tipos de partes que tienen perfiles helicoidales de formas particulares.



El esmerilado de roscas como un método de trabajo de metales no está limitado a partes cuyas especificaciones de calidad garantizan y hasta requieren su uso. En muchos casos, el esmerilado de roscas puede ser el método más productivo para elaborar la configuración de cierta parte. En tales aplicaciones, la precisión, el acabado y otras propiedades relativas a la calidad de la superficie esmerilada, constituye un beneficio adicional. Referente a la productividad, las ventajas de esmerilado de rosca sobre las de métodos alternativos pueden provenir de varias condiciones, a saber:

Alta rata de remoción de material. Las condiciones limitadas de desecho de virutas de un área de trabajo encerrado pueden ser superadas más fácilmente en el trabajo de esmerilado que en cualquier otro método de trabajo en metal.

Rectificación de ruedas. En lugar del cambio frecuente de herramientas, el rectificado regular de la rueda de esmerilado instalada necesita ser adaptada a menudo de una manera que no interfiera con el tiempo de ciclo productivo de la operación. Esta propiedad del esmerilado de rosca es particularmente valiosa, en la producción de partes esmeriladas largas, tales como tornillos guías, donde el volumen de existencia eliminado puede exceder los límites del soporte de bordes de una herramienta sencilla de punta cortante.

Operaciones de Desbastado y Acabado. El desbastado, inclusive de materiales macizos y el posterior acabado pueden combinarse en una sola operación, utilizando la misma herramienta, mediante el cambio de la cuota de avance radial. Las condiciones del trabajo producidas en un solo paso, son normalmente adecuadas y así se elimina la necesidad de realizar un acabado en una segunda operación.

Configuración de la pieza de trabajo. La forma repetitiva de la rosca de tornillo, frecuentemente permite el uso de esmerilado con inclinación en una pasada y produce (en una sencilla revolución de la pieza en elaboración, fundamentalmente)



la sección completa de roscado. En principio, esto es similar a la función del cortador de múltiples formas en una fresadora, pero es generalmente logrado con mucha más alta productividad con una precisión superior.

2.6.10 MÁQUINAS DE ESMERILADO DE ROSCAS

La clasificación de las máquinas de esmerilado de roscas se basa en el grado de automatización distintivo de las controladas manualmente, semiautomáticas, automáticas y completamente automáticas. La clasificación de las completamente automáticas comprende los equipos que pueden funcionar principalmente sin atención, y ejecutan hasta la carga y descarga del trabajo por controles automáticos. Aunque el grado de automatización es importante en la selección de equipos destinados a propósitos particulares de producción, las máquinas de esmerilado de rosca de una gran variedad de sistemas, capacidades y propósitos de aplicación, están disponibles en diseños que proporcionan diferentes grados de automatización.

2.7 EL MAQUINADO DEL ACERO INOXIDABLE

2.7.1 GENERALIDADES

Las características del acero inoxidable que tienen una amplia influencia en su maquinabilidad incluyen:

- Una resistencia a la tracción relativamente alta.
- Una alta tasa de endurecimiento por deformación, particularmente los aceros austeníticos (en nuestro caso 316 L)
- Alta ductilidad

Estos factores explican la tendencia del material a formar un borde aumentado en la nariz de la herramienta durante los procesos tradicionales de mecanizado.



Las virutas removidas ejercen altas presiones en la punta de la herramienta; estas presiones, cuando se combinan con las altas temperaturas en la interfase viruta/herramienta, causan una soldadura por presión de porciones de viruta en la herramienta. En adición a esto, la baja conductividad térmica del acero inoxidable contribuye al aumento del calor generado en el proceso.

Las dificultades envueltas en el mecanizado tradicional del acero inoxidable pueden ser minimizadas siguiendo las siguientes recomendaciones:

- Debido a que se requiere generalmente mas potencia para mecanizar el acero inoxidable, el equipo debe ser usado solo hasta el 75% de la capacidad nominal utilizada para aceros al carbono.
- Para evitar traqueteo, las herramientas y accesorios deben ser lo más rígido posible. Deben ser minimizadas las posiciones en voladizo de la pieza y la herramienta.
- Para evitar superficies vidriadas o endurecidas, debe mantenerse una alimentación positiva. En algunos casos, podría ser necesario incrementar la alimentación y reducir la velocidad. Deben ser evitados los cortes interrumpidos y la sucesión de cortes delgados.
- Velocidades de corte más bajas pueden ser necesarias para las aleaciones austeníticas.
- Las herramientas deben mantenerse afiladas, con un acabado fino para minimizar la fricción con la viruta.



- Los fluidos de corte deben ser seleccionados o modificados para proveer una óptima lubricación y remoción de calor. Estos deben ser dirigidos cuidadosamente hacia el área de corte en un caudal suficiente para prevenir el sobrecalentamiento.

2.7.2 FLUIDOS DE CORTE

El uso de un fluido de corte es más deseable para mecanizar acero inoxidable que para los aceros aleados y al carbono por dos razones.

La primera, el acero inoxidable es menos mecanizable que estos últimos y la segunda, la baja conductividad térmica del acero inoxidable incrementa la necesidad de un refrigerante.

Los aceites solubles en agua (usualmente en proporción de una parte de aceite con doce a veinte de agua) y los aceites de corte sulfoclorados (con viscosidad de 300 SUS máximo a 38°, ISO 22/32, SAE 10) son los fluidos de corte más utilizados para el mecanizado del acero inoxidable. Ver Apéndice B, para una información más detallada sobre los fluidos de corte.

Los aceites solubles en agua son usados para la mayoría de los procesos de punta única como lo es el torneado. Estos aceites cuestan menos que los sulfoclorados, son más fáciles de suministrar al área de corte en cantidades copiosas y cumplen funciones aceptables de refrigeración y desalojo de virutas.

Los aceites solubles son además utilizados satisfactoriamente para fresar y para el mecanizado en tornos y máquinas de múltiples operaciones simultáneas.

Los aceites de corte sulfoclorados no son usados con frecuencia en las operaciones de torneado y fresado del acero inoxidable, sin embargo, hay condiciones



de operación en las cuales han probado ser la mejor opción. Ejemplo de estas condiciones son; metal de trabajo excesivamente duro, el uso de herramientas de corte de alta velocidad y requerimientos críticos de acabado superficial.

En el maquinado del acero inoxidable, dos tipos de aceite sulfoclorados son recomendados:

- Aceite derivado de petróleo sulfoclorado con contenido de azufre activo y aproximadamente de 8 a 10 % de aceite graso. Viscosidad aproximada de 200 SUS a 38° C.
- Aceite derivado de petróleo sulfoclorado con contenido de azufre activo sin una base de ácido graso. Viscosidad aproximada 130 SUS a 38° C.

El primero es usado generalmente para los aceros inoxidables que no tienen en su composición aditivos para mejorar su maquinabilidad (azufre por ejemplo), mientras que el segundo es preferido usualmente para mecanizar aceros que contienen los aditivos antes mencionados.

Cualquiera de los dos aceites puede utilizarse concentrado o diluido con un aceite de mezclado, el mejor de estos es el aceite parafinado. Normalmente, una mezcla de uno a uno de aceite sulfurizado con aceite parafinado es usada inicialmente.

Si ocurre un desgaste excesivo de la herramienta, debe añadirse más aceite parafinado. Si la viruta se suelda a la herramienta o si la herramienta se quema, puede haber exceso de aceite parafinado en la mezcla.

En general, para maquinar aceros inoxidables austeníticos, una mezcla de uno a uno del primer aceite (8 a 10% de aceite graso) con aceite parafinado es recomendada. Debe asegurarse una viscosidad lo suficientemente baja para que el



fluido pueda alcanzar al punto de contacto pieza-herramienta. Usualmente, 120 SUS a 20 ° C (ISO 22) es satisfactorio.

Fluidos emulsionados

Los fluidos emulsionados con agua (solubles en agua) son aplicables al mecanizado del acero inoxidable, particularmente en situaciones que requieren grandes capacidades refrigerantes.

Sin embargo, los fluidos basados en agua son indeseables en aquellos casos en el que el fluido de corte y la lubricación de la máquina tengan posibilidades potenciales de mezclarse.

El fluido de corte debe contener aditivos polares y de extrema presión (EP), se han obtenido resultados favorables con algunos sistemas de emulsificación sintéticos. Comparados con los aceites de corte, los fluidos emulsionados con agua pueden resultar en mejor acabado superficial, menor zona afectada por el calor en la herramienta y en consecuencia menor rectificado de herramientas y una productividad incrementada para algunos grados de acero inoxidable.

2.7.3 TORNEADO

En el torneado del acero inoxidable son particularmente importantes las herramientas esmeriladas correctamente. Se muestran en la figura las geometrías recomendadas para esta aplicación. Las herramientas con ángulos de inclinación positivos de 5 a 10° van a generar menos calor y van a cortar más fácilmente, dejando una superficie más limpia.

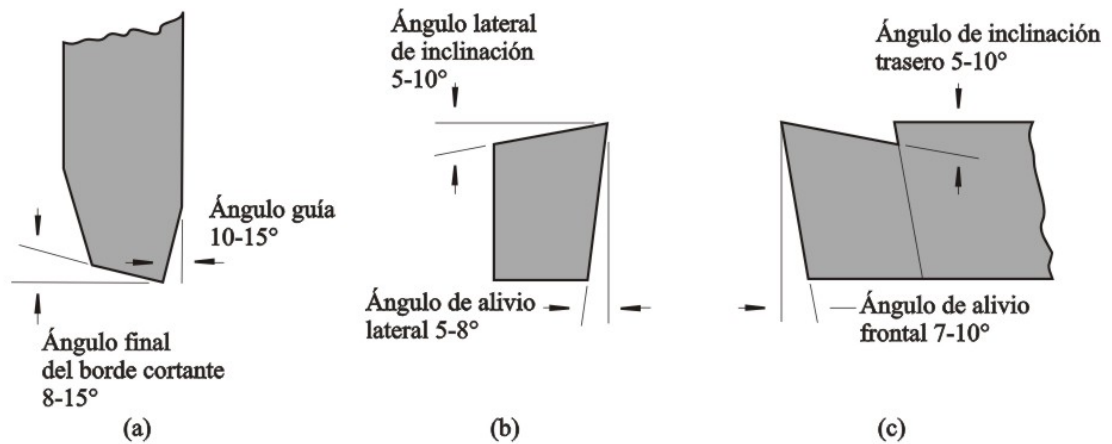


Figura 47. Geometrías sugeridas para herramientas de corte de punta única en el torneado del acero inoxidable. (a) Vista inferior. (b) Vista frontal. (c) Vista lateral.

Es también beneficioso seleccionar una herramienta tan larga como sea posible para proporcionar un mejor despeje de calor y un arreglo más rígido.

Para asegurar un soporte adecuado para el borde cortante, el ángulo de separación debe mantenerse al mínimo, esto es de 7 a 10°.

Los aceros austeníticos (316L) debido a sus características de tenacidad y de trabajo de endurecimiento, requieren herramientas con ángulos de inclinación cercanos a los diez grados para controlar las virutas y pueden requerir un incremento en los ángulos de separación para prevenir el rozamiento y un endurecimiento localizado.

Estos aceros tienden a producir virutas largas y delgadas que pueden ser problemáticas. Estas dificultades pueden ser aliviadas utilizando rizadores o rompedores de viruta, que además de controlar el tamaño de estas, reducen la fricción en el borde cortante de la herramienta.



Las herramientas de corte hechas con carburos pueden ser usadas, permitiendo mayores velocidades de corte que con las herramientas fabricadas con aceros de alta velocidad. Sin embargo, las herramientas de carburo requieren mucha más atención en lo que respecta a la rigidez del sistema, también deben evitarse los cortes interrumpidos.

Una herramienta de acabado puede usarse para obtener una superficie maquinada óptima, o tolerancias pequeñas en piezas de forma. Estas herramientas remueven el metal con un corte tangencial en vez de radial. Usualmente una capa delgada del material (aproximadamente de 0,13 a 0,25 mm) es removida a una gran velocidad. El acabado superficial del borde de la herramienta debe ser muy fino. Normalmente se necesitará un ángulo de separación de diez grados.

Tabla 6. Parámetros Normales para el torneado del Acero Inoxidable

Acero	PROFUNDIDAD DE CORTE		HERRAMIENTAS DE ACERO DE ALTA VELOCIDAD					
			Velocidad		Avance		Material herramienta	
	mm	in	m/min	sfm	mm/rev	in/rev	T15/M42	
	316L	3,8	0,150	26	85	0,38		0,015
0,75		0,030	30	100	0,18	0,007		

Acero	PROFUNDIDAD DE CORTE		HERRAMIENTAS DE CARBURO									
			Velocidad, soldado		Velocidad, indicable		Velocidad, recubierto		Avance		Material herramienta	
	mm	in	m/min	sfm	m/min	sfm	m/min	sfm	mm/rev	in/rev	ANSI	ISO
316L	3,8	0,150	99	325	107	350	137	450	0,38	0,015	C2,CC2 C3,CC3	M10,M20
	0.75	0.030	107	350	122	400	160	525	0.18	0.007		

2.7.4 EL ROSCADO CON DADO



Los peines de roscar para dados auto-aperturables están hechos con aceros de alta velocidad. Los peines comerciales estándar tienen una vida útil satisfactoria si se mantienen afilados y correctamente esmerilados para el corte.

La figura muestra las geometrías sugeridas para los cuatro tipos principales de herramientas para corte con dado. El tipo de peine mas usado para roscas de tolerancias cerradas es el de tipo tangencial. Este tipo es particularmente aceptable para trabajos de servicio pesado, como la producción de roscas largas y gruesas (de paso abierto).

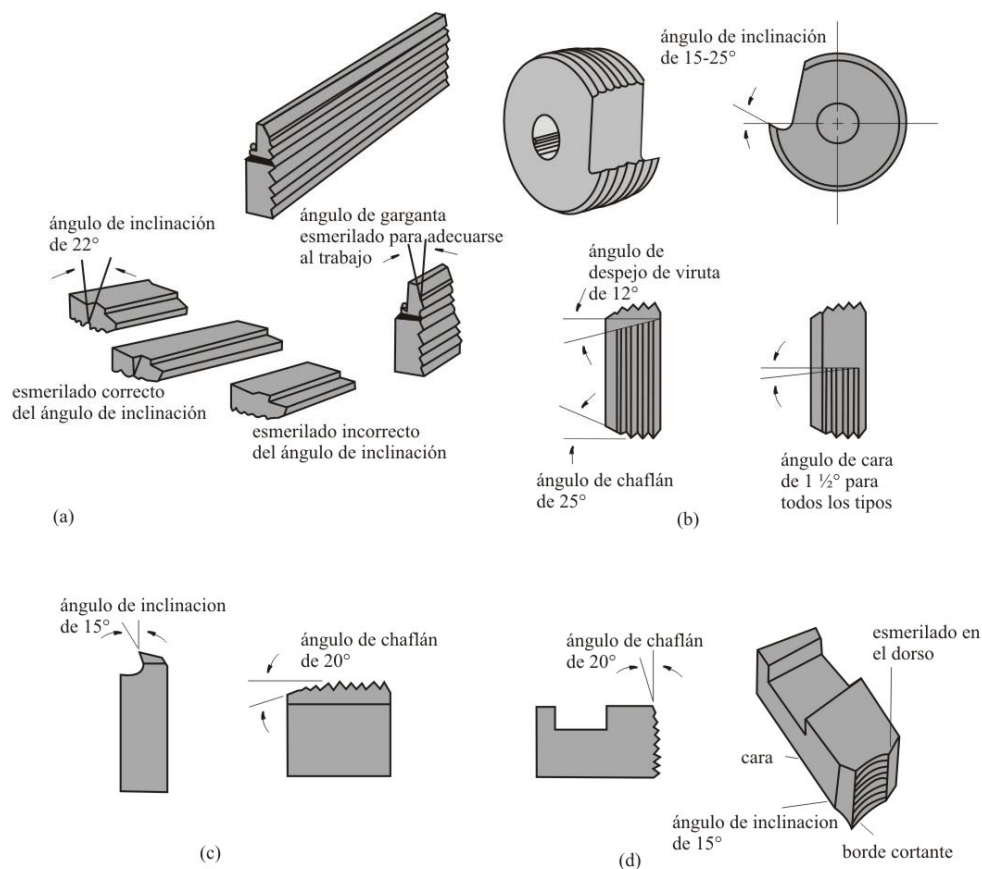


Figura 48. Geometrías sugeridas para el roscado con dado del acero inoxidable. (a) Peine tangencial. (b) Peine circular. (c) Peine tipo inserto. (d) Peine radial.



Cuando sea posible, debe usarse un ángulo de chaflán de 20°. Sin embargo, cuando las roscas no llegan a un cambio de diámetro, un ángulo de 15° es mejor.

El de tipo circular (Figura 48 b) es considerado el peine universal porque se adapta bien a todos los tipos de rosca. Este tipo de peine debe tener, generalmente, un ángulo de garganta de 25°.

El peine de tipo inserto (Figura 48 c) es ampliamente usado. Produce buenas roscas a bajo costo en aceros de fácil mecanizado. Un ángulo de garganta de 20° es usualmente aceptable para este tipo de peine.

El de tipo radial (Figura 48 d) produce roscas extremadamente lisas debido a que es esmerilado para lograr adaptarse a la forma a ser roscada. Estos peines tienen generalmente un ángulo de garganta de 20°.

Tabla 7. Parámetros nominales para el corte con dado del acero inoxidable

Acero	VELOCIDAD DE CORTE [mt/min] PARA DIFERENTES PASOS [hilos por mm]				MATERIAL HERRAMIENTA
	≤ 7	8-15	16-24	> 24	
316L	2-5	3-6	5-8	8-9	M1, M2, M7 M10

2.7.5 ROSCADO POR LAMINACIÓN

El equipo utilizado para laminar acero inoxidable debe tener la suficiente rigidez y potencia, debido a su alta dureza y tasa de endurecimiento, por lo tanto una presión substancial es requerida para formar las roscas. Estas características del acero inoxidable pueden limitar la cantidad de rosca a ser formada, por lo que debe evitarse cualquier endurecimiento previo a la laminación.

2.7.6 FRESADO



Para el fresado del acero inoxidable pueden ser usadas herramientas de acero de alta velocidad y de carburo.

Sin importar el tipo de corte a realizar, la pieza de trabajo y la herramienta deben ser inundadas con un apropiado aceite sulfurado diluido con aceite parafinado, o preferiblemente un fluido emulsificado. Esto es debido al gran calor generado por el fresado, el cual debe ser disipado por el fluido de corte.

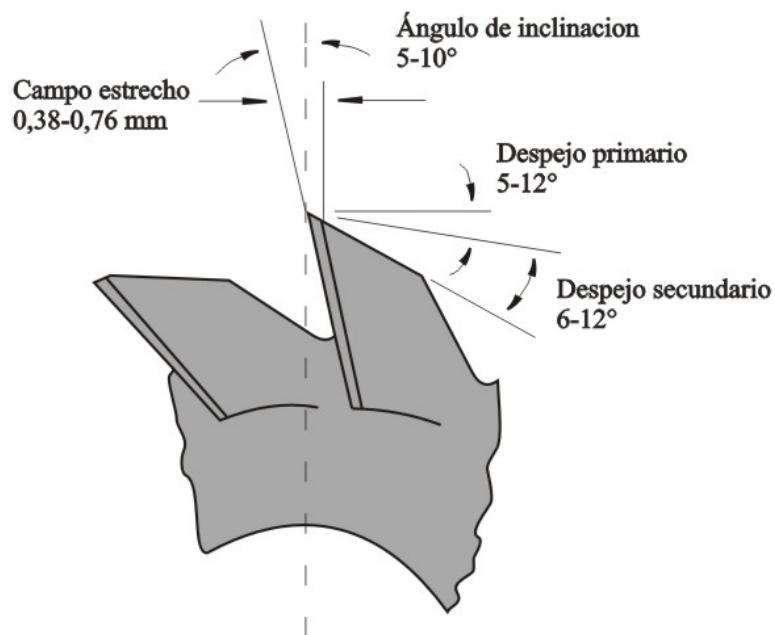


Figura 49. Geometría sugerida para las herramientas de corte en el fresado del acero inoxidable.

Tabla 8. Parámetros nominales para fresar Aceros Inoxidables

Acero	VELOCIDAD	AVANCE, [MM/DIENTE], EN UN DIÁMETRO DE CORTADOR DE:				MATERIAL HERRAMIENTA
	m/min	6 mm	13 mm	19 mm	25-50 mm	
316L	24	0,05	0,075	0,13	0,15	M2, M7
	82	0,025	0,05	0,075	0,13	C2

2.7.7 ESMERILADO

Para el esmerilado del acero inoxidable son comúnmente utilizadas las ruedas de oxido de aluminio.



Pueden usarse también las ruedas de carburo de silicio, pero reduciendo así la vida útil de la rueda, por lo tanto, su uso es limitado a aplicaciones especiales.

En general, son seleccionadas ruedas de densidad media con grados de dureza medios, utilizándose para esmerilado de roscas ruedas con una dureza mayor.

Son de uso común tamaños de arenilla de 46, 54 y 60; se pueden usar arenillas mas finas para lograr un acabado mas liso.

Son normalmente utilizadas ruedas vitrificadas, aunque para altas velocidades son preferidas las ruedas de resinoide.

No se deben usar ruedas previamente utilizadas para esmerilar un material distinto al acero inoxidable, pues pueden generarse inclusiones en este, afectando así su resistencia a la corrosión.

Para la mayoría de las operaciones de esmerilado se recomiendan velocidades de rueda de 1500 a 2000 m/min, para esmerilado de superficie se recomiendan velocidades de 15 a 30 m/min.



CAPITULO III

PROCESOS DE ACABADO SUPERFICIAL



3.1 LA LIMPIEZA DEL ACERO INOXIDABLE

3.1.1 GENERALIDADES

La limpieza incluye todas las operaciones necesarias para la remoción de contaminantes en la superficie del metal y así asegurar la máxima resistencia a la corrosión de este, la prevención de la contaminación del producto y la apariencia deseada. La selección del proceso de limpieza esta influenciado mayormente por el tipo de contaminante a ser removido, el grado de limpieza requerido y el costo.

Los depósitos de suciedad del acero inoxidable, los cuales incluyen polvo y residuos del proceso de fabricación, marcas dactilares y marcas de identificación pueden ser fácilmente removidas.

Frecuentemente, es suficiente agua tibia con o sin detergente. Luego están los productos en polvo abrasivos suaves que no rayen la superficie (los típicos limpiadores usados en el hogar). Estos pueden ser usados con agua tibia, brochas de acero inoxidable, esponjas o guantes de limpieza. Deben evitarse utensilios de limpieza hechos de acero ordinario, pues pueden dejar partículas indeseables en el acero inoxidable, que pueden llevar a la corrosión de la superficie. Para una limpieza un poco más agresiva, se puede añadir una pequeña cantidad de vinagre al polvo abrasivo. La limpieza debe ser seguida de un enjuague con agua caliente y posterior secado con toallas limpias. Se puede considerar el uso de limpiadores para metal comerciales, siempre y cuando se asegure que son aplicables al acero inoxidable.

Las marcas dactilares son probablemente las marcas mas indeseables en lo que a apariencia del acero inoxidable se refiere. Este no es el único problema, sino que estas pueden fijarse permanentemente durante algún tratamiento térmico, dejando marcas que solo pueden ser removidas por medio de un rectificado. Pueden ser



fácilmente prevenidas con el uso de guantes de goma, o removidas con una pasta de carbonato de sodio y agua.

Los métodos más comunes usados para la remoción de grasas, y aceites de mecanizado son:

1. Limpieza alcalina
2. Limpieza por emulsión
3. Limpieza con solventes
4. Desengrasado con vapor
5. Limpieza ultrasónica
6. Limpieza ácida

LIMPIEZA ALCALINA

Esta es usada para remover contaminantes presentes en la superficie, estos incluyen aceites, grasas, ceras, partículas metálicas, polvo y carbón.

Los limpiadores alcalinos son aplicados por inmersión o rociado, y el metal es limpiado por mecanismos de emulsificación, dispersión y saponificación. La etapa de limpieza es usualmente seguida de un enjuague con agua y una etapa de secado.

LIMPIEZA POR EMULSIÓN

Es un proceso usado para remover depósitos de aceite y otros contaminantes mediante el uso de un jabón u otro agente emulsificante. Esta es efectiva para remover una amplia variedad de contaminantes, incluyendo lubricantes, fluidos de corte y residuos líquidos de inspección de superficie.



La limpieza por emulsión es usada cuando se requiere una limpieza superficial rápida y el dejar una película residual de aceite no es un problema.

LIMPIEZA CON SOLVENTES

Es un proceso para remover contaminantes de la superficie del metal por medio de inmersión o rociado con un solvente orgánico como petróleo alifático, hidrocarburos clorados o una mezcla de estos dos últimos.

DESENGRASADO CON VAPOR

Este es el término genérico que se le da al proceso de limpieza que usa los vapores calientes de un solvente clorado o fluorado para remover aceites particulares, grasas y ceras.

La limpieza requerida y la estabilidad química del solvente son factores críticos en la eficiencia del vapor y su posible ataque a la superficie del metal.

La presencia de agua en el tanque o en la parte a ser limpiada puede reaccionar con el solvente para formar ácido hidróclórico, el cual puede ser dañino para el metal. Por lo tanto no debe haber agua presente en ninguno de los dos elementos.

LIMPIEZA ULTRASÓNICA

Los transductores ultrasónicos, los cuales convierten la energía eléctrica en vibraciones ultrasónicas, pueden ser usados en conjunto con algunos sistemas de limpieza para remover contaminantes bastante arraigados en la superficie en áreas de difícil acceso, particularmente en partes pequeñas y de configuraciones intrincadas. Haciendo a este proceso ideal para limpiar partes con esas características.



LIMPIEZA ÁCIDA

Este es un proceso en el cual una solución de ácido mineral, un ácido orgánico o una sal ácida en combinación con un agente húmedo y un detergente, es usada para remover óxido y contaminantes de la superficie del metal. La limpieza ácida no es efectiva para remover aceites, grasas o ceras.

Las superficies deben ser limpiadas previamente para remover aceites y grasas antes de la limpieza ácida.

Después de la limpieza ácida las superficies deben ser enjuagadas con agua limpia para eliminar cualquier rastro ácido y muy bien secadas después del enjuague. Para prevenir la decoloración del metal, no debe permitirse que este se seque entre la etapa de limpieza y de enjuague. Puede ser requerido un tratamiento de neutralización bajo algunas condiciones; si se usa, la neutralización debe ser seguida de repetidos enjuagues con agua y posterior secado antes del enjuague final con agua.

3.1.2 LIMPIEZA ALCALINA

La limpieza alcalina es un método comúnmente usado para remover una amplia variedad de impurezas en la superficie de un metal. Las impurezas removidas por este método incluyen aceites, grasa, ceras, polvillo metálico y polvo. La limpieza alcalina es aplicada por rociado o por inmersión y es seguida, usualmente, de un enjuague con agua tibia.

Los métodos principales de remoción de impurezas usados por un limpiador alcalino son; saponificación, desplazamiento, emulsificación y dispersión y disolución de óxido metálico.

3.1.2.1 Composición de un limpiador alcalino



Los limpiadores alcalinos tienen tres tipos principales de componentes: constructores, los cuales forman el grueso del limpiador; aditivos orgánicos o inorgánicos, los cuales promueven una mejor limpieza o afectan la rata de disolución de óxido metálico de la superficie; y surfactantes.

CONSTRUCTORES

Estos son las sales en el limpiador alcalino. La mayoría de los limpiadores usan una mezcla de sales escogidas del siguiente grupo:

- Ortofosfatos, como el fosfato trisódico.
- Fosfatos condensados, como el pirofosfato de sodio y el tripolifosfato de sodio.
- Hidróxido de sodio.
- Carbonato de sodio.
- Meta silicato de sodio.
- Carbonato de sodio.
- Borato de sodio.

ADITIVOS

Son componentes inorgánicos u orgánicos, los cuales mejoran la limpieza y modificación superficial.

Son considerados aditivos el glicol, glicol éter, inhibidores de corrosión y los agentes quelantes.

- Los glicoles y éter glicoles son solventes que remueven ciertos tipos de aceite.



- Los inhibidores de corrosión pueden ser incorporados en la solución para disminuir la ocurrencia de oxidación en la superficie del metal durante el enjuague en agua.
- Los agentes quelantes son químicos especializados para contrarrestar los efectos de las sales duras y los iones metálicos.

Los agentes más usados son: Gluconato de sodio, citrato de sodio, ácido etilendiamin tetracético de sodio (EDTA), ácido nitrilotriacético de sodio (NTA) y trietanolamina.

SURFACTANTES

Son orgánicos y son los “caballos de trabajo” de los limpiadores alcalinos. Estos son claves en el desplazamiento, emulsificación y dispersión de muchos de los contaminantes encontrados en la superficie del metal. Los surfactantes disminuyen la tensión superficial de la solución limpiadora en la superficie del metal.

Hay cuatro tipos principales de surfactantes:

- Aniónicos (Ej., sulfonato de alquilbenceno de sodio)
- Catiónicos (Ej., cloruro de amonio cuaternario)
- Anfotéricos (Ej., imidazolina alquil substituida)
- No iónicos (Ej., alcohol etoxilado de cadena larga)



Estos tipos principales difieren en el tipo de carga encontrada en la molécula surfactante individual, la cual tiene una porción soluble en aceite. En los surfactantes aniónicos la porción soluble en agua esta cargada negativamente. Los surfactantes catiónicos tienen una entidad cargada positivamente. Los surfactantes anfotéricos tienen en cada molécula una identidad cargada negativamente y otra positivamente. Los surfactantes no iónicos son neutros.

Para la limpieza alcalina por inmersión son frecuentemente usados los surfactantes aniónicos y los no iónicos.

3.1.2.2 Mecanismos de limpieza

La limpieza es conseguida utilizando mecanismos de saponificación, desplazamiento, emulsificación y dispersión; y disolución de óxido metálico.

SAPONIFICACIÓN

Esta se limita a la remoción de las grasas u otros componentes orgánicos que reaccionan químicamente con las sales alcalinas. Los componentes grasos, sean animales o vegetales, reaccionan con las sales alcalinas en la solución para formar una sustancia jabonosa soluble en agua.

DESPLAZAMIENTO

Es el levantamiento de los componentes aceitosos de la superficie debido a la acción de los surfactantes. Por su naturaleza química, los surfactantes poseen una afinidad hacia las superficies metálicas mayor a la del aceite. El surfactante en la solución limpiadora levanta al aceite de la superficie y lo reemplaza consigo mismo. Una vez que el aceite esta en la solución, actúan los fenómenos de dispersión y emulsificación.



DISPERSIÓN Y EMULSIFICACIÓN

Mantiene los componentes aceitosos en la solución. Estos dos mecanismos comparten la misma meta, permiten que dos líquidos insolubles, como lo son el agua y el aceite, permanezcan unidos.

Emulsificación es el uso de un surfactante como conector para mantener al aceite y al agua juntos como si fueran uno solo. Como se explicó anteriormente, una porción de la molécula surfactante es soluble en agua y esto le permite moverse libremente por las sustancias limpiadoras que tienen como base agua. La porción soluble en aceite de la molécula surfactante le permite mantenerse unida a las moléculas de aceite. En un limpiador típico basado en agua, el surfactante captura al aceite y lo mantiene en la solución.

Dispersión es la habilidad del limpiador de romper al aceite en pequeñas gotas y prevenir que se reensamble. En la solución alcalina, los surfactantes y las sales mantienen disperso al aceite en la solución.

DISOLUCIÓN DEL ÓXIDO METÁLICO

La disolución del óxido de la superficie es producto de la reacción directa de las sales alcalinas con el metal de la superficie. Esta disolución busca remover los óxidos indeseables y los contaminantes inorgánicos (ej., escamas producto de la laminación, productos de corrosión y óxidos superficiales).

El tipo de metal a ser limpiado y la concentración, composición y temperatura de la solución limpiadora juegan un papel en la velocidad y el grado de disolución del metal. Deben controlarse estos factores para minimizar la pérdida de metal base. Un exceso en esta pérdida va a producir corrosión localizada en la superficie.



EL ENJUAGUE

Un buen enjuague en agua es esencial para una buena limpieza. La temperatura del agua puede ser caliente, tibia o fría; y debe mantenerse limpia. Es ideal un enjuague con agua tibia, pues el agua fría es menos eficiente y el agua caliente puede promover la formación rápida de una capa delgada de óxido.

3.1.2.3 Métodos de aplicación

LIMPIEZA POR INMERSIÓN

En esta, las piezas a ser limpiadas se introducen en la solución alcalina y se dejan en remojo. Cuando la solución alcalina entra en contacto con las partes a limpiar, las corrientes convectivas (debido al calentamiento o a la agitación mecánica) ayudan a levantar y remover los contaminantes de la superficie del metal. La agitación mejora notablemente la eficiencia de remoción de contaminantes.

LIMPIEZA POR ROCIADO

La efectividad, bajo costo de equipo y el alto grado de flexibilidad asociado con la limpieza por rociado, ha hecho a este método muy popular por muchos años.

Los dos métodos principales por rociado son la limpieza con vapor, en el cual la solución limpiadora es inyectada en una tubería de vapor de alta presión y la limpieza de flujo, en la cual la solución limpiadora inunda a la parte en gran volumen pero a baja presión.



3.1.3 LIMPIEZA ULTRASÓNICA

La energía ultrasónica puede ser usada con varios tipos de limpiadores, pero es comúnmente aplicada con solventes hidrocarbonados clorados, agua y agua con surfactantes. La limpieza ultrasónica, sin embargo es más costosa que otros métodos, debido a los altos costos de los equipos y su mantenimiento; es por esto que su uso se restringe a aquellas aplicaciones en las cuales otros métodos resultan inadecuados.

La limpieza ultrasónica conlleva al uso de ondas sónicas de alta frecuencia (por encima del rango auditivo humano, alrededor de 18 KHz) para remover una amplia variedad de contaminantes de partes inmersas en un medio acuoso. Los contaminantes pueden ser aceite, grasa, componentes de pulido, removedores de molde, etc. Los materiales que pueden ser limpiados incluyen metales, vidrios, cerámicos, etc.

Las aplicaciones típicas del proceso en la industria son la remoción de virutas y aceites de corte usados en procesos de maquinado, remoción de componentes de pulido previos a un recubrimiento y la limpieza de grasas en la reconstrucción de piezas.

La limpieza ultrasónica es suficientemente poderosa para eliminar estos componentes siendo gentil con el sustrato de las piezas. Provee penetración y limpieza excelentes en las grietas más pequeñas y dentro de grietas poco espaciadas.

3.1.3.1 Descripción del proceso

En un proceso llamado cavitación, burbujas microscópicas se forman y crecen debido a ondas de presión alternas negativas y positivas en una solución. Las burbujas sometidas a estas ondas de presión alterna continúan creciendo hasta que alcanzan un estado de resonancia. Justo antes de la implosión de la burbuja hay una inmensa cantidad de energía guardada dentro de esta.



Las temperaturas dentro de una burbuja cavitante pueden alcanzar los 5500° C con presiones de hasta 500 atmósferas. La implosión, cuando ocurre cerca de una superficie dura, cambia a la burbuja en un chorro de aproximadamente un décimo del trabajo de la burbuja, el cual viaja a velocidades de hasta 400 Km/h hacia la superficie en cuestión. Con la combinación de presión, temperatura y velocidad, el chorro libera a los contaminantes de sus uniones con el sustrato. Debido al pequeño tamaño del chorro y a la relativa gran energía, la limpieza ultrasónica tiene la habilidad de alcanzar pequeñas grietas y remover sólidos atrapados muy efectivamente.

3.1.3.2 Generación de ultrasonido

Para producir ondas negativas y positivas de presión en el medio acuoso, es requerido un dispositivo mecánico vibrador. Los fabricantes de equipos ultrasónicos hacen uso de un diafragma adjunto a un transductor de alta frecuencia.

Los transductores, los cuales vibran a sus frecuencias de resonancia debido a la fuente generadora de alta frecuencia eléctrica, inducen vibraciones amplificadas al diafragma. Esta libración amplificada es la fuente de las ondas de presión negativas y positivas que se propagan a través del tanque. La operación es similar a la de un altavoz, solo que ocurre a frecuencias más altas. Cuando las ondas son transmitidas a través del agua producen el proceso de cavitación.

La frecuencia de resonancia del transductor determina el tamaño y magnitud de las burbujas. Los traductores ultrasónicos usados en la industria usan frecuencias entre 20 y 80 KHz. Mientras mas bajas sean las frecuencias más grandes serán las burbujas creadas. Los limpiadores de baja frecuencia van a tender a formar abolladuras más grandes, mientras que los de alta frecuencia formarán burbujas mucho más pequeñas.



3.1.3.3 Equipo

Los componentes básicos de un sistema de lavado ultrasónico incluyen un banco de transductores ultrasónicos montados a un diafragma radiado, un generador eléctrico y un tanque lleno con solución acuosa. Un componente clave es el transductor que genera la energía mecánica de alta frecuencia. Hay dos tipos de transductores ultrasónicos piezoeléctricos y magneto-estrictivos.

TRANSDUCTORES PIEZOELÉCTRICOS

Estos están formados por varios componentes. El cristal cerámico está emparedado entre dos tiras de estaño. Cuando un voltaje es aplicado a través de las tiras, este crea un desplazamiento en el cristal, conocido como efecto piezoeléctrico. Cuando estos transductores son montados en un diafragma el desplazamiento en el cristal causa un movimiento del diafragma, el cual causa una onda de presión a ser transmitida a través de la solución acuosa presente en el tanque. Debido a que la masa del cristal no se ajusta a la masa del diafragma de acero inoxidable, un bloque intermedio de aluminio es usado para mejorar la impedancia para una mejor transmisión de la energía vibratoria hacia el diafragma. El bajo costo de este ensamblaje hace a la tecnología piezoeléctrica deseable para la limpieza ultrasónica.

Desventajas. El problema más común es que el desempeño de la unidad piezoeléctrica se deteriora con el tiempo. Esto puede ocurrir por varias razones. El cristal tiende a despolarizarse a si mismo con el tiempo y con el uso. Lo que causa una sustancial disminución de las características de deformación del cristal. Si el cristal se expande menos, no podrá desplazar al diafragma y ocurrirá una disminución en la energía vibratoria.

Adicionalmente los transductores piezoeléctricos son generalmente montados en el tanque con un adhesivo epóxico, el cual está sujeto a fatiga por las altas frecuencias y altas temperaturas generadas por el transductor y la solución. La unión epóxica se pierde eventualmente, reduciendo al transductor a la inutilidad. La



capacitancia del cristal también cambia con el tiempo y con el uso afectando la frecuencia y causando que el generador este fuera de sintonía con el circuito de resonancia del cristal.

Aunque los transductores piezoeléctricos utilizan un inserto de aluminio para mejorar la impedancia siguen teniendo una masa relativamente pequeña. Este factor limita la energía transmitida al tanque por lo que los fabricantes utilizan entonces diafragmas más delgados en sus tanques. Sin embargo, esto trae inconvenientes: un diafragma delgado sometido a cierta frecuencia tiende a oscilar a frecuencias armónicas superiores, lo que causa implosiones más pequeñas. Otro problema es la erosión causada por la cavitación, lo que puede hacer penetrar la solución a través de un diafragma delgado, dañando así el circuito del transductor y dejando al sistema fuera de servicio.

TRANSDUCTORES MAGNETO-ESTRICTIVOS

Estos son conocidos por su robustez y durabilidad en aplicaciones industriales. Los transductores magneto-estrictivos cero-espacio consisten en láminas de níquel apiladas estrechamente con una bobina eléctrica puesta encima de la pila de láminas de níquel. Cuando la corriente fluye a través de la bobina crea un campo magnético, y el níquel tiene la propiedad única de expandirse o contraerse cuando es expuesto a un campo magnético. Esto es análogo a la deformación del cristal piezoeléctrico. Cuando una corriente alterna es enviada a través de la bobina la pila vibra a la frecuencia de la corriente. La pila de láminas de níquel está adherida al diafragma de acero inoxidable por medio de una soldadura de plata. Esto presenta serias ventajas por encima de la unión epóxica descrita anteriormente, pues crea una unión metálica que no se pierde, eliminando también el efecto amortiguador de la unión epóxica. El uso del níquel no permite la degradación del transductor en el tiempo pues mantiene sus propiedades magneto-estrictivas a un nivel constante. Estos transductores además añaden más masa, lo que incrementa la transmisión de energía



hacia el tanque. Se utiliza un diafragma de 5 mm de espesor o más, lo que elimina el riesgo de erosión del mismo.

Para un mismo voltaje, el transductor piezoeléctrico mostrará más deflexión que el magneto-estrictivo, pero su montaje inferior lo hará menos eficiente que este último.

GENERADOR ULTRASÓNICO

Convierte una frecuencia eléctrica estándar de 60 Hz en las altas frecuencias requeridas para la transmisión ultrasónica, generalmente en el rango de 20 a 50 KHz.

TANQUE

Son generalmente rectangulares y de cualquier tamaño requerido. Los transductores son usualmente colocados en la parte de abajo o a los lados, existen modelos sumergibles que pueden ser colocados directamente en la solución acuosa.

3.1.3.4 Temperatura de la solución

La temperatura de la solución tiene un profundo efecto en la efectividad de la limpieza ultrasónica.

En general, altas temperaturas van a resultar en mayor intensidad de cavitación y en una mayor limpieza. Sin embargo, si la temperatura se aproxima demasiado al punto de ebullición de la solución, el líquido va a ebullicir en las áreas de presión negativa de las ondas sónicas, reduciendo o eliminando la cavitación.

El agua cavita más efectivamente a 70° C; una solución cáustica-acuosa, limpia más efectivamente a 82°C debido al incremento en la efectividad de los químicos a una temperatura más alta. Los solventes deben ser usados a temperaturas de por lo menos seis grados por debajo de sus puntos de ebullición.



3.1.3.5 Consideraciones de limpieza

En un típico sistema acuoso de limpieza ultrasónica, es la(s) etapa(s) de limpieza la que va a remover los contaminantes. La siguiente(s) etapa(s) de enjuague removerá cualquier remanente sólido o residuo de detergente y luego el secador removerá cualquier residuo de agua de enjuague.

El proceso completo del sistema es usualmente determinado experimentalmente.

Tabla 9. Soluciones usadas en la limpieza ultrasónica de partes varias.

MATERIAL	TIPOS DE PARTES	CONTAMINANTES	AGENTE LIMPIADOR
Hierro, acero inoxidable	Fundiciones, estampados, partes maquinadas, alambre estirado, inyectoros diesel	Virutas, lubricantes, óxidos ligeros	Altamente cáustica, con agentes quelantes
	Templadas en aceite, partes automotrices usadas, mallas finas, filtros aglomerados	Aceites y grasas carbonizadas, tiznes de carbón, depósitos pesados de mugre	Altamente cáustica, silicado
	Cojinetes anulares, partes de bombas, cuchillas, válvulas, machuelos de taladrar	Virutas, compuestos de esmerilado, aceites, ceras y abrasivos	Moderadamente alcalino
	Cojinetes de bola, componentes eléctricos que son afectados por el agua	Componentes de pulido y maquinados secundarios	Solvente desgrasante clorado



3.2 DECAPADO ÁCIDO

El decapado ácido consiste en la remoción de las capas de óxido fuertemente adheridas producto de operaciones de conformado en caliente, tratamientos térmicos o soldadura. Debido a que el acero inoxidable, es decapado después de su fabricación este solo será requerido después de operaciones de manufactura posteriores.

Las costras encontradas en el acero inoxidable consisten en óxidos de cromo, níquel y/o otros elementos de aleación (en adición al hierro), y su facilidad de remoción depende de la composición del metal y el tratamiento térmico al cual es expuesto. El problema puede ser mucho más complicado con la presencia de lubricantes. Los lubricantes y otros contaminantes deben ser removidos antes del proceso de decapado.

Cuando el metal es expuesto a gases calientes que contengan oxígeno, una costra pesada es formada. Es una costra pesada porque puede ser rica en oxígeno en la superficie y rica en metal en la base. La mayoría de las costras ricas en oxígeno son solubles en los ácidos de decapado, pero la parte rica en metal puede requerir un medio más agresivo, es por eso que se acostumbra a pasar a la pieza por un baño alcalino o una remoción de costras por medios mecánicos como un chorro abrasivo previo al decapado.

El paso final, incluye la eliminación de las costras y otros defectos de superficie a través de la remoción de la capa de óxido protectora normal y aproximadamente de 25 a 40 μm del metal base decapando la superficie en un baño de ácido Nítrico-fluorhídrico ($\text{HNO}_3\text{-HF}$). La capa protectora se reforma entonces con el aire sobre la superficie limpia. Esta capa de óxido es uniforme y deja a la superficie inoxidable en su condición pasiva normal.

Los aceros inoxidables austeníticos pueden ser decapados por inmersión en un baño de ácido al 10% HNO_3 , 2% HF a 50 °C de 5 a 30 minutos.



3.3 PULIDO ELECTROLÍTICO

3.3.1 GENERALIDADES DEL PULIDO ELECTROLÍTICO

El pulido electrolítico es un proceso en el cual una cantidad de metal es removida de una parte de trabajo al pasar una corriente continua a través de una solución en donde esta inmersa la pieza. Este proceso es inverso a la electro deposición, es decir, en vez de agregarse iones a la pieza de trabajo, es ésta la que añade iones metálicos a la solución.

El pulido electrolítico disminuye muchas de las dificultades encontradas en el pulido mecánico, puesto que este método evita la formación de capas distorsionadas de metal en la superficie desbastada de la probeta. Además, es ideal para la preparación de muchos metales blandos, aleaciones monofásicas y aleaciones que se endurecen fácilmente por deformación, tales como los aceros inoxidable austeníticos. Actualmente se han encontrado electrolitos adecuados para pulir la mayoría de los metales ordinarios y aleaciones.

La calidad de las superficies obtenidas por el pulido electrolítico es igual a la conseguida con un pulido mecánico óptimo y no se produce metal distorsionado que exija repetidos ciclos de pulido y ataque, pudiendo además con este método ahorrar tiempo y hacer más económico el proceso. Esto ocurre también en la preparación en serie de probetas de la misma clase, o en el pulido de probetas demasiado grandes con superficies amplias. Pudiéndose manejar simultáneamente varias probetas, que hayan sido preparadas anteriormente de forma adecuada.

La principal desventaja del pulido electrolítico, es la destrucción total o parcial de las inclusiones no metálicas por reacciones químicas con el electrolito. Este comportamiento es especialmente evidente en las inclusiones que usualmente se encuentran en el aluminio puro comercial, en las aleaciones de aluminio y en el acero. Además, ciertas fases intermetálicas y compuestos con metaloides (por ejemplo, los carburos presentes en el acero), se pueden mostrar en relieve después del pulido



debido a las diferentes velocidades de disolución de los compuestos constituyentes. La presencia de estas fases en relieve, es particularmente molesta en un examen microscópico a muchos aumentos. Otras desventajas de este método de pulido, son el manchado de las probetas montadas en plástico como consecuencia del ataque de estos por algunos electrolitos y la obtención de superficies onduladas en vez de perfectamente planas. En condiciones adecuadas, la ondulación de la superficie es reducida y no perturba el examen microscópico con pequeños o grandes aumentos.

3.3.2 PROCESO DE PULIDO ELECTROLÍTICO

El mecanismo general, está asociado a una disolución anódica, a las aristas salientes y a las protuberancias de las probetas desbastadas, que son eliminadas por disolución selectiva, mientras que los valles existentes entre los salientes quedan protegidos de la disolución, por los productos de la reacción formada o, más probablemente, porque en ellos la velocidad de disolución es mucho menor.

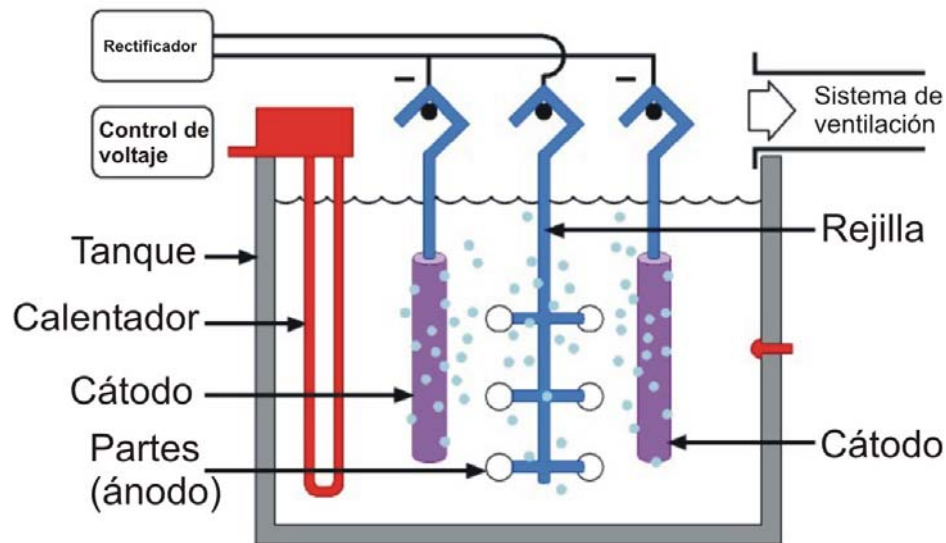


Figura 50. Configuración básica de una celda de electropulido



En la celda electrolítica la probeta desbastada sirve de ánodo y como cátodo se emplea un metal adecuado; a través del electrolito se hace pasar una corriente continua, que es transportada de ánodo a cátodo por los iones del metal de la probeta que se pule. La disolución del metal durante el proceso de electropulido, da lugar a la formación de una capa límite o película de electrolito, inmediatamente próxima a la superficie de la probeta, que posee una composición química diferente y una resistencia eléctrica más elevada que el resto del electrolito. La consideración general de esta película, indica que en las aristas salientes de la superficie dicha capa es más delgada; el gradiente de concentración es mayor y la resistencia eléctrica más baja, que en las porciones de la película que se forma en los valles entrantes. En consecuencia, para el mismo potencial, la densidad de corriente es mayor en los valles salientes que en los valles entrantes y si el potencial aplicado es suficientemente alto, los primeros se disuelven a una velocidad mas elevada que los últimos. Esta diferencia en las velocidades de disolución, origina un alisamiento progresivo, es decir, un pulido de las superficies desbastadas.

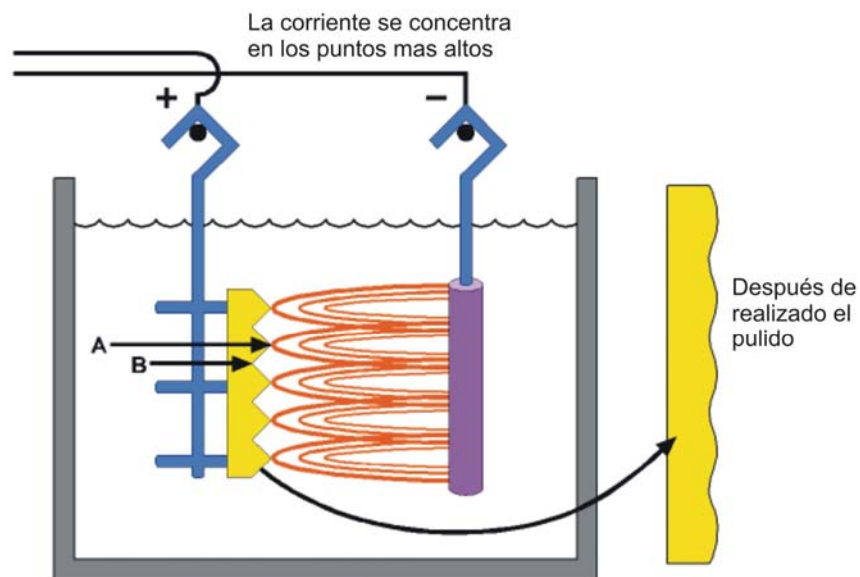


Figura 51. Disolución de los valles salientes, produciendo un acabado pulido.



El factor más importante para el éxito del pulido electrolítico, es la relación entre la densidad de corriente y voltaje, para cada electrolito y disposición general de la celda electrolítica.

Con muchos de los electrolitos empleados se consigue el éxito del pulido sin complicaciones, operando en condiciones tales que una modificación del voltaje no produzca variaciones de la densidad de corriente.

El intervalo de voltaje en que esto ocurre está representado esquemáticamente en la figura 31, por la porción C-D de la curva densidad de corriente-voltaje. En algunos electrolitos recomendados para pulir metales como Volframio, Magnesio y Cinc, la meseta es relativamente amplia cubriendo un intervalo de varios voltios. En otros electrolitos empleados para pulir acero inoxidable y acero ordinario, no existe la presencia de dicha meseta o es muy reducida (de una fracción de voltio) y en consecuencia el voltaje con el cual se obtiene el pulido es crítico. A pesar de ello, se puede pulir con éxito operando con densidades de corriente y voltajes superiores a aquellos para los cuales cesa el ataque, e inferiores a los que da lugar a un abundante desprendimiento de burbujas gaseosas y a un pulido irregular. En la siguiente figura se muestra la curva densidad de corriente - voltaje.

En la región A-B de la figura N° 2, la densidad de corriente aumenta proporcionalmente al voltaje. Esta proporcionalidad corresponde a la formación de una película inestable en la superficie de la probeta, cuya película se deshace por difusión en el electrolito restante a mayor velocidad que la de su formación. En esta región el metal se disuelve sin preferencia por los salientes o los entrantes. La probeta queda mate y atacada, debido principalmente a la reacción química entre la probeta y el electrolito.

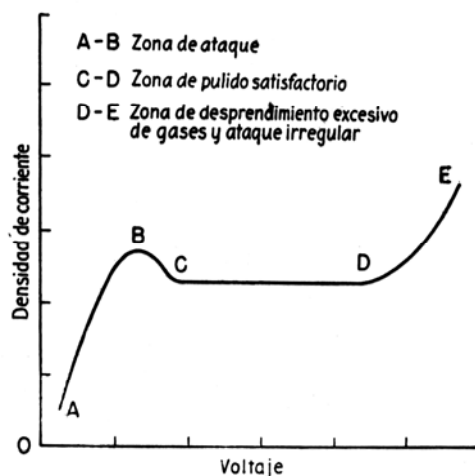


Figura 52 . Curva densidad de corriente-voltaje.

Aunque en la región A-B la película es inestable, tiende a estabilizarse al aumentar el voltaje. Cuando en esta región se alcanza la inestabilidad máxima y la capa límite está próxima a formarse completamente (Punto B), aumenta simultáneamente la resistencia eléctrica y la caída de potencial en la película, produciéndose una pequeña, pero significativa, caída de la densidad de corriente, mostrada por el cambio de pendiente de la curva.

Al aumentar el voltaje, se alcanza una densidad de corriente (Punto C), en el cual se establece un estado de equilibrio, en el que la velocidad de formación de la capa, es igual a su velocidad de difusión en el resto del electrolito. La película está virtualmente saturada en los iones del metal, debido a la velocidad relativamente alta de disolución de la probeta, y al aumentar el voltaje, hasta un cierto valor límite, solo se consigue aumentar uniformemente el espesor de la película. Este incremento de espesor y de la resistencia eléctrica justifica que el aumento del voltaje no produzca un incremento de la densidad de corriente hasta que se llega al punto D. En esta región C-D, es en la que se consigue el pulido satisfactorio con la mayoría de los electrolitos.



Cuando el voltaje sobrepasa el valor límite correspondiente a la región de pulido satisfactorio, se produce abundante desprendimiento gaseoso en la superficie de la probeta (usualmente se desprende oxígeno), que rompe la continuidad de la capa límite tan pronto como se forma. Por esta razón, en la región D-E de la curva, vuelve la densidad de corriente a incrementar proporcionalmente el voltaje. El desprendimiento de gases y la acumulación de burbujas gaseosas en la superficie de la probeta, causan un pulido irregular y una ondulación muy marcada de la superficie.

3.3.3 MECANISMO DE PULIDO ELECTROLÍTICO.

El factor esencial del proceso, es la formación de la capa límite próxima a la superficie, la cual posee características distintas que en el resto del electrolito. Este fenómeno electroquímico, se genera a una velocidad de formación V_f , dicha velocidad se considera en equilibrio, cuando la velocidad de difusión V_D , es igual a la velocidad con la que se genera la capa, en donde se obtiene una capa saturada de iones del metal y a su vez, resulta un proceso de acabado superficial óptimo.

$V_f < V_D$ El metal se disuelve sin preferencias, es decir, tanto en los valles como en las crestas, obteniendo así una probeta con un acabado mate.

$V_f = V_D$ El proceso es exitoso, se obtiene un pulido satisfactorio.

$V_f = V_D$ Se produce abundante desprendimiento de burbujas, ocasionando un pulido irregular (Ondulación de la superficie)



3.3.3.1 Influencia de los parámetros de operación sobre el pulido electrolítico

➤ Composición del Electrolito:

El electrolito deberá contener uno o más iones de radio grande, tal como $(\text{PO}_4)^{-3}$, $(\text{ClO}_4)^{-1}$, o $(\text{SO}_4)^{-2}$, y a veces moléculas orgánicas grandes.

➤ Duración del Pulido Electrolítico:

El tiempo a emplear en el proceso de electropulido dependerá del tipo de electrolito a ser utilizado.

➤ Densidad de Corriente:

La densidad de corriente necesaria para llevar a cabo el proceso de electropulido dependerá del tipo de electrolito seleccionado. De este parámetro dependerá el éxito del proceso.

➤ Temperatura:

Los electrolitos mencionados en las Tablas Nos. I a la VII son destinados para ser usados en un rango de temperatura de 18°C a 38°C, a menos que se indique lo contrario, el aumento en la temperatura puede dificultar el proceso, ya que ésta puede variar la concentración del baño electrolítico.

3.3.3.2 Preparación de la superficie

Para realizar el proceso de pulido electrolítico, se requiere que la superficie a pulir esté químicamente limpia, libre de grasas, aceites, productos corrosivos y de la



capa de óxido natural. Estos son requerimientos básicos para lograr un buen pulido electrolítico.

Este proceso de limpieza puede efectuarse, con cualquier tipo de limpiador que sea apropiado para metales que vayan a ser electropulidos. Aunque el electropulido cumpla con el proceso de limpieza en sí, no es recomendable ya que éste contamina el baño electrolítico con impurezas como aceite, residuos u otros. Dichos compuestos pueden ocasionar que la acción de pulido sea irregular.

Los procesos más comunes, usados actualmente para limpiar las piezas a electropulir de contaminantes orgánicos fueron mencionados en secciones anteriores.

3.3.4 CONDICIONES DE TRABAJO

3.3.4.1 Electrolito

Generalmente, un electrolito debe ser viscoso, ser un buen solvente para el ánodo metálico (espécimen) y durante las condiciones de electrólisis, preferiblemente no deberá atacar el ánodo metálico cuando no exista ningún flujo de corriente.

Esta mezcla debe ser simple, estable, y segura de manejar. Deberá funcionar efectivamente a la temperatura de sala de ensayos y no deberá ser sensible a los cambios de la misma.

La inadecuada elección del electrolito influye en un ataque preferencial sobre las aleaciones multifásicas debido a las diferencias en la potencialidad eléctrica entre las fases, y un ataque químico de las inclusiones no metálicas por el electrolítico. Tanto la elección apropiada del electrolito como la realización del proceso operando en las condiciones adecuadas minimizan estos efectos.



Los electrolitos enumerados a continuación son divididos en siete grupos, los cuales son comúnmente empleados para electropulir acero inoxidable. Su aplicación es limitada para ánodos de acero inoxidable austenítico o súper aleaciones.

Sus componentes químicos se enumeran según el orden a mezclar, a fin de impedir equivocaciones que generen posibles reacciones peligrosas. A menos que se indique lo contrario, los electrolitos se destinan para ser usados en un rango de temperatura de 18 a 38°C (65 a 100°F) y utilizando acero inoxidable como material del cátodo.

Grupo I: (compuestos de HClO_4 y alcohol con o sin adiciones orgánicas) para el uso seguro de la mezcla, se toman las siguientes precauciones:

- Los baños deben prepararse únicamente en pequeñas cantidades y deben almacenarse en botellas de vidrio con tapas.
- El electrolito gastado o debilitado debe desecharse oportunamente.
- No debe permitirse ningún cambio: de la fórmula prescrita, del método o forma de realizar la mezcla, o de la concentración del ácido usado.
- Los electrolitos deberán siempre ser protegidos del calor y el fuego.

Tabla 10. Electrolitos del Grupo I

Clase	Fórmula	Voltaje Celda	Tiempo	Nota
I-1	800 ml etanol (absoluto), 140 ml de Agua destilada (opcional), 60 ml HClO_4 (60%)	30-80	15-60 s	Sirve para electropulir el Aluminio
I-2	800 ml etanol (absoluto), 200 ml HClO_4 (60%)	35-65	15-60 s	Sirve para electropulir el Aluminio
I-3	940 ml etanol (absoluto), 6 ml de Agua destilada, 54 ml HClO_4 (70%)	12-35	15-60 s	-----
I-4	700 ml etanol (absoluto), 120 ml de Agua destilada, 100 ml 2-butoxyetanol, 80 ml HClO_4 (60%)	20-60	-----	Sirve para electropulir el Aluminio
I-5	700 ml etanol (absoluto), 120 ml de Agua destilada, 100 ml de glicerol, 80 ml HClO_4 (60%)	-----	-----	Sirve para electropulir el Aluminio



Grupo II: se componen de HClO_4 y ácido acético glacial en variadas proporciones. Muy poco calor es generado cuando se agrega el HClO_4 al ácido acético mientras se agita. Aunque estas mezclas se consideren seguras para mezclar y usar, se deberá tener un gran cuidado en su aplicación. Las temperaturas no deben exceder 30°C (85°F).

Estos electrolitos son inflamables y deben protegerse contra incendio o la evaporación del ácido acético. Es probable que las partes plásticas se dañen rápidamente por la exposición a tales mezclas.

Tabla 11. Electrolitos del Grupo II.

Clase	Fórmula	Voltaje Celda	Tiempo	Nota
II-1	940 ml ácido acético, 60 ml HClO_4	20-60	1-5 min	muy bueno
II-2	900 ml ácido acético, 100 ml HClO_4	12-70	$\frac{1}{2}$ -2 min	-----
II-3	800 ml ácido acético, 200 ml HClO_4	40-100	1-15 min	Sirve para electropulir el Aluminio

Grupo III: (compuesto de H_3PO_4 en agua o solvente orgánico) son generalmente fáciles de preparar. Al mezclar, el ácido debe verterse lentamente en el agua o el solvente, con agitación constante para impedir la formación de una capa pesada de ácido que reaccione vigorosamente cuando se disuelva en agua. Él hidroliza lentamente en el agua a la temperatura de la sala de trabajo y rápidamente en el agua caliente para formar orto- H_3PO_4 .

Tabla 12. Electrolitos del Grupo III.

Clase	Fórmula	Voltaje Celda	Tiempo	Nota
III-3	300 ml Agua, 700 ml H_3PO_4	1,5-1,8	5-15 min	Cátodo de Cobre
III-6	500 ml ether dietileno glicol monoetil, 500 ml H_3PO_4	5-20	5-15 min	49°C (120°F)
III-11	Etanol (absoluto) para hacer 1000 ml de solución; 400 gr $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$	-----	10 min	38°C (100°F)



Grupo IV se compone de H_2SO_4 en agua o solvente orgánico. La dilución de H_2SO_4 con agua es algo difícil, porque está acompañada por una reacción sumamente exotérmica. El ácido se debe verter siempre lentamente en el agua y agitándolo constantemente para impedir una ebullición violenta. Se deberá tener cuidado con las salpicaduras de esta solución.

Al realizarse el mezclado se deberá vestir con equipos de protección personal adecuados a la solución preparada. Al diluir soluciones de H_2SO_4 estas atacan fuertemente a la piel o ropa. Dichas soluciones son también muy higroscópicas.

Estas soluciones atacan vigorosamente la mayoría de los plásticos; por lo que se recomienda el cloruro de polivinilo como material seguro para el montaje, ya que muestra resistencia satisfactoria.

Tabla 13. Electrolitos del Grupo IV.

Clase	Fórmula	Voltaje Celda	Tiempo	Nota
IV-1	250 ml H_2O , 750 ml H_2SO_4	1.5-6	1-2 min	-----
IV-2	400 ml H_2O , 600 ml H_2SO_4	1.5-6	2-6 min	-----
IV-3	750 ml H_2O , 250 ml H_2SO_4	1.5-6	2-10 min	-----
IV-5	70 ml H_2O , 200 ml de glicerol, 720 ml H_2SO_4	1.5-6	1/2-5 min	-----
IV-6	220 ml H_2O , 200 ml de glicerol, 580 ml H_2SO_4	1.5-12	1-20 min	Sirve para electropulir el Aluminio

Grupo V se componen de ácido crómico y agua (H_2CrO_4). Al disolver el ácido crómico cristalino ó Trióxido de cromo (CrO_3) en agua es muy poco el calor que se genera, en consecuencia disminuye su peligrosidad. El ácido crómico, sin embargo, es un poderoso oxidante y bajo condiciones inseguras, reaccionan violentamente con la materia orgánica o las otras sustancias reductoras.



El ácido crómico generalmente es peligroso y puede ser inflamable en presencia de materiales oxidables. Por seguridad no puede mezclarse con la mayoría de los líquidos orgánicos. Generalmente puede mezclarse con ácidos orgánicos saturados. Las soluciones de ácido crómico no pueden ponerse en contacto con partes plásticas ya que eventualmente pueden ser destruidas. Se deberán tomar medidas de prevención para impedir el contacto directo de estas soluciones con la piel. Repetidas exposiciones con soluciones de CrO_3 o ácido crómico ocasionan llagas persistentes y dolorosas que son difíciles de sanar.

Tabla 14. Electrolito del Grupo V

Clase	Fórmula	Voltaje Celda	Tiempo	Nota
V-1	830 ml H_2O , 620 g CrO_3	1.5-9	2-10 min	-----

Grupo VI (sales o ácidos mixtos en agua o soluciones orgánicas) son seguro de mezclar y usar. Debe procurarse que la mezcla se realice cuidadosamente y en la sucesión especificada. En todos los casos, el ácido debe agregarse al solvente lentamente y con agitación constante. Si H_2SO_4 está contenido en la fórmula, debe agregarse de último y con extremo cuidado.

Si HF o fluoruros están contenidos en la fórmula del electrolito, los estanques usados deberán hacerse de polietileno u otros materiales que sean resistentes al HF. Se deberá tener particular precaución para evitar el contacto del ácido fluorhídrico con la piel, la exposición con éste puede ocasionar quemaduras severas.

La mezcla de electrolitos que contenga (AlCl_3), debe realizarse con extremo cuidado. La reacción entre este compuesto y el agua, es explosiva. El ácido crómico no puede mezclarse sin riesgo, con la mayoría de los líquidos orgánicos, pero puede mezclarse con ácidos orgánicos saturados. Debe impedirse el contacto de la sustancia con la piel.



Tabla 15. Electrolitos del Grupo VI.

Clase	Fórmula	Voltaje Celda	Tiempo	Nota
VI-1	600 ml H ₃ PO ₄ (85%), 400 ml H ₂ SO ₄	-----	-----	-----
VI-2	150 ml H ₂ O, 300 ml H ₃ PO ₄ (85%), 550 ml H ₂ SO ₄	-----	2 min	0.3 A/cm ²
VI-3	240 ml H ₂ O, 420 ml H ₃ PO ₄ (85%), 340 ml H ₂ SO ₄	-----	2-10 min	0.1-0.2 A/cm ²
VI-4	330 ml H ₂ O, 550 ml H ₃ PO ₄ (85%), 120 ml H ₂ SO ₄	-----	1 min	0.05 A/cm ²
VI-7	140 ml H ₂ O, 100 ml de glicerol, 430 ml H ₃ PO ₄ (85%), 330 ml H ₂ SO ₄	-----	1-5 min	1-5 A/cm ² ; 38 °C
VI-8	200 ml H ₂ O, 590 ml de glicerol, 100 ml H ₃ PO ₄ (85%), 110 ml H ₂ SO ₄	-----	5 min	1 A/cm ² ; 27 a 49°C
VI-9	260 ml H ₂ O, 175 gr de CrO ₃ , 175 ml H ₃ PO ₄ (85%), 580 ml H ₂ SO ₄	-----	30 min	0.6 A/cm ² ; 27 a 49°C
VI-10	175 ml H ₂ O, 105 gr de CrO ₃ , 460 ml H ₃ PO ₄ (85%), 390 ml H ₂ SO ₄	-----	60 min	0.5 A/cm ² ; 27 a 49°C
VI-11	245 ml H ₂ O, 80 gr de CrO ₃ , 650 ml H ₃ PO ₄ (85%), 130 ml H ₂ SO ₄	-----	5-60 min	0.5 A/cm ² ; 38 a 54°C
VI-13	210 ml H ₂ O, 180 ml HF, 610 ml H ₂ SO ₄	-----	5 min	0.5 A/cm ² ; 21 a 49°C
VI-15	260 ml H ₂ O ₂ (30%), 240 ml HF, 500 ml H ₂ SO ₄	-----	5 min	0.5 A/cm ² ; Precaución: Peligroso
VI-16	520 ml H ₂ O, 80 ml HF, 400 ml H ₂ SO ₄	-----	½-4 min	0.08 a 0.3 A/cm ² ;
VI-17	600 ml H ₂ O, 180 gr CrO ₃ , 60 ml HNO ₃ , 3 ml HCl, 240 ml H ₂ SO ₄	-----	-----	-----

Grupo VII es una mezcla de metanol y HNO₃. Con la manipulación cuidadosa, HNO₃ puede mezclarse sin riesgo con el metanol. El ácido se deberá agregar gradualmente al alcohol con agitación constante. El ácido nítrico no puede mezclarse sin riesgo con el etanol o alcoholes más altos, excepto en soluciones no más fuertes del 5% volumen de HNO₃.

Si los químicos son puros, la mezcla de HNO₃ y metanol es bastante estable, siempre que no se caliente. La mezcla no debe almacenarse en un recipiente cerrado. Aún en condiciones seguras, esta solución es sumamente inestable y explosiva. Pueden formarse los compuestos nitro, ácidos, o fulmina. La descomposición



espontánea de la mezcla puede también ser catalizada por impurezas o calentamiento. El electrolito debería desecharse inmediatamente después del uso.

Para algunas aplicaciones, el grupo VII de electrolitos es sumamente útil, pero a causa de su naturaleza peligrosa, debe usarse únicamente cuando sea necesario.

Tabla 16. Electrolito del Grupo VII .

Clase	Fórmula	Voltaje Celda	Tiempo	Nota
VII-1	600 ml Metanol (absoluto), 300 ml HNO ₃	40-70	10-60 s	Utilizarlo únicamente cuando sea necesario ya que es muy peligroso

3.3.4.2 Tanques

La celda electrolítica es simplemente un recipiente que contiene el electrolito en donde el cátodo y el ánodo están suspendidos. En la mayoría de los casos la celda se fabrica en acero inoxidable 316L, doblemente soldado, por dentro y por fuera. El acero inoxidable resiste altas temperaturas que pueden ser generadas en el proceso de electropulido, pudiendo en algunos casos convertir la celda en un cátodo, por ello frecuentemente este tipo de celda debe rodearse con un baño de agua o de hielo a fin de disminuir la temperatura del electrolito.

La celda también puede construirse con polietileno o polipropileno, comúnmente de $\frac{3}{4}$ a 1 pulgada de espesor. Este tanque resiste temperaturas de 80 – 90°C y puede usarse para soluciones que contengan iones de fluoruro.

La forma y el tamaño de la celda de electropulido dependen de las dimensiones de las piezas a ser electropulidas, cátodos, calentadores eléctricos de inmersión o enfriadores de espiral, así como de los tipos de sistemas de agitación.



3.3.4.3 Ánodos y cátodos

Por definición, el cátodo de una celda electroquímica es el electrodo en el cual se produce la reducción, mientras que el ánodo es el electrodo en el cual tiene lugar la oxidación. Estas definiciones se aplican en las celdas galvánicas y en las electrolíticas.

Para el proceso de electropulido se considera el acero inoxidable 316L como el metal del ánodo (pieza a ser pulida).

La conveniencia del tipo del metal para el cátodo, depende del tipo de electrolito y del metal que va a ser electropulido (ánodo), usualmente está compuesto por acero inoxidable 316L.

El espaciamiento entre el cátodo y el ánodo, debe ser suficiente para permitir la agitación del electrolito, a fin de mantener uniforme la temperatura de éste.

Durante el proceso de electropulido en el ánodo el hierro se oxida en la valencia +3, el níquel en +2 y el cromo en +6. En el cátodo el hierro se reduce a +2 y el cromo a +3.

3.3.4.4 Agitación

Para muchas aplicaciones, la agitación del electrolito es necesaria, ya que durante el proceso de electropulido los productos de reacción del ánodo se acumulan sobre la superficie del metal pulido. Frecuentemente, los procesos naturales de convección y difusión no pueden quitar estos residuos de la superficie del ánodo y estos productos acumulados interfieren con el proceso de electropulido.

La agitación acelera la remoción de estos productos, impide un calentamiento localizado en la superficie, manteniendo una temperatura uniforme en el baño, además remueve las burbujas de gas que se pueden adherir a la superficie. Sin



embargo, el uso de la agitación comúnmente requiere de un aumento en la intensidad de corriente para mantener una película de pulido lo suficientemente gruesa.

Usualmente se coloca una línea de aire diagonal sobre el fondo de la celda de electropulido para remover la solución electrolítica, previniendo estratificación de temperatura. Es importante destacar que el aire no debe ser usado debajo de las partes que van a ser electropulidas.

La agitación puede ser efectuada por medio de agitadores mecánicos, con recirculación del electrolito a través de un sistema de bombeo.

Para obtener resultados efectivos y un electropulido uniforme también puede usarse una varilla en movimiento simple oscilante. Siendo necesario realizar un cambio de dirección en el movimiento, a una velocidad de 15 a 25 rpm, con una longitud de desplazamiento de 6 a 15 cm. Sin embargo, el alcance y el valor del movimiento dependen del tamaño y forma de las piezas de trabajo. Para determinar las mejores condiciones de agitación, es recomendable realizar una serie de ensayos.

3.3.4.5 Intensidad de Corriente y Voltaje

Los rectificadores son la fuente más ampliamente usada para suministrar corriente directa al proceso de electropulido. El voltaje necesario para realizar el electropulido generalmente se encuentra en el rango de 0,5 a 18 V, dependiendo de:

- La temperatura del electrolito.
- La distancia que existe entre el ánodo y el cátodo.
- El número de amperios por litro de electrolito.
- La densidad actual para electropulir.
- La agitación.
- La gravedad específica (o viscosidad) del baño y la concentración de metales disueltos por efecto del electropulido.



3.3.4.6 Ventilación

Debido a que el proceso de electropulido no es efectivo en un 100%, durante el mismo se presenta desprendimiento de oxígeno en el ánodo y de hidrógeno en el cátodo. Ambos gases (O_2 y H_2) rompen en la superficie del baño con la velocidad suficiente para escapar como una neblina fina, por lo tanto, se debe proveer de un sistema de ventilación adecuado para proteger la atmósfera del área de trabajo.

3.3.4.7 Requerimientos de Potencia

El equipo eléctrico utilizado para el electropulido puede variar desde el arreglo más simple, utilizando pilas secas, a conjuntos más complejos conformados por rectificadores y equipos electrónicos de control. La selección del equipo apropiado va a depender del número y tipo de material de la pieza de trabajo a ser tratada, así como de la versatilidad y el tipo de control deseado.

El rectificador se equipara generalmente al tamaño de la celda de electropulido. Si el tanque es enfriado por agua no se debe usar más de 5 Amperios/galón.



Figura 53. Estación de electropulido con etapas de limpieza previa

3.3.4.8 Limitaciones del proceso

El acabado superficial, composición y forma original de la pieza de trabajo, así como el equipo a ser utilizado, influyen en la calidad del proceso de pulido electrolítico

➤ Acabado Superficial

Las irregularidades en la superficie del material, afectan el acabado final que se desea obtener, impidiendo así, alcanzar una superficie pulida uniformemente en la pieza de trabajo.

➤ Composición y forma de la superficie de trabajo

Un proceso de pulido electrolítico exitoso dependerá de las características de la pieza a ser pulida ya que los resultados están influenciados por el tamaño de grano



de la aleación, la porosidad, las dimensiones y forma física de la pieza de trabajo. Las distintas aleaciones y metales requieren diferentes soluciones y condiciones para proceder a emplear el proceso de pulido electrolítico.

➤ **Equipo utilizado**

El control de voltaje e intensidad de corriente debe ser preciso ya que dicho parámetro define en que región de trabajo se encuentra el proceso, (figura 31) (curva intensidad de corriente - voltaje). El equipo de trabajo (fuente de poder) deberá proporcionar la densidad de corriente y voltaje necesarios para alcanzar el pulido satisfactorio, ya que de estos depende el éxito del proceso de pulido electrolítico.

3.4 MARCADO LÁSER

En un láser, cuya sustancia activa puede ser un gas, un líquido o un sólido, se excita un gran número de átomos hasta un nivel elevado de energía y se hace que liberen dicha energía simultáneamente, con lo que producen luz coherente en la que todas las ondas están en fase. Esta coherencia permite generar haces de luz muy intensos y de longitud de onda muy definida, que se mantienen enfocados o colimados a lo largo de distancias muy grandes. La luz láser es mucho más intensa que la de cualquier otra fuente. Un láser continuo puede proporcionar cientos de Watts, y un láser pulsado puede generar millones de watts durante periodos muy cortos.

3.4.1 Láser Nd-YAG

La otra fuente de luz que se ha empleado es un láser de Nd-YAG capaz de producir un pulso de luz muy estrecho (FWHM 0.5 ns). Los láseres de neodimio pertenecen a la familia de los láseres de estado sólido. El neodimio se comporta como una impureza en un cristal de otro compuesto con iones de aproximadamente el



mismo tamaño, el YAG ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$), un cristal sintético. El dopaje con neodimio se realiza en concentraciones del orden de 10^{20} átomos por cm^3 de cristal. La emisión láser del Nd-YAG se produce en el infrarrojo, a 1064 nm, con una anchura de unos 0.45 nm. La vida media del estado excitado es de 240 μs . En el láser, el bombeo de energía se realiza con un diodo. Se consiguen pulsos luminosos muy cortos utilizando el mecanismo de *Q-switch* pasivo. Este mecanismo consiste en variar de forma drástica el factor de calidad Q :

$$Q = \frac{\text{Energía almacenada por paso}}{\text{Energía disipada por paso}}$$

Al pasar de un Q muy bajo a uno alto de forma repentina, se consigue una alta inversión de población, emitiéndose un pulso luminoso de gran intensidad y de corta duración. En este láser, un material absorbe la energía luminosa en el medio hasta que se satura y ya no es capaz de aceptar más. En ese momento cambian sus propiedades ópticas volviéndose transparente y deja escapar el pulso láser. Para conseguir la emisión de luz en el visible, el láser incorpora un cristal doblador que divide la longitud de onda a la mitad. Se consiguen así pulsos láser de 532 nm (verde) a partir de los pulsos de 1064 nm (infrarrojo).

Tipos de sistemas.

1. Arreglo de diodos pulsados: Estos son usados para bombear algunos sistemas, incluyendo a los AO (acústico ópticos) Q-conmutados y EO(Electro ópticos). Generalmente, el arreglo de los diodos se enciende en un tiempo de 100 a 300 microsegundos. Este tipo de arreglo, si se opera correctamente, puede tener una vida útil de varios billones de pulsaciones.

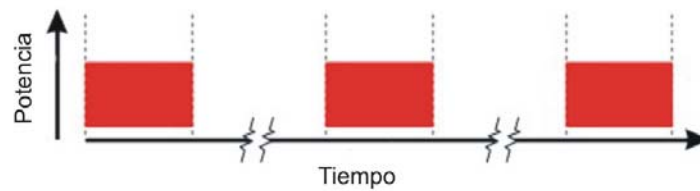


Figura 54. Gráfica potencia-tiempo de un arreglo de diodos pulsados

2. Modo de pulsado largo: En estos, el láser emite pulsaciones que son controlables en un rango de 0 a 350 microsegundos. Generalmente, hay mayor energía en el borde de la pulsación.

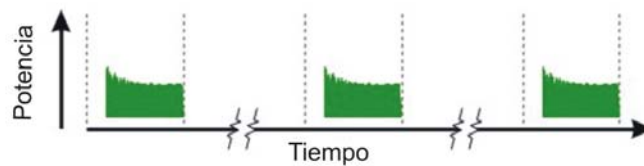


Figura 55. Gráfica potencia-tiempo de un arreglo de diodo pulsado largo

3. EO Q-conmutado, diodos pulsados: Pueden emitir pulsaciones con longitudes de 5 a 50 nanosegundos. En esta instancia, la energía es guardada en el medio del láser y es expulsada de este por el conmutador Q electro óptico. Este tipo de láseres pueden ser operados en frecuencias de 1 hasta 1000 Hz.

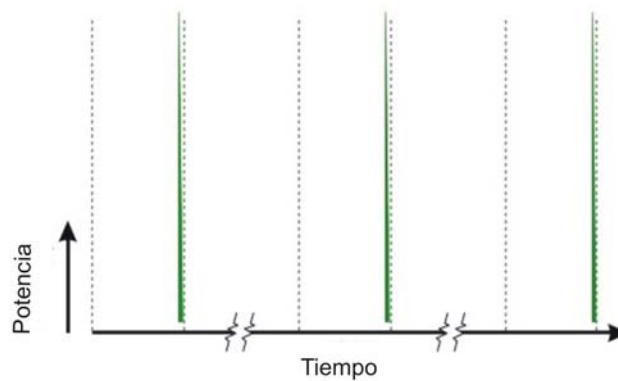


Figura 56. Gráfica potencia-tiempo de un arreglo de diodos pulsados EO Q-conmutado

4. AO Q- conmutado: Este láser opera idénticamente al descrito en el renglón 2, excepto que durante el pulso largo, el conmutador causa que el láser emita pulsos (entre 1 y 1000 Hz) durante el tiempo en el cual el láser permanece encendido. El láser puede ser operado hasta 2000 estallidos por segundo. La ventaja de este sistema es que emplea arreglos de diodos y permite al usuario alcanzar potencias pico significativamente más altas. Este sistema es bien adecuado para tareas de micromaquinado.

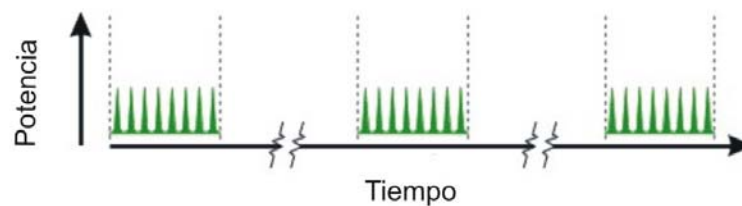


Figura 57. Gráfica potencia-tiempo de un arreglo de diodos pulsados AO Q-conmutado



3.4.2 Beneficios del láser pulsado con diodos

Esta tecnología presenta muchos beneficios en comparación con otros tipos de láser, entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

- **Fiabilidad:** Los arreglos de diodos (a diferencia de las lámparas relámpago) no se queman súbitamente, si no que se degradan lentamente con el pasar del tiempo, pudiendo llegar a más de 20000 horas de operación.
- **Eficiencia:** Los arreglos de diodos son mucho más eficientes que los láseres de lámpara. Por ejemplo, la luz de un arreglo de diodos Nd: YAG es sintonizada a $808 \text{ nm} \pm 3 \text{ nm}$ que es donde el cristal YAG absorbe el mayor porcentaje de luz, contrario a una lámpara que hace salir una amplia fuente de luz blanca, el 95% de la cual se convierte en un desperdicio de calor.

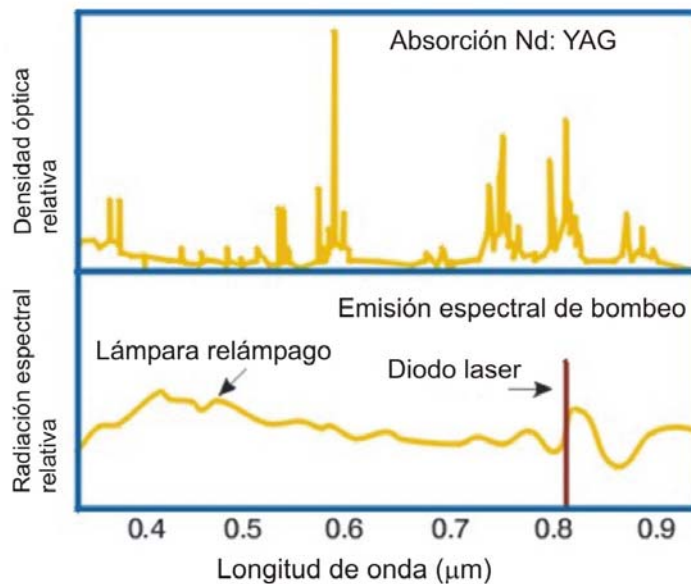


Figura 58. Eficiencia de un láser pulsado por diodos



- Bajos requerimientos de voltaje: Los arreglos de diodos requieren mucho menos voltaje que un arreglo similar de lámpara. La potencia de entrada necesaria es aproximadamente el diez por ciento del necesario para un arreglo equivalente de lámpara.
- Diseño compacto.
- Calidad de emisión superior.
- Perdidas mínimas de calor.
- Durabilidad.

3.4.3 Características de un equipo de marcado láser Nd: YAG

El principio físico en el que se basa la generación de luz láser es el fenómeno de emisión estimulada de luz. La palabra LASER es el acrónimo de Light Amplification By Stimulated Emission of Radiation (Amplificación de luz por emisión estimulada de radiación). Esto significa que el láser es luz amplificada por una emisión fotonica encadenada, originado por un fotón inicial (partícula de luz) el cual, cuando interactúa con el sistema atómico excitado, estimula la emisión de dos fotones y estos a su vez, interactuando con otros átomos, generan una reacción en cadena.

La característica especial del láser en estado sólido radica en el sistema de pulsado óptico del resonador. A diferencia de los sistemas convencionales, el pulsado ocurre por medio de un diodo láser en vez de una lámpara de destello. Este sistema de pulsado permite una mayor eficiencia modal y una menor emisión de calor, características que reducen considerablemente el tamaño del resonador y todas las demás partes que conforman el láser. La intensidad del haz láser que sale del resonador puede ser modulado y permite marcar distintos tipos de material, como por ejemplo plástico y acero. El proceso de marcado se lleva a cabo en un programa instalado en un computador conectado a la máquina.



La utilización del diodo láser ha traído como consecuencia un aprovechamiento del láser que va desde un treinta hasta un cincuenta por ciento, comparado con un tres por ciento en las lámparas de destello. Es por eso que esta fuente láser solo consume solo doscientos watts aproximadamente y no necesita sistemas de refrigeración complejos.

La potencia disponible permite un excelente marcado en todo tipo de material. La calidad del haz láser alcanza el límite teórico de difracción, permitiendo alcanzar un alto grado de exactitud, con una resolución de 100/10000 puntos por milímetro.

La radiación láser es una emisión electromagnética con una longitud de onda micrométrica la cual se encuentra (para el laser Nd:YAG) cerca del infrarrojo. Esta radiación debe considerarse no ionizante. En este tipo de láser, la emisión de una barra cristalina es excitada por un “pulsado óptico” generada por un poderoso diodo láser. El continuo rebote de fotones entre dos espejos ocasiona una reacción en cadena haciendo incrementar el número de estos casi instantáneamente hasta alcanzar la concentración requerida, luego se produce un haz colimado emitido por el espejo semireflectivo ubicado en la parte frontal del resonador. La radiación (la cual puede ser imaginada como un haz de luz invisible) es entonces enfocada por medio de lentes hacia un punto en donde la intensidad se incrementa de tal forma que reacciona con distintos materiales alterándolos térmicamente.

PARTES DEL EQUIPO DE MARCADO

- 1) Lentes ópticos.
- 2) Cabezal explorador. Tiene, en su parte interior, dos espejos controlados por motores galvanométricos, los que le permiten al equipo realizar el marcado en coordenadas específicas (x,y).
- 3) Convertidor A/D.
- 4) Cable de señal para los motores galvanométricos.



- 5) Resonador. Contiene las partes ópticas del equipo.
- 6) Suministro de potencia para los motores galvanométricos.
- 7) Fibra óptica.
- 8) Cajetín. Contiene los componentes eléctricos del laser. Adentro se encuentra el diodo láser.
- 9) Cable DSP.
- 10) Tarjeta PnP (con procesador DSP) para controlar todos los parámetros y señales del marcado.
- 11) Computadora personal.
- 12) Programa de marcado.
- 13) Disco con los archivos de configuración.

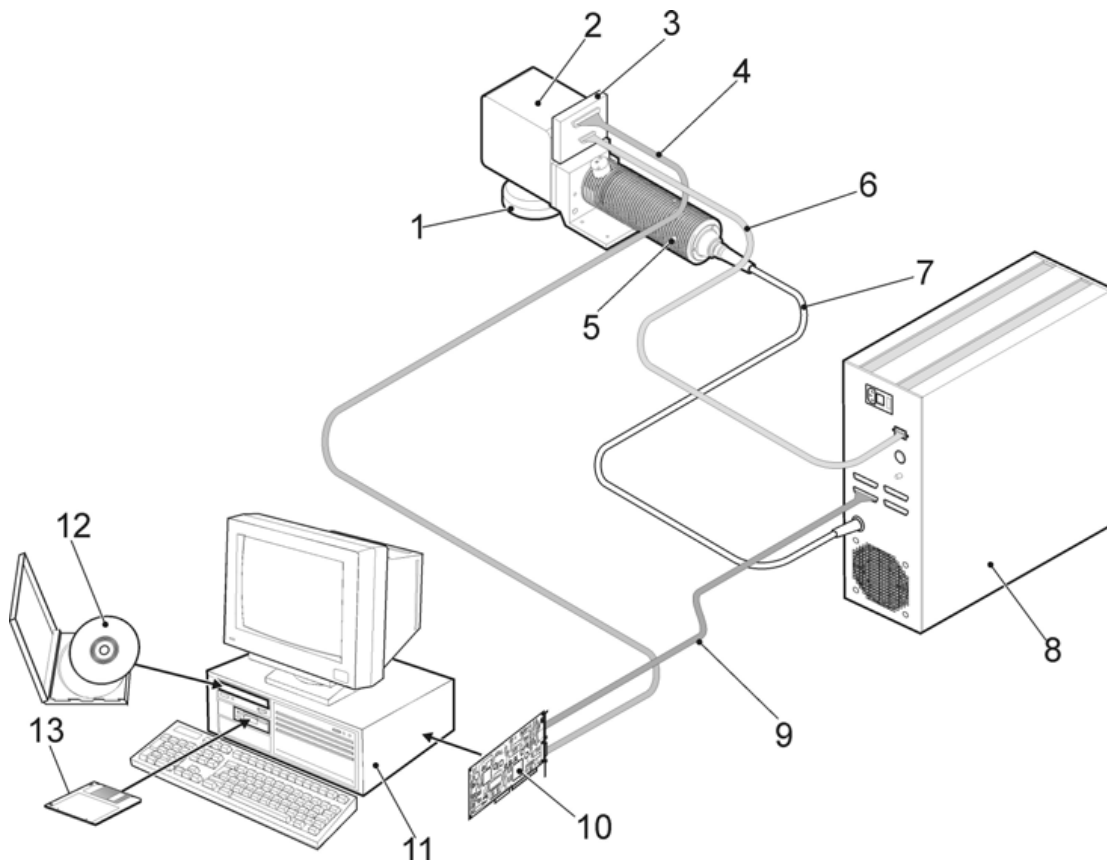


Figura 59. Componentes de un equipo de marcado láser.



PARTES DEL CAJETÍN

- 1) Fibra óptica que transporta el haz láser de 600 μm .
- 2) Control de frecuencia de radio para el interruptor Q.
- 3) Tarjeta gobernadora. Genera los voltajes necesarios para el marcado.
- 4) Diodo láser.
- 5) Enfriador.
- 6) Sumidero de calor.

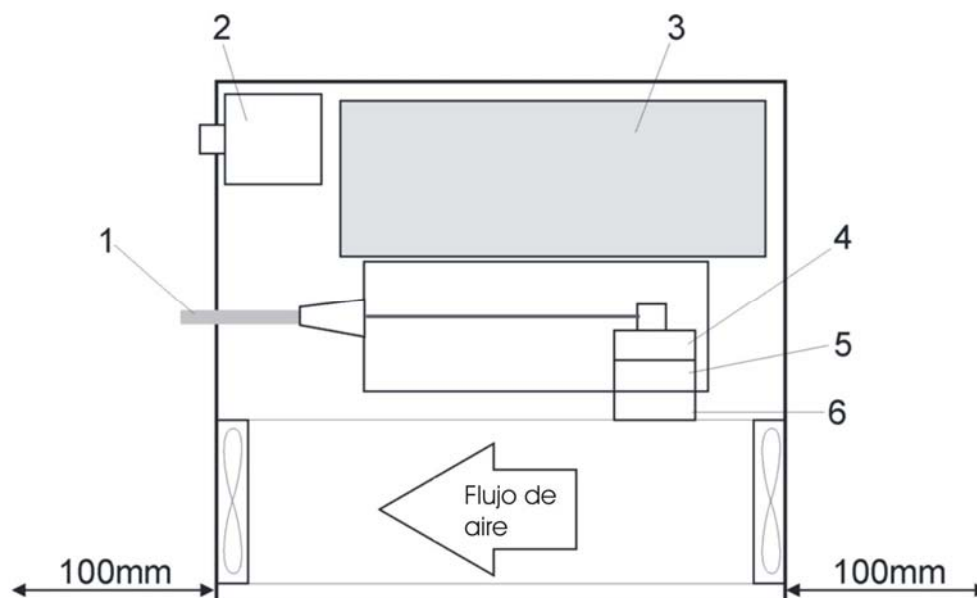


Figura 60. Partes del cajetín.

ESTRUCTURA DE LA PARTE ÓPTICA DEL EQUIPO DE MARCADO LÁSER

Para excitar el sistema atómico se necesita una fuente externa de energía en la forma adecuada para inducir el efecto láser. El pulsado láser se logra cuando la luz emitida por la fuente luminosa, al atravesar el material activo (capaz de emitir láser,



en este caso un cristal de Neodimio), excita a los átomos por medio de la absorción de energía luminosa.

La amplificación del láser es lograda haciendo que la luz emitida pase varias veces a través del mismo material activo. Esto se hace colocando al material activo entre dos espejos opuestos, a este arreglo se le denomina resonador. Cuando el resonador está perfectamente alineado, el cristal y los espejos están centrados en el eje óptico. Las superficies del cristal, el espejo frontal y la parte plana del espejo posterior son paralelos. En esta configuración, se alcanza la máxima extracción de láser, el haz es circular y de densidad aproximadamente uniforme.

El interruptor Q es un dispositivo adicional óptico/acústico colocado entre el cristal y el espejo frontal y oscila a una frecuencia de radio manejada por el operador (también puede fijarse). Este actúa como un interruptor óptico, el cual impide el flujo regular y constante de fotones. Cuando esta “cerrado” permite que el nivel de excitación del cristal aumente; al “abrirlo” permite que la energía emergente sea mucho mayor que la promedio (un resonador sin interruptor).

Luego de ser generado, el láser viaja a través de fibra óptica hacia los espejos galvanométricos presentes en el cabezal explorador los cuales lo redirigen hacia las coordenadas requeridas para realizar el marcado.

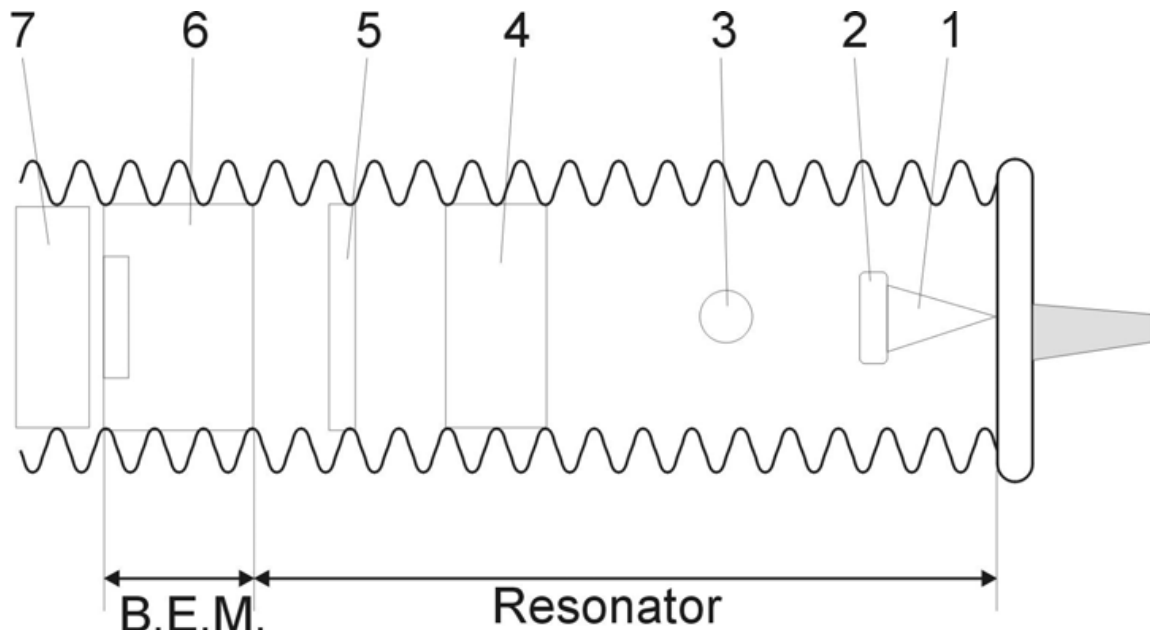


Figura 61. Partes del resonador.

- 1) Luz emitida por la fibra óptica.
- 2) Lente enfocador.
- 3) Espejo posterior.
- 4) Cristal.
- 5) Interruptor Q.
- 6) Espejo frontal
- 7) B.E.M. Modulo expensor del haz. Incrementa el diámetro del haz láser.

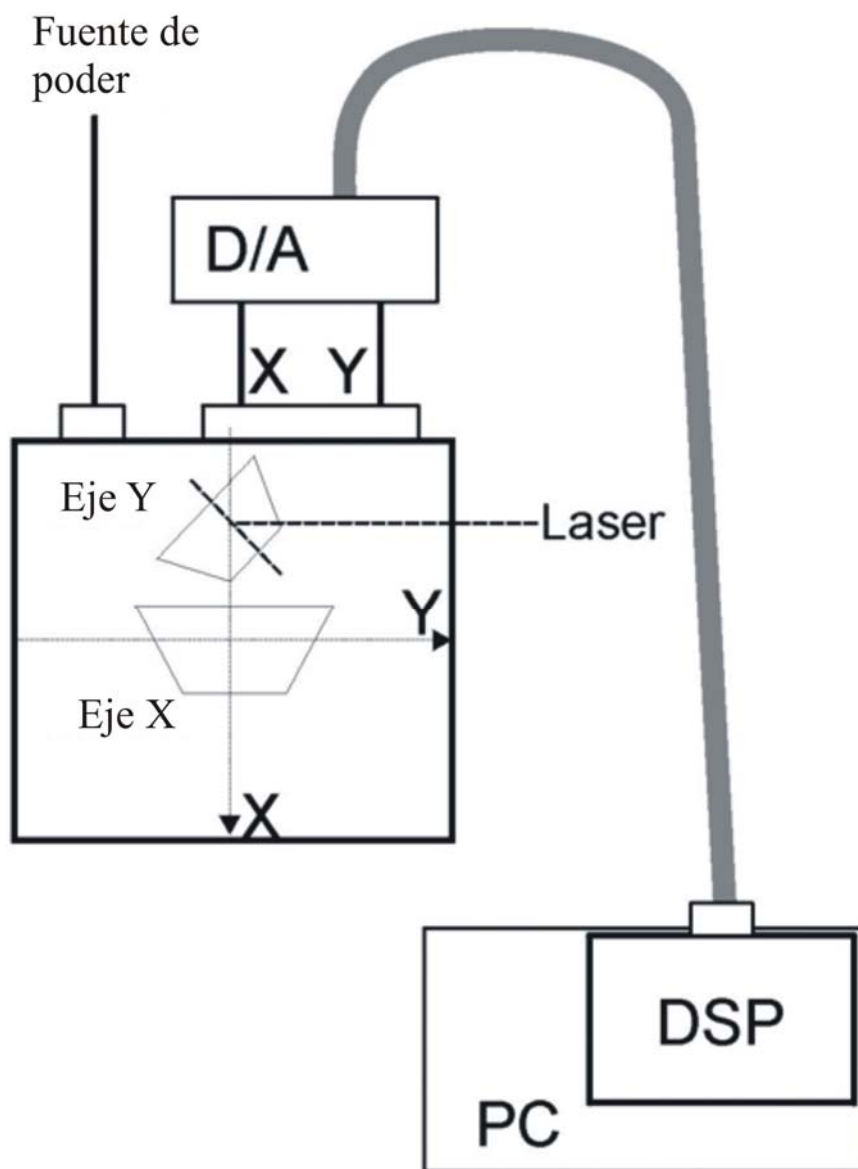


Figura 62. Componentes del cabezal explorador.



CAPITULO 4

SELECCIÓN DE LOS PROCESOS DE MECANIZADO



4.1 SELECCIÓN DEL PROCESO DE ROSCADO

Se seleccionará el proceso más indicado para la elaboración de la rosca de los clavos de Schanz tomando en cuenta el perfil requerido de rosca, el acabado superficial y la producción promedio de cada uno de los procesos para nuestra aplicación, es decir, roscado de barras de acero inoxidable AISI 316 LVM con diámetros menores a los 5 mm. Los procesos disponibles en el mercado son los explicados anteriormente en el capítulo 2. Se analizarán cada uno de estos procesos por separado desde el punto de vista técnico, para luego analizar aquellos escogidos desde un punto de vista económico y así poder diseñar el proceso de fabricación en serie, el cual es el objetivo principal de este trabajo.

4.1.1 ROSCADO POR LAMINACIÓN

El roscado por laminación es el proceso más versátil y económico para realizar roscas, esto lo convierte en el método preferido, a nivel mundial, a la hora de realizar cualquiera de los perfiles de rosca más comunes en el mercado. Gracias a esto, se había considerado la primera opción para la realización de la rosca de los clavos de Schanz. A continuación se enumerarán las ventajas y desventajas del roscado por laminación.

VENTAJAS

- Al ser un proceso de conformado en frío, el roscado por laminación aumenta la resistencia a la fatiga del material.
- Al fluir el material por los dados de laminación, su estructura granular se deforma, no se rompe, como en los procesos de remoción de material. Creando líneas continuas a lo largo de la cresta de la rosca. Esto incrementa sustancialmente las propiedades mecánicas del material.



- Se logra un acabado superficial muy superior a la obtenida en los procesos de corte más comunes, la rugosidad superficial en las roscas laminadas se encuentra usualmente dentro de un rango entre 0,20 y 0,6 μm , además de una superficie libre de grietas y marcas de herramienta.
- Debido a su alta productividad y bajo costo de los equipos, es un proceso sumamente atractivo desde el punto de vista económico.

DESVENTAJAS

- La posibilidad de formar costuras en la cresta de la rosca. (Ver Capítulo 2, sección 2.1.3)
- Debido a las características del acero inoxidable 316 LVM, es difícil lograr el perfil de rosca requerido (rosca cortante) por medio de laminación.
- El proceso de laminado puede imprimir en la superficie del material impurezas de tal manera, que es casi imposible eliminarlas con los métodos de limpieza descritos en este trabajo. Estas impurezas podrían liberarse causando reacciones e infecciones en el hueso del paciente.

No obstante este proceso tiene una alta productividad y comparativamente bajos costos, las informaciones obtenidas durante la ejecución de este trabajo proscriben el uso de este proceso para el tallado de roscas por las implicaciones expuestas en las desventajas arriba mencionadas.

4.1.2 ROSCADO CON ESMERIL



En algunas oportunidades, las roscas son esmeriladas en lugar de ser cortadas o laminadas.

VENTAJAS

- Posibilidad de roscar metales de gran dureza, por encima de los 36 Rc.
- Excelente acabado superficial, entre 0,1 y 0,3 μm .
- Gran precisión, alcanzando cualquier perfil de rosca deseado.

DESVENTAJAS

- Poca flexibilidad, comparado con los procesos de corte de punta única.
- Elevadísimo costo de equipos (máquinas dedicadas), lo cual justifica su uso solo para materiales de gran dureza que no puedan ser cortados o laminados.

4.1.3 ROSCADO CON UNA MÁQUINA FRESADORA

Es un método de corte usado para fabricar piezas roscadas en una máquina fresadora de roscas. Las herramientas de corte pueden ser de formas simples o múltiples y son usadas en fresadoras de roscas tradicionales o planetarias. Este proceso ofrece múltiples ventajas con respecto a otros procesos de roscado.

VENTAJAS

- Ofrece una rosca mejor acabada y mas exacta que en un machuelo o dado.



- Es más eficiente que usar un torno de herramienta única.
- Si la rosca deseada tiene un paso muy grueso para ser cortado con un dado, el fresado es una mejor opción.
- Si la rosca deseada esta cerca de un cambio de diámetro u otro tipo de interferencia, el fresado de roscas es el método más práctico a utilizar.
- Se obtiene un acabado superficial cercano a $1,4 \mu\text{m}$.

DESVENTAJAS

- Baja productividad, al ser comparado con el roscado por laminación y el esmerilado de roscas.

4.1.4 MECANIZADO DE ROSCAS EN TORNO

El mecanizado de roscas en tornos convencionales, sean o no controlados numéricamente, tienen las siguientes ventajas y limitaciones.

VENTAJAS

- Gran versatilidad, pudiéndose lograr cualquier perfil de rosca deseado.
- Gran flexibilidad, un torno no es una máquina exclusiva para fabricar roscas, lo que disminuye su costo, al poder producir varios tipos de parte.
- Posibilidad de mecanizar hasta los metales más duros, con la herramienta apropiada.



- Se pueden realizar roscas en tornos de precios mucho más bajos que los necesarios para otros procesos.

DESVENTAJAS

- Siendo los clavos de Schanz piezas esbeltas cuando comparamos su pequeño diámetro con su longitud, muestran una marcada tendencia a pandearse ante la fuerza de corte introducida por la cuchilla. Esta circunstancia se ve incrementada por el material de trabajo que es un acero inoxidable austenítico endurecido superficialmente por el trefilado previo. Para evitar la deflexión de piezas largas, el roscado debe realizarse en varias pasadas, de forma de disminuir las fuerzas de corte, lo cual aumenta los tiempos de mecanizado enormemente.
- De los procesos descritos anteriormente, el roscado en torno es el proceso más lento de todos.
- Acabado superficial en un rango entre 1,63 y 3,18 μm , inferior al acabado obtenido en otros procesos.

Debido a estas desventajas, se recomienda el roscado en torno tipo suizo (descrito en el capítulo 2), el cual ofrece un segundo apoyo, ideal para el mecanizado de piezas de pequeña sección como los clavos de Schanz.

4.1.5 ROSCADO CON DADO

El roscado con dado es un proceso de maquinado para el corte de roscas externas en superficies cilíndricas o cónicas, mediante el uso de dados sólidos o auto-aperturables.



VENTAJAS

- El roscado con dado es un método más lento para producir roscas externas que el laminado de roscas, pero es más rápido que el roscado de punta única en un torno.
- No se necesita una máquina exclusiva para roscar, el roscado por dado puede realizarse con accesorios especiales para tornos.
- Pueden adaptarse a cualquier perfil de rosca, pues mediante un esmeril, se le da la forma apropiada.

DESVENTAJAS

- Está muy limitado por la dureza del metal a roscar.
- Se recomiendan velocidades de corte muy bajas, obteniéndose un menor acabado superficial.

4.1.6 ROSCADO POR REMOLINO

Es esencialmente un proceso de roscado en donde un cortador hueco rota alrededor del diámetro exterior de la parte de trabajo, la cual rota igualmente en sentido contrario. El cortador hueco (de tipo anular) usa múltiples dientes para cortar el diámetro de la parte como si ‘orbitara’ alrededor de la pieza de trabajo. Esta combinación produce velocidades relativas de corte entre la pieza y las herramientas cortantes entre 8 y 10.000 RPM, lo cual produce fuerzas de corte bajas sobre la pieza.

VENTAJAS



- No se requiere pre-torneado, ni operaciones similares.
- Excelente vida de la herramienta, la cual puede ser reafileada hasta 40 veces.
- Gran precisión.
- No deja marcas en la parte.
- Puede roscar titanio y acero inoxidable sin ningún problema
- Ratas de producción incrementadas en más de un cien por ciento comparado con el roscado con punta única.
- Acabado superficial entre 0,3 y 0,5 μm .
- Elimina el riesgo de deflexión en el roscado de piezas de pequeño diámetro.
- Realiza cualquier rosca en una sola pasada.

DESVENTAJAS

- Debe ser realizado en máquinas especiales o en tornos de tipo suizo.
- Elevado costo de equipo, comparado con el roscado en tornos convencionales y el roscado por laminación.



SELECCIÓN DEL PROCESO

En la selección del proceso de roscado se han descartado los procesos de laminación y esmerilado, el primero debido a que le puede imprimir impurezas al material y el segundo por su elevado costo habiendo opciones más económicas con mayor nivel de producción y similar acabado superficial. Se descartó también el roscado en tornos convencionales por su baja productividad y demás desventajas descritas anteriormente en este capítulo. Esto reduce las opciones a cuatro procesos, el fresado de roscas, el roscado por remolino, el roscado con dado y el roscado con punta única en un torno tipo suizo.

El roscado por dado es un proceso muy inferior al roscado por remolino debido a:

- El costo promedio de un cabezal y peines de roscado por dado para cada uno de los diámetros a fabricar es similar al de un accesorio único necesario para el roscado por remolino. Al ser el roscado por remolino un proceso más eficiente, se considera una mejor opción.
- El acabado superficial (requisito indispensable para esta aplicación) conseguido por el roscado por remolino está muy por encima del obtenido por roscado con dado.
- Al ser este trabajo dirigido a la fabricación de fijadores externos, se debe considerar la capacidad del equipo seleccionado para mecanizar partes de titanio, el cual es, junto al acero 316 L, el material más utilizado para los implantes ortopédicos y dentales. Cabe destacar que este es un análisis que va más allá de los objetivos planteados en este trabajo de grado, pero se



consideró apropiado mencionarlo. Si se tomara en cuenta esta observación, el roscado por dado quedaría automáticamente descartado.

- Se debe mencionar que más del 70% de los fabricantes de tornillos para hueso a nivel mundial han optado por utilizar el roscado por remolino y en algunos casos el fresado de roscas, dejando atrás al roscado por dado.

El fresado de roscas ofrece un perfil mejor acabado y más preciso que el logrado con un dado, por lo tanto este último proceso ha sido también descartado.

El roscado por remolino debe realizarse en un torno tipo suizo o de cabezal deslizante. Este proceso, comparado con el roscado con punta única en el mismo torno, realiza una rosca en menos de la mitad del tiempo y en una sola pasada. Lo que incrementa la productividad del equipo en más de un cien por ciento, sin que añada (en comparación con el costo total del equipo) un aumento significativo en la inversión.

Por todas las ventajas descritas anteriormente, se han seleccionado dos posibles procesos para la fabricación en serie de la rosca de los clavos de Schanz, el fresado de roscas y el roscado por remolino. En capítulos posteriores se analizarán estos dos procesos desde un punto de vista económico para poder escoger cual de ellos es el más indicado para los fines descritos en este trabajo especial de grado.

4.2 FABRICACIÓN DE LA PUNTA Y EXTREMO POSTERIOR

El mecanizado de los gavilanes, el cincel y el extremo de los clavos de Schanz se hará por medio de fresado periférico descendente, con herramientas de carburo cementado recubiertas con FIREX (multicapa de nitruro de titanio y óxido de aluminio (TiAlN) y nitruro de titanio (TiN)). De la misma forma se mecanizará la punta y el extremo posterior de los clavos de Steinmann y alambres de Kirschner.



4.3 SELECCIÓN DEL FLUIDO DE CORTE

Aunque los fluidos para maquinado de metales constituyen un importante segmento de la lubricación industrial, el mercado es tan diverso y fragmentado que no ha sido posible desarrollar un sistema de especificaciones de comportamiento que sea reconocido a todo lo ancho de la industria. En consecuencia, la selección de un fluido para una operación dada debe hacerse con base en los criterios resumidos previamente aquí y una cuidadosa evaluación de los parámetros involucrados.

Una adecuada escogencia dependerá del tipo de operación, las condiciones de mecanizado (velocidad, alimentación, profundidad de corte) y la metalurgia de la herramienta y el material a trabajar.

Como regla general, la función refrigerante de un fluido de corte llega a ser más importante cuando (1) la operación es menos severa, (2) las velocidades son relativamente altas, (3) los materiales de trabajo tienen altas tasas de maquinabilidad, y (4) es necesaria una rápida disipación de calor.

La función lubricidad llega a ser el principal criterio de selección cuando (1) la operación es severa, (2) las velocidades son relativamente bajas, (3) los materiales de trabajo son difíciles de maquinar, y (4) son requeridos buenos acabados superficiales.

Téngase en cuenta que la magnitud del reborde abultado en la cara de la herramienta disminuye conforme aumenta la velocidad de corte, pues es más breve el tiempo de contacto entre la viruta y la herramienta. Por lo tanto, la protección anti-soldadura se hace menos importante bajo estas circunstancias y la integridad del trabajo depende prácticamente del enfriamiento que se provea. La excelente capacidad de enfriamiento de los fluidos con base acuosa constituye la primera



recomendación para operaciones de alta velocidad donde no es primordial el acabado superficial.

Los factores metalúrgicos a considerar quedan definidos (además de la compatibilidad del fluido con el material a trabajar) por la tasa de maquinabilidad de las piezas y las medidas de dureza de las mismas y la herramienta. Asimismo, las clasificaciones AISI y SAE de los aceros, basadas en los niveles de carbón y otros elementos, proporcionan información a considerar sobre el material.

El roscado de acero inoxidable AISI 316L con una herramienta de carburo en una sola pasada a través del proceso de corte en remolino (thread whirling) o por medio de fresado constituye una operación de alta severidad por la dureza y tenacidad del material a trabajar.

El maquinado del clavo quirúrgico involucra varios pasos de mecanizado. En la operación de fresado de la punta y extremo posterior no hay mayor problema por la fácil accesibilidad del lubricante al área de trabajo, de modo que no hay dificultad para el arrastre de las virutas del área de trabajo ni para lograr un adecuado enfriamiento pues la pieza y la herramienta están expuestas.

En la operación de roscado de acero inoxidable son desarrolladas grandes fuerzas debido a la fricción entre la herramienta y la pieza. Estas fuerzas de fricción generan cantidades excesivas de calor por lo que se requiere un fluido que proporcione una buena lubricidad. La manera de proveer una película entre la pieza y la herramienta a temperaturas extremadamente altas es utilizar fluidos con aditivos de cloro y azufre activo que promuevan la formación de lubricantes de película metálica en la zona de corte. Adicionalmente, el requerimiento de un buen acabado superficial (por el tipo de uso que tendrá el clavo) aconseja la incorporación de materia grasa o aditivos de azufre inactivo disueltos todos en aceite mineral.



4.3.1 FORMULACIÓN DEL FLUIDO DE CORTE

Para la formulación de un fluido de corte apropiado para el roscado de acero AISI 316L, para uso quirúrgico, se contó con la asistencia de la subsidiaria local de The Lubrizol Corporation, una de las empresas líderes a nivel global en el desarrollo de tecnología de aditivos para fluidos de maquinado de metales.

Con base en las consideraciones precedentes sobre la selección del fluido, se proponen dos opciones de formulación, ambas sobre aceite derivado de petróleo.

La primera opción es formular el fluido con el aditivo LUBRIZOL 5345, a un nivel de tratamiento entre 8 y 10 %, en peso, sobre aceite básico PDV 85N.

El aditivo LUBRIZOL 5345 está compuesto por una mezcla de olefina sulfurada (azufre activo) con parafina clorada, lo que asegura excelentes propiedades de extrema presión para prevenir la soldadura y un excelente acabado. Por numerosas experiencias, en el exterior, lubricando procesos de mecanizado de aceros inoxidables se tiene la certeza sobre el éxito de esta formulación para contribuir a la productividad del proceso. Sin embargo, los productos clorados están en entredicho por su potencial carcinogénico y si bien aún no han sido prohibidos, la disposición final de los residuos constituye un serio problema por el carácter tóxico de los halógenos y su resistencia a la biodegradación. Esta limitación ha forzado el desarrollo de tecnologías alternativas que reemplacen el uso de productos clorados, lo que ya ha sido logrado con muy pocas excepciones.

La otra formulación propuesta para el proceso en estudio es la siguiente:

LUBRIZOL 5340L	5,0 %
LUBRIZOL 5346	5,0 %



LUBRIZOL 5347	5,0 %
BASE PDV 85N	85,0 %

El aditivo LUBRIZOL 5340L es un agente de extrema presión activo compuesto por una olefina altamente sulfurada, que contiene 40% de azufre y un promedio de 4,5 átomos de azufre por puente de azufre, aspecto que le confiere una elevada reactividad. Sus películas lubricantes de sulfuro de hierro proporcionan una probada capacidad de soporte de carga, baja fricción y funcionalidad antidesgaste que hace al LUBRIZOL 5340L la recomendación primaria para toda operación de alta severidad sobre acero inoxidable.

El LUBRIZOL 5346 es un agente modificador de fricción tipo éster graso sulfurado inactivo. Además de proveer propiedades de extrema presión, su presencia en la formulación es garantía de un acabado superficial libre de asperezas con una rugosidad por demás excepcional.

El LUBRIZOL 5347 pertenece a la familia de los agentes de Extrema Presión Pasiva que incrementa el desempeño de la formulación al actuar sinérgicamente con el LUBRIZOL 5340L. Además, actúa como inhibidor de corrosión y herrumbre, protegiendo las superficies nuevas creadas en el proceso de mecanizado.

Desde el punto de vista económico, ambas opciones presentan costos de formulación similares. Si acaso, el producto basado en el uso del LZ 5345 podría ser 5-6 % más costoso.

En cualquier caso, la formulación del fluido de corte puede ser optimizada en servicio real a través de corridas de producción donde se apliquen formulaciones alternas ligeramente modificadas, con evaluación de su efecto en algún parámetro significativo que pueda ser cuantificable tal como el acabado superficial.



De igual manera, debe hacerse un seguimiento a la vida útil de la herramienta y de acuerdo con los resultados obtenidos ir ajustando la formulación en busca de una mayor productividad.



CAPITULO 5

SELECCIÓN DE LOS PROCESOS DE ACABADO SUPERFICIAL



5.1 PROCESO DE MARCADO

Según la norma ISO 5838-2 y 5838-3 y la norma ASTM F 86, los implantes para uso humano deben tener inscrito en su superficie varios elementos como: diámetro y longitud, código de fabricación, etc. El marcado debe realizarse de forma tal que no interfiera con las propiedades del material y no introduzca ninguna impureza en su superficie.

Debido a estas razones, el marcado de las piezas no pudo realizarse con tintas ni otra sustancia similar. Se escogió para este fin el marcado con laser Nd: YAG, ya que a diferencia de otras opciones de marcado láser, este ofrece las siguientes ventajas:

- Es un proceso “seco”, es decir, el marcado se realiza directamente sobre la superficie del metal, no sobre ningún tipo de película como en otros procesos.
- Fiabilidad.
- Eficiencia.
- Bajos requerimientos de voltaje.
- Diseño compacto.
- Calidad de emisión superior.
- Durabilidad.
- Pérdidas mínimas de calor.

5.2 SELECCIÓN DEL PROCESO DE LIMPIEZA

La norma ASTM F86 establece que los implantes humanos hechos de acero inoxidable deben ser llevados a una condición de limpieza extrema, sin ningún tipo



de material extraño en su superficie. Para eso es necesario eliminar ante todo los residuos de fluidos de corte, que en nuestro caso son basados en aceite. De los métodos descritos en el capítulo 3 para la limpieza de la superficie se seleccionó la limpieza alcalina por encima de las demás por las siguientes razones:

- Por la naturaleza de su composición, la limpieza alcalina es ideal para remover aceites.
- El uso de solventes orgánicos o desgrasado con vapor puede dejar una capa superficial de compuesto que tal vez no se pueda eliminar enjuagando, necesitándose una limpieza alcalina posterior.
- El uso de limpieza ultrasónica se limita generalmente al tratamiento de piezas de geometría complicadas; además la limpieza ultrasónica utiliza como solución principal un medio alcalino para remover grasas y aceites. En adición a esto la limpieza ultrasónica incrementaría los costos de producción innecesariamente.

Luego de la limpieza alcalina debe realizarse un enjuague para asegurarse de que no quede ningún rastro de la sustancia limpiadora.

Luego de enjuagar las piezas muy bien, se someterá a la superficie a un decapado con ácido nítrico, para remover las capas ligeras de óxido y neutralizar cualquier residuo alcalino presente. Además, el decapado ácido forma parte del proceso de pasivación del acero inoxidable. Debido a los tratamientos térmicos la película de acero de la zona tratada se coloca bajo el umbral de un 12% de cromo. La película de acero descromado pierde sus características de inoxidable y debe ser retirada. El decapado es la operación necesaria para eliminar completamente la sutil película de acero empobrecido de cromo (descromado) y las partículas de óxidos de la superficie de la pieza trabajada, para evitar que se inicie un proceso de corrosión.



La pasivación es el proceso de formación de una película de óxido protector en la superficie del acero, que lo vuelve inoxidable. Los aceros inoxidables también pueden protegerse con una película pasiva en contacto con el oxígeno atmosférico; sin embargo, no siempre la película formada en contacto con el aire resulta realmente protectora. La pasivación en contacto con el aire es un proceso lento y heterogéneo a causa de las diferentes condiciones atmosféricas y ambientales a las que se somete la pieza (temperatura, porcentaje de oxígeno en el aire, humedad atmosférica).

Después de realizar el decapado ácido se enjuaga nuevamente la pieza para eliminar cualquier residuo. Cabe destacar que el enjuague necesario para esta etapa es mucho menor que el que se necesita para eliminar restos de solución alcalina.

5.3 PROCESO DE ELECTROPULIDO

El electropulido o pulido electrolítico, es el proceso más importante para lograr el acabado superficial requerido para implantes usados en el cuerpo humano. Este proceso se explicó en detalle en el capítulo 3 de este trabajo, además lograr una superficie pulida ayuda a completar la pasivación del acero inoxidable.

Luego de realizarse el proceso de electropulido, se realizará un enjuague de las piezas y un posterior baño en ácido nítrico diluido para disolver la capa de productos químicos, generalmente sulfatos y fosfatos de metales pesados, dejada en la superficie del metal por el proceso de electropulido y que no se eliminó con el enjuague. Después de esto se realizarán dos enjuagues con agua, uno con agua fría para eliminar los restos de ácido nítrico y otro con agua caliente, para elevar la temperatura del metal y así favorecer su secado posterior a la salida de la estación de enjuague. Los detalles del equipo utilizado, así como los compuestos químicos para la limpieza y electropulido de las piezas a fabricar se muestran en el capítulo 6 de este trabajo especial de grado.



CAPÍTULO VI

DISEÑO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN EN SERIE



6.1 SELECCIÓN DE LOS EQUIPOS

Luego de varios meses de investigación, contacto con varios fabricantes en el exterior y un exhaustivo análisis de los procesos, se seleccionaron los equipos para cada etapa de fabricación. Estas etapas son tres: etapa de mecanizado, etapa de marcado láser y etapa de limpieza y electropulido.

PROCESO DE MECANIZADO

En el caso del proceso de mecanizado, por haberse escogido dos procesos para la fabricación de la rosca, se diseñaron dos caminos alternativos de producción.

Primera opción

Para realizar todos los procesos de mecanizado requeridos para la fabricación en serie de las piezas se seleccionó el siguiente centro de torneado:

Centro de torneado tipo suizo marca TORNOS modelo Deco 13a con un alimentador de barras modelo SSF 226.



Figura 63. Torno modelo Deco 13a



Características generales:

- Dos husillos, principal (cabezal deslizante) y secundario (para las operaciones de la parte posterior de las partes).
- Doce ejes, incluyendo dos ejes C.
- Cinco bloques independientes de herramientas con quince herramientas motorizadas.

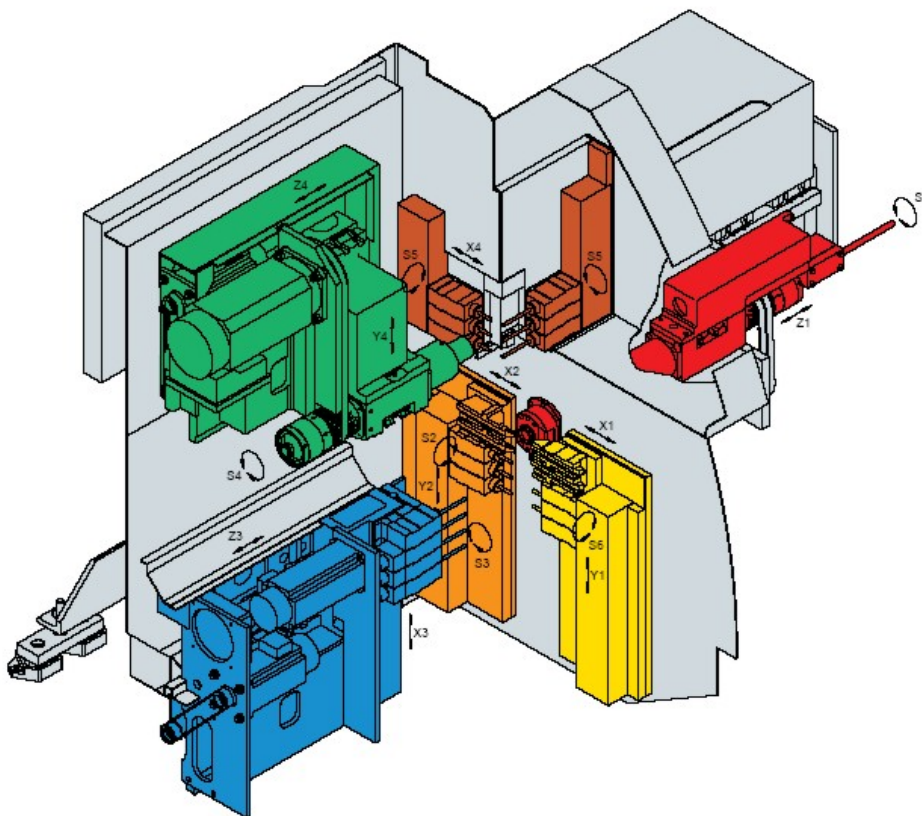


Figura 64. Vista esquemática del torno Deco 13a



Segunda opción

CENTRO DE MECANIZADO VERTICAL, marca CHEVALIER, MODELO 1418 VMC.



Figura 65. Vista del centro de mecanizado



FRESADORA UNIVERSAL, marca MILKO, modelo 35-R



Figura 66. Vista de la Fresadora modelo 35-R



TORNO CNC MARCA OKUMA MODELO ES-L 8



Figura 67. Vista del torno ES-L8.

Accesorios estándar incluidos en el precio de la maquina:

- Mandril de 3 garras autocentrantes de 200 mm
- Husillo nariz A2-6 spindle Nose con $\square \varnothing 2.44$ in. En el husillo 4200 RPM
- 10 HP / 7.5 Hp VAC spindle drive
- Torreta de 8 posiciones
- Contrapunta hidráulica MT#5
- OSP CNC + Animación grafica + Lap 4 + User Task I+II
- Kit de herramientas de servicio
- Extractor de viruta
- Manual de instrucciones

PROCESO DE MARCADO LÁSER



Cabina de marcado láser marca ELECTROX modelo Cobra.



Figura 68. Equipo de marcado láser, modelo Cobra

PROCESO DE LIMPIEZA Y ELECTROPULIDO

Los procesos de limpieza alcalina, decapado ácido, electropulido, y todos los enjuagues pertinentes, serán realizados en el sistema integral de electropulido marca MCP (Metal Coating Process) Corporation, modelo # 1060.

Características generales:

Diez tanques con capacidad para 60 galones (227,13 litros). Discriminados de la siguiente forma y destinados a las funciones que se indican:

- Un tanque para limpieza alcalina con bomba de recirculación, despumador, medidor de nivel, termostato digital y calentador de inmersión.



- Dos tanques para decapado ácido, uno recubierto con PVC y otro con acero inoxidable 316 L.
- Un tanque para electropulido con todos los accesorios necesarios (rectificador, ánodo, cátodo, etc.).
- Un tanque para recuperación del electrolito fabricado con acero inoxidable 316 L, con evaporador de película fina y una bomba.
- Cuatro tanques para enjuague con agua fría recubiertos con PVC.
- Un tanque para enjuague con agua caliente, con un calentador y un termostato digital.

Todo el proceso se maneja manualmente, a excepción del electropulido que se maneja desde un mando a distancia. El sistema en cuestión incluye un equipo completo de ventilación, con capacidad de 190 m³/min y un sistema para tratamientos de desechos.



Figura 69. Estación de limpieza y electropulido.

6.2 DISEÑO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

A continuación se detalla cada uno de las etapas requeridas para fabricar en serie los clavos de Schanz, clavos de Steinmann y alambres de Kirschner.

6.2.1 ETAPA DE MECANIZADO

6.2.1.1 Clavos de Schanz

El mecanizado de toda la geometría de un clavo de Schanz se divide en los siguientes pasos: Tallado de la rosca, coneado de la punta, fresado del borde cortante (gavilanes), fresado del borde de desahogo de corte (cincel) y fresado del extremo de sujeción en la parte posterior. Todos estos procesos se detallarán para cada una de las opciones mencionadas anteriormente.



Cálculo de los parámetros de corte para el mecanizado de los clavos de Schanz

Opción 1 (Centro de torneado)

Se fabricarán clavos de Schanz de tres diámetros diferentes:

1/8" (3,175mm)	5/32" (3,969mm)	3/16" (4,763mm)
----------------	-----------------	-----------------

A continuación se presentan los cálculos tipo (de un solo diámetro) necesarios para la hoja de procesos:

1. Proceso: Roscado por remolino

Herramienta: Cabezal especial para roscado por remolino

Distancia a roscar: $L = 25\text{mm}$

Diámetro exterior de la rosca: 3,175mm

Paso: 1,25mm

Tiempo de mecanizado: 60s

Nota: Al no tenerse datos técnicos, ni manuales de referencia para el roscado por remolino, se tomaron los tiempos de mecanizado suministrados por dos fabricantes de equipos cuando se le enviaron las características del material y el perfil completo de las roscas.

2. Proceso: Coneado

Herramienta: Plaquita para torner con recubrimiento TiAlN

Hacer un cono en la punta del tornillo que forme 60° con respecto al eje de la pieza.

$$\text{Velocidad de corte: } 50 \frac{\text{m}}{\text{min}} \Rightarrow n = \frac{50 \cdot 1000}{\pi \cdot 3,175} \approx 5012 \text{rpm}$$

Longitud de mecanizado: $L = 1,83\text{mm}$



Avance: $f = 0,01 \text{ mm/rev}$

Velocidad de avance: $V_f = f \cdot n = 0,01 \cdot 5012 = 50 \text{ mm/min}$

Tiempo de mecanizado: $t_c = \frac{L}{V_f} \cdot 60 = \frac{1,83}{50} \cdot 60 \Rightarrow t_c = 2,2 \text{ s}$

3. Proceso: Fresado del borde cortante (Gavilanes)

Herramienta: Fresa de 30 milímetros de diámetro con insertos de tres dientes de carburo cementado recubierto con FIREX (TiN-TiAlN). Se fresa un gavilán con un ángulo de 8° respecto al eje de la pieza.

Velocidad de corte: $80 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{80}{\pi \cdot 30 \cdot 10^{-3}} \approx 849 \text{ rpm}$

Carga de viruta: $f = 0,05 \text{ mm/Diente}$

Velocidad de avance: $f_r = n \cdot n_t \cdot f = 849 \cdot 3 \cdot 0,05 = 127,35 \text{ mm/min} = 2,12 \text{ mm/s}$

Profundidad de corte: $d = 1,588 \text{ mm}$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de corte:

$$A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{1,588 \cdot (30 - 1,588)} = 6,72 \text{ mm}$$

Distancia de mecanizado: $L = 12,6 \text{ mm}$

Tiempo de mecanizado: $t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{12,6 + 6,72}{2,12} \Rightarrow t_c = 9,1 \text{ s}$

Se efectúa una rotación con el eje C de 90°

4. Proceso: Fresado periférico del plano de desahogo de corte

Herramienta: Fresa bailarina de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm, fresar dos caras planas con un ángulo de 46° respecto al eje de la pieza.

Velocidad de corte: $50 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{50}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 2653 \text{ rpm}$

Carga de viruta: $f = 0,01 \text{ mm/Diente}$



Velocidad de avance: $f_r = n \cdot n_t \cdot f = 2653 \cdot 3 \cdot 0,01 = 79,59 \text{ mm}/_{\text{min}} = 1,33 \text{ mm}/_s$

Profundidad de corte: $d = 0,443 \text{ mm}$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de corte:

$$A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{0,443 \cdot (6 - 0,443)} = 1,57 \text{ mm}$$

Distancia de mecanizado: $L = 1,778 \text{ mm}$

Tiempo de mecanizado: $t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{1,778 + 1,57}{1,33} \Rightarrow t_c = 2,52 \text{ s}$

5. Rotación de 90° y fresado del segundo gavlán.

6. Rotación de 90° y fresado del segundo plano de desahogo.

7. Proceso: Tronzado de la pieza después de haber sido sujeta por el contrahusillo.

Herramienta: Cuchilla para tronzar.

Velocidad de corte: $50 \text{ m}/_{\text{min}} \Rightarrow n = \frac{50 \cdot 1000}{\pi \cdot 3,175} \approx 5012 \text{ rpm}$

Avance: $f = 0,05 \text{ mm}/_{\text{rev}}$

Velocidad de avance: $V_f = f \cdot n = 0,01 \cdot 5012 = 50 \text{ mm}/_{\text{min}}$

Tiempo de mecanizado: $t_c = \frac{L}{V_f} \cdot 60 = \frac{1,5875}{50} \cdot 60 \Rightarrow t_c = 1,9 \text{ s}$

8. Proceso: Fresado periférico (Extremo de sujeción en la parte posterior del clavo)

Herramienta: Fresa bailarina de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm de diámetro, fresar con un ángulo de 46° respecto al eje de la pieza.

Velocidad de corte: $70 \text{ m}/_{\text{min}} \Rightarrow n = \frac{70}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 3713 \text{ rpm}$

Carga de viruta: $f = 0,01 \text{ mm}/_{\text{Diente}}$

Velocidad de avance: $f_r = n \cdot n_t \cdot f = 3713 \cdot 3 \cdot 0,01 = 111,39 \text{ mm}/_{\text{min}} = 1,85 \text{ mm}/_s$



Profundidad de corte: $d = 0,5mm$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de

$$\text{corte: } A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{0,5 \cdot (6 - 0,5)} = 1,66mm$$

Distancia de mecanizado: $L = 20mm$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{20 + 1,66}{1,85} \Rightarrow t_c = 11,6s$$

Este proceso se realiza dos veces más, rotando el eje C 120° cada vez.

Tabla 17. Tiempos de mecanizado para fabricar los clavos de Schanz. Opción 1

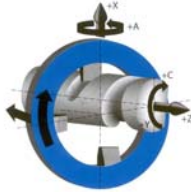
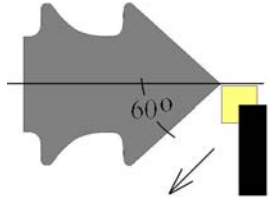
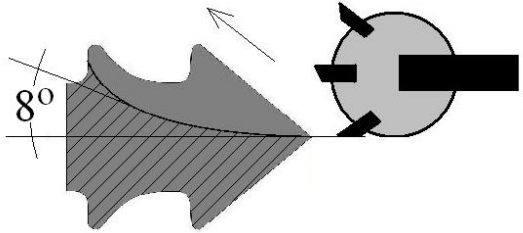
Tiempo de mecanizado de los procesos necesarios para mecanizar los clavos de Schanz			
Proceso N°	Diámetros		
	1/8" (3,175mm)	5/32" (3,969mm)	3/16" (4,763mm)
1	60,00 s	90,00 s	120,00 s
2	2,2 s	2,76 s	3,3 s
3	9,1 s	9,46 s	9,76 s
4	2,52 s	2,98 s	3,42 s
5	9,1 s	9,46 s	9,76 s
6	2,52	2,98 s	3,42 s
7	1,9	3	4,28
8	(11,6 s)*3	(11,91 s)*3	(12 s)*3
Tiempo total de mecanizado	122,72 s	156,37 s	189,94 s
Tiempo real aproximado de mecanizado (tomando en cuenta el posicionamiento de las herramientas y descarga de las piezas = 40 s)	162,72 s	196,37 s	229,94 s

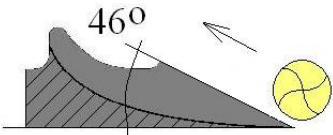
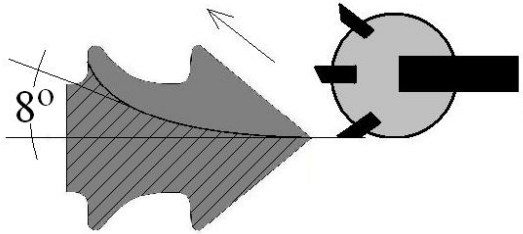
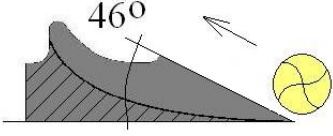


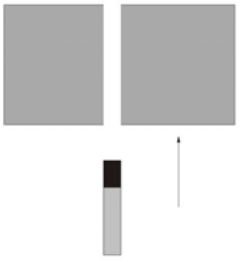
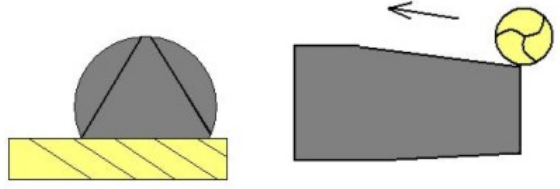
Nota: Se supusieron velocidades de corte inferiores a las alcanzables con las herramientas recubiertas seleccionadas, esto debido a que con las velocidades recomendadas se obtenían tiempos de mecanizado absurdos, siempre en el orden de fracciones de segundo. La causa de estos resultados es la diminuta geometría de las piezas fabricadas.

Hoja de procesos

Primer diámetro (cálculos tipo). Por ser la misma pieza pero de diferente diámetro solo se mostrará una hoja de procesos, que puede ser valida para los tres diámetros.

Nombre de la pieza: Clavo de Schanz		Material: AISI 316 L		N° de Parte:			Cantidad:	
N	Maquina – Operación- Herramienta	V _c [m/min]	n [rpm]	f [mm/rev]	Ø [mm]	L [mm]	t [s]	Observaciones
1		-	-	1,25	3,175	25	60,00	
2		50	5012	0,01	3,175	1,83	2,2	Hacer un cono de 60° con respecto al eje de la pieza
3		80	849	0,05 mm/diente	30	12,60	9,1	Fresar un gavlán que forme 8° respecto al eje de la pieza, después del primer fresado girar la pieza 90° con el eje "C"

Nombre de la pieza: Clavo de Schanz		Material: AISI 316 L		N° de Parte:			Cantidad:	
N	Maquina – Operación- Herramienta	V _c [m/min]	n [rpm]	f [mm/rev]	Ø [mm]	L [mm]	t [s]	Observaciones
4		50	2653	0,01 mm/diente	3,175	1,778	2,52	Después de realizar este fresado girar la pieza 90°
5		80	849	0,05 mm/diente	30	12,60	9,1	Fresar un gavlán que forme 8° respecto al eje de la pieza, después girar la pieza 90° con el eje “C”
6		50	2653	0,01 mm/diente	3,175	1,778	2,52	

		50	5012	0,05 mm	3,175	1,5875	1,9	Después de esta operación la pieza se desplaza hacia el segundo husillo.
8		70	3713	0,01 mm/diente	3,175	20	11,6	Después del primer fresado girar la pieza 120° con el eje "C". Repetir dos veces.



Opción 2. (Unidad productiva conformada por el centro de mecanizado, la fresadora universal y el torno CNC).

1. Proceso: Coneado.

Herramienta: Plaquita para torneear con recubrimiento TiAlN.

Hacer un cono en la punta del tornillo que forme 60° con respecto al eje de la pieza.

$$\text{Velocidad de corte: } 50 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{50 \cdot 1000}{\pi \cdot 3,175} \approx 5012 \text{ rpm}$$

Número de pasadas = 8 ; cada una de 0,1 mm de profundidad.

$$L_1 = 0,215 \text{ mm}$$

$$L_2 = 0,446 \text{ mm}$$

$$L_3 = 0,677 \text{ mm}$$

$$L_4 = 0,908 \text{ mm}$$

$$\text{Longitud de mecanizado: } L_5 = 1,139 \text{ mm}$$

$$L_6 = 1,371 \text{ mm}$$

$$L_7 = 1,602 \text{ mm}$$

$$L_8 = 1,833 \text{ mm}$$

$$\text{Avance: } f = 0,01 \text{ mm/rev}$$

$$\text{Velocidad de avance: } V_f = f \cdot n = 0,01 \cdot 5012 = 50 \text{ mm/min}$$

$$t_{c1} = 0,26 \text{ s}$$

$$t_{c2} = 0,54 \text{ s}$$

$$t_{c3} = 0,81 \text{ s}$$

$$t_{c4} = 1,09 \text{ s}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L}{V_f} \cdot 60 \quad t_{c5} = 1,37 \text{ s}$$

$$t_{c6} = 1,65 \text{ s}$$

$$t_{c7} = 1,92 \text{ s}$$

$$t_{c8} = 2,2 \text{ s}$$

$$t_t = 9,84 \text{ s}$$



2. Proceso: Tronzado de la pieza

Herramienta: Cuchilla para tronzar.

$$\text{Velocidad de corte: } 50 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{50 \cdot 1000}{\pi \cdot 3,175} \approx 5012 \text{ rpm}$$

$$\text{Avance: } f = 0,05 \text{ mm/rev}$$

$$\text{Velocidad de avance: } V_f = f \cdot n = 0,01 \cdot 5012 = 50 \text{ mm/min}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L}{V_f} \cdot 60 = \frac{1,5875}{50} \cdot 60 \Rightarrow t_c = 1,9 \text{ s}$$

3. Proceso: Fresado de la rosca.

Herramienta: Fresa de disco de carburo cementado de 50 milímetros de diámetro con dientes ajustados al perfil de la rosca. Se pivota la fresa con un ángulo con respecto al eje vertical igual al ángulo de hélice de la rosca.

$$\text{Velocidad de corte: } 50 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{50}{\pi \cdot 50 \cdot 10^{-3}} \approx 313 \text{ rpm}$$

$$\text{Carga de viruta: } f = 0,025 \text{ mm/Diente}$$

$$\text{Velocidad de avance: } f_r = n \cdot n_t \cdot f = 313 \cdot 22 \cdot 0,025 = 172,15 \text{ mm/min} = 2,87 \text{ mm/s}$$

$$\text{Profundidad de corte: } d = 0,8 \text{ mm}$$

Distancia helicoidal aproximada recorrida por la fresa en un paso = 10,62 mm

$$\text{Distancia de mecanizado: } L = 10,62 \cdot n_{\text{pasos}} = 10,62 \cdot 20 = 212,4 \text{ mm}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L}{f_r} = \frac{212,4}{2,87} \Rightarrow t_c = 74 \text{ s}$$

4. Proceso: Fresado del borde cortante (Gavilanes)

Herramienta: Fresa vertical (bailarina) de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm de diámetro (TiN-TiAlN). Se fresa un gavilán con un ángulo de 8° respecto al eje de la pieza.

$$\text{Velocidad de corte: } 50 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{50}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 2652 \text{ rpm}$$

$$\text{Carga de viruta: } f = 0,02 \text{ mm/Diente}$$



Velocidad de avance: $f_r = n \cdot n_t \cdot f = 2652 \cdot 3 \cdot 0,02 = 159,15 \text{ mm/min} = 2,65 \text{ mm/s}$

Profundidad de corte: $d = 1,588 \text{ mm}$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de corte:

$$A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{1,588 \cdot (6 - 1,588)} = 2,64 \text{ mm}$$

Distancia de mecanizado: $L = 12,6 \text{ mm}$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{12,6 + 2,64}{2,65} \Rightarrow t_c = 5,75 \text{ s}$$

5. Proceso: Fresado del plano de desahogo de corte

Herramienta: Fresa vertical (bailarina) de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm, fresar dos caras planas con un ángulo de 46° respecto al eje de la pieza.

$$\text{Velocidad de corte: } 50 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{50}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 2653 \text{ rpm}$$

Carga de viruta: $f = 0,01 \text{ mm/Diente}$

Velocidad de avance: $f_r = n \cdot n_t \cdot f = 2653 \cdot 3 \cdot 0,01 = 79,59 \text{ mm/min} = 1,33 \text{ mm/s}$

Profundidad de corte: $d = 0,443 \text{ mm}$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de corte:

$$A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{0,443 \cdot (6 - 0,443)} = 1,57 \text{ mm}$$

Distancia de mecanizado: $L = 1,778 \text{ mm}$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{1,778 + 1,57}{1,33} \Rightarrow t_c = 2,52 \text{ s}$$

6. Rotación de 90° y fresado del segundo gavlán.

7. Rotación de 90° y fresado del segundo plano de desahogo.

8. Proceso: Fresado (Extremo de sujeción en la parte posterior del clavo)



Herramienta: Fresa vertical (bailarina) de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm de diámetro, fresar con un ángulo de 46° respecto al eje de la pieza.

$$\text{Velocidad de corte: } 70 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{70}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 3713 \text{ rpm}$$

$$\text{Carga de viruta: } f = 0,01 \text{ mm/Diente}$$

$$\text{Velocidad de avance: } f_r = n \cdot n_t \cdot f = 3713 \cdot 3 \cdot 0,01 = 111,39 \text{ mm/min} = 1,85 \text{ mm/s}$$

$$\text{Profundidad de corte: } d = 0,5 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de corte: } A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{0,5 \cdot (6 - 0,5)} = 1,66 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia de mecanizado: } L = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{20 + 1,66}{1,85} \Rightarrow t_c = 11,6 \text{ s}$$

Este proceso se realiza dos veces más, rotando el eje C 120° cada vez.

Tiempo total de mecanizado: 136,98 s.

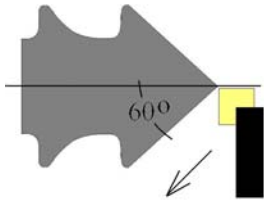
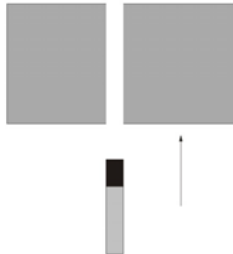
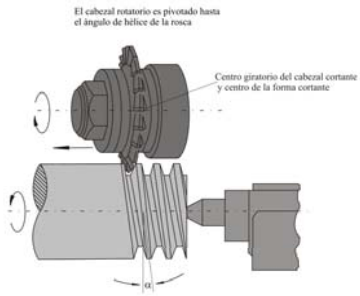
El realizar el proceso de fabricación en tres equipos distintos permite que el tiempo de traslado de piezas entre los equipos y el montaje de estas sea contrarestando por la posibilidad de mecanizar varias piezas a la vez. Por lo cual el tiempo total de mecanizado hecho en la unidad productiva es de aproximadamente 180 s para el diámetro mencionado.

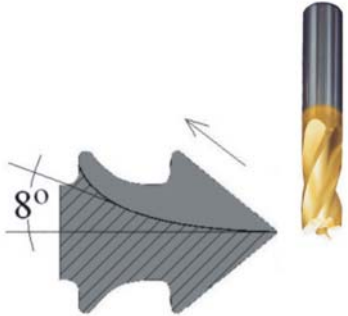
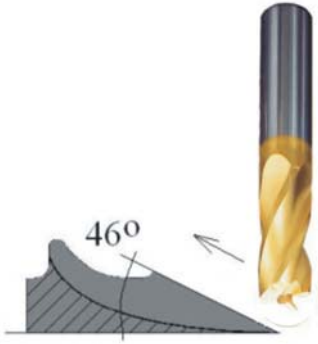


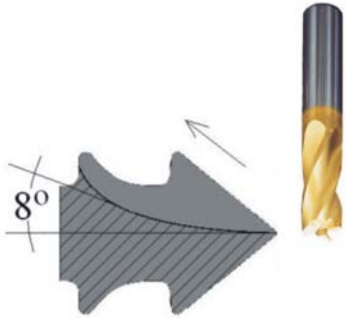
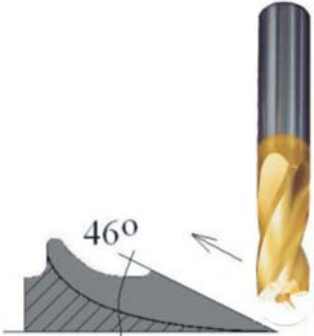
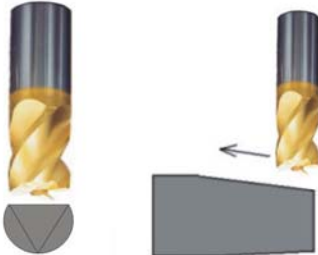
Tabla 18. Tiempos de mecanizado para fabricar los clavos de Schanz. Opción 2

Tiempo de mecanizado de los procesos necesarios para mecanizar los clavos de Schanz			
Proceso N°	Diámetros		
	1/8" (3,175mm)	5/32" (3,969mm)	3/16" (4,763mm)
1	9,84 s	15 s	21,32 s
2	1,9 s	2,38 s	2,86 s
3	74 s	118 s	179 s
4	5,7 s	6,1 s	6,5 s
5	2,52 s	2,98 s	3,42 s
6	5,7 s	6,1 s	6,5 s
7	2,52 s	2,98 s	3,42 s
8	(11,6 s)*3	(11,91 s)*3	(12 s)*3
Tiempo total de mecanizado	136,98 s	198,35 s	268,94 s
Tiempo real de mecanizado	180 s	240 s	310 s

Hoja de procesos:

Nombre de la pieza: Clavo de Schanz		Material: AISI 316 L		N° de Parte:			Cantidad:	
N	Maquina – Operación- Herramienta	V_c [m/min]	n [rpm]	f [mm/rev]	$\varnothing$ [mm]	L [mm]	t [s]	Observaciones
1		50	5012	0,01	3,175	1,83	2,2	Hacer un cono de 60° con respecto al eje de la pieza
2		50	5012	0,05 mm	3,175	1,5875	1,9	Después de esta operación la pieza se lleva a la máquina fresadora.
3		50	5012	0,02 mm/diente	3,175	212,4	74,00	Después de esta operación la pieza se lleva al centro de mecanizado.

Nombre de la pieza: Clavo de Schanz		Material: AISI 316 L		N° de Parte:			Cantidad:	
N	Maquina – Operación- Herramienta	V_c [m/min]	n [rpm]	f [mm/rev]	$\varnothing$ [mm]	L [mm]	t [s]	Observaciones
4		50	2652	0,02 mm/diente	6	12,60	5,75	Fresar un gavlán que forme 8° respecto al eje de la pieza, después del primer fresado girar la pieza 90° con el eje “C”
5		50	2653	0,01 mm/diente	3,175	1,778	2,52	Después de realizar este fresado girar la pieza 90°

6		50	2652	0,02 mm/diente	6	12,60	5,75	Fresar un gavilán que forme 8° respecto al eje de la pieza, después del primer fresado girar la pieza 90° con el eje “C”
		50	2653	0,01 mm/diente	3,175	1,778	2,52	Después de realizar este fresado cambiar la dirección de la pieza
8		70	3713	0,01 mm/diente	3,175	20	11,6	Después del primer fresado girar la pieza 120° con el eje “C”. Repetir dos veces.



6.2.1.2 Clavos de Steinmann

Se fabricarán clavos de Steinmann de tres diámetros diferentes:

1/8" (3,175mm)	5/32" (3,969mm)	3/16" (4,763mm)
----------------	-----------------	-----------------

A continuación se presentan los cálculos tipo (de un solo diámetro) necesarios para la hoja de procesos:

Opción 1

1. Proceso: Fresado periférico (Punta del clavo)

Herramienta: Fresa bailarina de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm de diámetro, fresar con un ángulo de 23° respecto al eje de la pieza.

$$\text{Velocidad de corte: } 70 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{70}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 3713 \text{ rpm}$$

$$\text{Carga de viruta: } f = 0,01 \text{ mm/Diente}$$

$$\text{Velocidad de avance: } f_r = n \cdot n_t \cdot f = 3713 \cdot 3 \cdot 0,01 = 111,39 \text{ mm/min} = 1,86 \text{ mm/s}$$

$$\text{Profundidad de corte: } d = 1,46 \text{ mm}$$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de corte:

$$A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{1,46 \cdot (6 - 1,46)} = 2,57 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia de mecanizado: } L = 4,1 \text{ mm}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{4,1 + 2,57}{1,86} \Rightarrow t_c = 3,58 \text{ s}$$

Repetir este proceso dos veces, rotando el eje C 120° cada vez.

2. Proceso: Tronzado de la pieza

Herramienta: Cuchilla para tronzar



$$\text{Velocidad de corte: } 50 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{50 \cdot 1000}{\pi \cdot 3,175} \approx 5012 \text{ rpm}$$

$$\text{Avance: } f = 0,05 \text{ mm/rev}$$

$$\text{Velocidad de avance: } V_f = f \cdot n = 0,01 \cdot 5012 = 50 \text{ mm/min}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L}{V_f} \cdot 60 = \frac{1,5875}{50} \cdot 60 \Rightarrow t_c = 1,9 \text{ s}$$

3. Proceso: Fresado periférico (Extremo de sujeción en la parte posterior del clavo)

Herramienta: Fresa bailarina de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm de diámetro.

$$\text{Velocidad de corte: } 70 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{70}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 3713 \text{ rpm}$$

$$\text{Carga de viruta: } f = 0,01 \text{ mm/Diente}$$

$$\text{Velocidad de avance: } f_r = n \cdot n_t \cdot f = 3713 \cdot 3 \cdot 0,01 = 111,39 \text{ mm/min} = 1,86 \text{ mm/s}$$

$$\text{Profundidad de corte: } d = 0,5 \text{ mm}$$

Distancia de aproximación parar alcanzar completamente la velocidad de

$$\text{corte: } A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{0,5 \cdot (6 - 0,5)} = 1,66 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia de mecanizado: } L = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{20 + 1,66}{1,86} \Rightarrow t_c = 11,64 \text{ s}$$

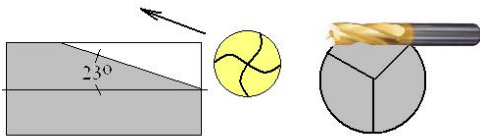
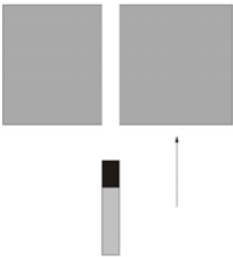
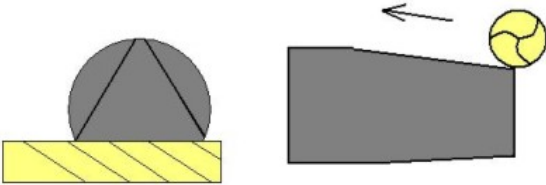
Repetir este proceso dos veces, rotando el eje C 120° cada vez.



Tabla 19. Tiempos de mecanizado para fabricar los clavos de Steinmann

Tiempo de mecanizado de los procesos necesarios para mecanizar los clavos de Steinmann			
Proceso N°	Diámetros		
	1/8" (3,175mm)	5/32" (3,969mm)	3/16" (4,763mm)
1	(3,58 s)*3	(4,22 s)*3	(4,83 s)*3
2	1,9 s	2,38 s	2,86 s
3	(11,64 s)*3	(11,84 s)*3	(11,95 s)*3
Tiempo total de mecanizado	47,56 s	50,56 s	53,2 s
Tiempo real aproximado de mecanizado (tomando en cuenta el posicionamiento de las herramientas y descarga de las piezas = 15 s)	62,56 s	65,56 s	68,2 s

Hoja de Procesos

Nombre de la pieza: clavos de Steinmann		Material: AISI 316 L		N° de Parte:			Cantidad:	
N	Maquina – Operación- Herramienta	V _c [m/min]	n [rpm]	f [mm/diente]	D [mm]	L [mm]	t [s]	Observaciones
1		70	3713	0,01	6	4,1	3,58	Repetir la misma operación 2 veces, rotando el eje C 120° por vez.
2		50	5012	0,05 mm	3,175	1,5875	1,9	Después de esta operación la pieza es desplazada hacia el segundo husillo.
3		70	3713	0,01	6	20	11,54	Repetir la misma operación 2 veces, rotando el eje C 120° por vez.



Opción 2

1. Proceso: Tronzado de la pieza

Herramienta: Cuchilla para tronzar

$$\text{Velocidad de corte: } 50 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{50 \cdot 1000}{\pi \cdot 3,175} \approx 5012 \text{ rpm}$$

$$\text{Avance: } f = 0,05 \text{ mm/rev}$$

$$\text{Velocidad de avance: } V_f = f \cdot n = 0,01 \cdot 5012 = 50 \text{ mm/min}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L}{V_f} \cdot 60 = \frac{1,5875}{50} \cdot 60 \Rightarrow t_c = 1,9 \text{ s}$$

2. Proceso: Fresado vertical (Punta del clavo)

Herramienta: Fresa bailarina de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm de diámetro, fresar con un ángulo de 23° respecto al eje de la pieza.

$$\text{Velocidad de corte: } 70 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{70}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 3713 \text{ rpm}$$

$$\text{Carga de viruta: } f = 0,01 \text{ mm/Diente}$$

$$\text{Velocidad de avance: } f_r = n \cdot n_t \cdot f = 3713 \cdot 3 \cdot 0,01 = 111,39 \text{ mm/min} = 1,86 \text{ mm/s}$$

$$\text{Profundidad de corte: } d = 1,46 \text{ mm}$$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de corte:

$$A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{1,46 \cdot (6 - 1,46)} = 2,57 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia de mecanizado: } L = 4,1 \text{ mm}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{4,1 + 2,57}{1,86} \Rightarrow t_c = 3,58 \text{ s}$$

Repetir este proceso dos veces, rotando el eje C 120° cada vez.

3. Proceso: Fresado vertical (Extremo de sujeción en la parte posterior del clavo)

Herramienta: Fresa bailarina de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm de diámetro.



Velocidad de corte: $70 \frac{m}{\min} \Rightarrow n = \frac{70}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 3713 \text{rpm}$

Carga de viruta: $f = 0,01 \frac{mm}{\text{Diente}}$

Velocidad de avance: $f_r = n \cdot n_t \cdot f = 3713 \cdot 3 \cdot 0,01 = 111,39 \frac{mm}{\min} = 1,86 \frac{mm}{s}$

Profundidad de corte: $d = 0,5 \text{mm}$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de

corte: $A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{0,5 \cdot (6 - 0,5)} = 1,66 \text{mm}$

Distancia de mecanizado: $L = 20 \text{mm}$

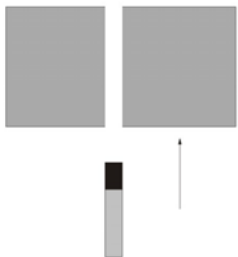
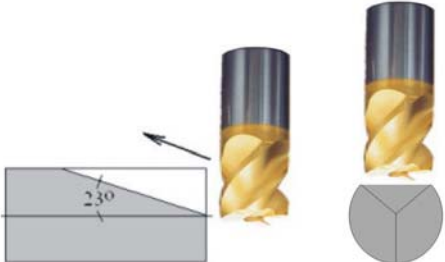
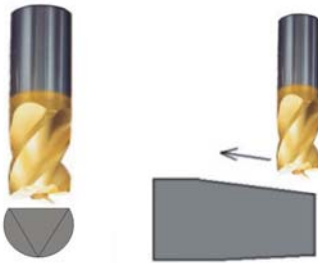
Tiempo de mecanizado: $t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{20 + 1,66}{1,86} \Rightarrow t_c = 11,64 \text{s}$

Repetir este proceso dos veces, rotando el eje C 120° cada vez.

Tabla 20. Tiempos de mecanizado para fabricar los clavos de Steinmann. Opción 2.

Tiempo de mecanizado de los procesos necesarios para mecanizar los clavos de Steinmann			
Proceso N°	Diámetros		
	1/8'' (3,175mm)	5/32'' (3,969mm)	3/16'' (4,763mm)
1	1,9 s	2,38 s	2,86 s
2	(3,58 s)*3	(4,22 s)*3	(4,83 s)*3
3	(11,64 s)*3	(11,84 s)*3	(11,95 s)*3
Tiempo total de mecanizado	47,56 s	50,56 s	53,2 s
Tiempo real aproximado de mecanizado (tomando en cuenta el posicionamiento de las herramientas y descarga de las piezas = 40 s)	87,56 s	90,56 s	93,2 s

Hoja de Procesos

Nombre de la pieza: clavos de Steinmann		Material: AISI 316 L		N° de Parte:			Cantidad:	
N	Maquina – Operación- Herramienta	V _c [m/min]	n [rpm]	f [mm/diente]	D [mm]	L [mm]	t [s]	Observaciones
1		50	5012	0,05 mm	3,175	1,5875	1,9	Después de esta operación la pieza es llevada al centro de mecanizado.
2		70	3713	0,01	6	4,1	3,58	Repetir la misma operación 2 veces, rotando el eje C 120° por vez. Después de esta operación la pieza es cambiada de posición para trabajar su extremo posterior.
3		70	3713	0,01	6	20	11,54	Repetir la misma operación 2 veces, rotando el eje C 120° por vez.



6.2.1.3 Alambres de Kirschner

Se fabricaran Alambres de Kirschner de cuatro diámetros diferentes:

1mm	1,5mm	2mm	2,5mm
-----	-------	-----	-------

A continuación se presentan los cálculos tipo (de un solo diámetro) necesarios para la hoja de procesos:

Opción 1

1. Proceso: Fresado periférico (Punta del alambre)

Herramienta: Fresa vertical (bailarina) de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm de diámetro, fresar con un ángulo de 10° respecto al eje de la pieza.

$$\text{Velocidad de corte: } 70 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{70}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 3713 \text{ rpm}$$

$$\text{Carga de viruta: } f = 0,01 \text{ mm/Diente}$$

$$\text{Velocidad de avance: } f_r = n \cdot n_t \cdot f = 3713 \cdot 3 \cdot 0,01 = 111,39 \text{ mm/min} = 1,86 \text{ mm/s}$$

$$\text{Profundidad de corte: } d = 0,49 \text{ mm}$$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de corte:

$$A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{0,49 \cdot (6 - 0,49)} = 1,64 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia de mecanizado: } L = 2,88 \text{ mm}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{2,88 + 1,64}{1,86} \Rightarrow t_c = 2,43 \text{ s}$$

2. Proceso: Tronzado de la pieza

Herramienta: Cuchilla para tronzar

$$\text{Velocidad de corte: } 10 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{10 \cdot 1000}{\pi \cdot 1} \approx 3183 \text{ rpm}$$



Avance: $f = 0,01 \text{ mm/rev}$

Velocidad de avance: $V_f = f \cdot n = 0,01 \cdot 3183 = 31,83 \text{ mm/min}$

Tiempo de mecanizado: $t_c = \frac{L}{V_f} \cdot 60 = \frac{0,5}{31,83} \cdot 60 \Rightarrow t_c = 1 \text{ s}$

3. Proceso: Fresado (Parte posterior del alambre)

Herramienta: Fresa vertical (bailarina) de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm de diámetro.

Velocidad de corte: $70 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{70}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 3713 \text{ rpm}$

Carga de viruta: $f = 0,01 \text{ mm/Diente}$

Velocidad de avance: $f_r = n \cdot n_t \cdot f = 3713 \cdot 3 \cdot 0,01 = 111,39 \text{ mm/min} = 1,86 \text{ mm/s}$

Profundidad de corte: $d = 0,15 \text{ mm}$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de corte:

$$A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{0,15 \cdot (6 - 0,15)} = 0,94 \text{ mm}$$

Distancia de mecanizado: $L = 20 \text{ mm}$

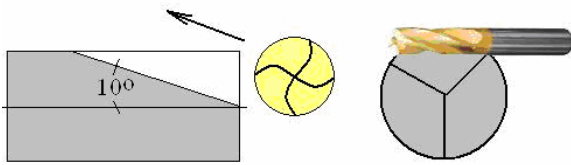
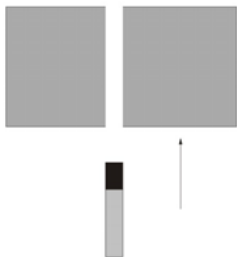
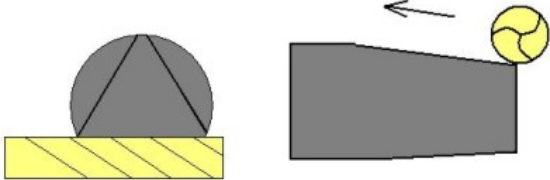
Tiempo de mecanizado: $t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{20 + 0,94}{1,86} \Rightarrow t_c = 11,25 \text{ s}$



Tabla 21. Tiempos de mecanizado para fabricar los alambres de Kirschner. Opción 1

Tiempo de mecanizado de los procesos necesarios para mecanizar los Alambres de Kirschner				
Proceso N°	Diámetros			
	1mm	1,5mm	2mm	2,5mm
1	(2,43 s)*3	(3,38 s)*3	(4,29 s)*3	(5,17 s)*3
2	1 s	2 s	3 s	4 s
3	(11,25 s)*3	(11,34 s)*3	(11,41 s)*3	(11,48 s)*3
Tiempo total de mecanizado	42 s	46,16 s	50,1 s	54 s
Tiempo real aproximado de mecanizado (tomando en cuenta el posicionamiento de las herramientas y descarga de las piezas = 15 s)	57 s	61,16 s	65,1 s	69 s

Hoja de Procesos

Nombre de la pieza: Alambres de Kirschner		Material: AISI 316 L		N° de Parte:			Cantidad:	
N	Maquina – Operación- Herramienta	V _c [m/min]	n [rpm]	f [mm/diente]	D [mm]	L [mm]	t [s]	Observaciones
1		70	3713	0,01	6	2,88	2,43	Repetir la misma operación 2 veces, rotando el eje C 120° por vez.
2		10	3183	0,01 mm	1	0,5	1	. Después de esta operación la pieza es desplazada hacia el segundo husillo
3		70	3713	0,01	6	20	11,25	Repetir la misma operación 2 veces, rotando el eje C 120° por vez.



Opción 2

1. Proceso: Tronzado de la pieza

Herramienta: Cuchilla para tronzar.

$$\text{Velocidad de corte: } 10 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{10 \cdot 1000}{\pi \cdot 1} \approx 3183 \text{ rpm}$$

$$\text{Avance: } f = 0,01 \text{ mm/rev}$$

$$\text{Velocidad de avance: } V_f = f \cdot n = 0,01 \cdot 3183 = 31,83 \text{ mm/min}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L}{V_f} \cdot 60 = \frac{0,5}{31,83} \cdot 60 \Rightarrow t_c = 1 \text{ s}$$

2. Proceso: Fresado vertical (Punta del alambre)

Herramienta: Fresa vertical (bailarina) de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm de diámetro, fresar con un ángulo de 10° respecto al eje de la pieza.

$$\text{Velocidad de corte: } 70 \text{ m/min} \Rightarrow n = \frac{70}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 3713 \text{ rpm}$$

$$\text{Carga de viruta: } f = 0,01 \text{ mm/Diente}$$

$$\text{Velocidad de avance: } f_r = n \cdot f = 3713 \cdot 0,01 = 37,13 \text{ mm/min} = 1,86 \text{ mm/s}$$

$$\text{Profundidad de corte: } d = 0,49 \text{ mm}$$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de corte:

$$A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{0,49 \cdot (6 - 0,49)} = 1,64 \text{ mm}$$

$$\text{Distancia de mecanizado: } L = 2,88 \text{ mm}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{2,88 + 1,64}{1,86} \Rightarrow t_c = 2,43 \text{ s}$$

3. Proceso: Fresado vertical (Parte posterior del alambre)

Herramienta: Fresa vertical (bailarina) de carburo cementado con recubrimiento FIREX de 6mm de diámetro.



$$\text{Velocidad de corte: } 70 \frac{m}{\text{min}} \Rightarrow n = \frac{70}{\pi \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \approx 3713 \text{ rpm}$$

$$\text{Carga de viruta: } f = 0,01 \frac{\text{mm}}{\text{Diente}}$$

$$\text{Velocidad de avance: } f_r = n \cdot n_t \cdot f = 3713 \cdot 3 \cdot 0,01 = 111,39 \frac{\text{mm}}{\text{min}} = 1,86 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

$$\text{Profundidad de corte: } d = 0,15 \text{ mm}$$

Distancia de aproximación para alcanzar completamente la velocidad de corte:

$$A = \sqrt{d \cdot (D - d)} = \sqrt{0,15 \cdot (6 - 0,15)} = 0,94 \text{ mm}$$

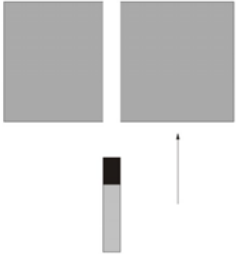
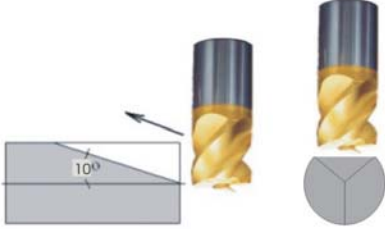
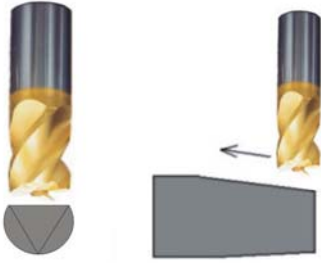
$$\text{Distancia de mecanizado: } L = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Tiempo de mecanizado: } t_c = \frac{L + A}{f_r} = \frac{20 + 0,94}{1,86} \Rightarrow t_c = 11,25 \text{ s}$$

Tabla 22. Tiempos de mecanizado para fabricar los alambres de Kirschner. Opción 2

Tiempo de mecanizado de los procesos necesarios para mecanizar los Alambres de Kirschner				
Proceso N°	Diámetros			
	1mm	1,5mm	2mm	2,5mm
1	1 s	2 s	3 s	4 s
2	(2,43 s)*3	(3,38 s)*3	(4,29 s)*3	(5,17 s)*3
3	(11,25 s)*3	(11,34 s)*3	(11,41 s)*3	(11,48 s)*3
Tiempo total de mecanizado	42 s	46,16 s	50,1 s	54 s
Tiempo real aproximado de mecanizado (tomando en cuenta el posicionamiento de las herramientas y descarga de las piezas = 40 s)	82 s	86,16 s	90,1 s	94 s

Hoja de Procesos

Nombre de la pieza: Alambres de Kirschner		Material: AISI 316 L		N° de Parte:			Cantidad:	
N	Maquina – Operación- Herramienta	V _c [m/min]	n [rpm]	f [mm/diente]	D [mm]	L [mm]	t [s]	Observaciones
1		10	3183	0,01 mm	1	0,5	1	. Después de esta operación la pieza es llevada al centro de mecanizado
2		70	3713	0,01	6	2,88	2,43	Repetir la misma operación 2 veces, rotando el eje C 120° por vez.
3		70	3713	0,01	6	20	11,25	Repetir la misma operación 2 veces, rotando el eje C 120° por vez.



6.2.1.4 Vida de la herramienta

Para predecir la vida aproximada de la herramienta se utilizó la ecuación de Taylor (Anexo 2).

$$v.T^n = C$$

Para las herramientas de corte utilizadas se tomaron valores de $n = 0,5$ y $C = 1200$ m/min. Para los procesos de fresado se tomó una velocidad de corte promedio de 70 m/min y para el torneado una velocidad de corte de 50 m/min.

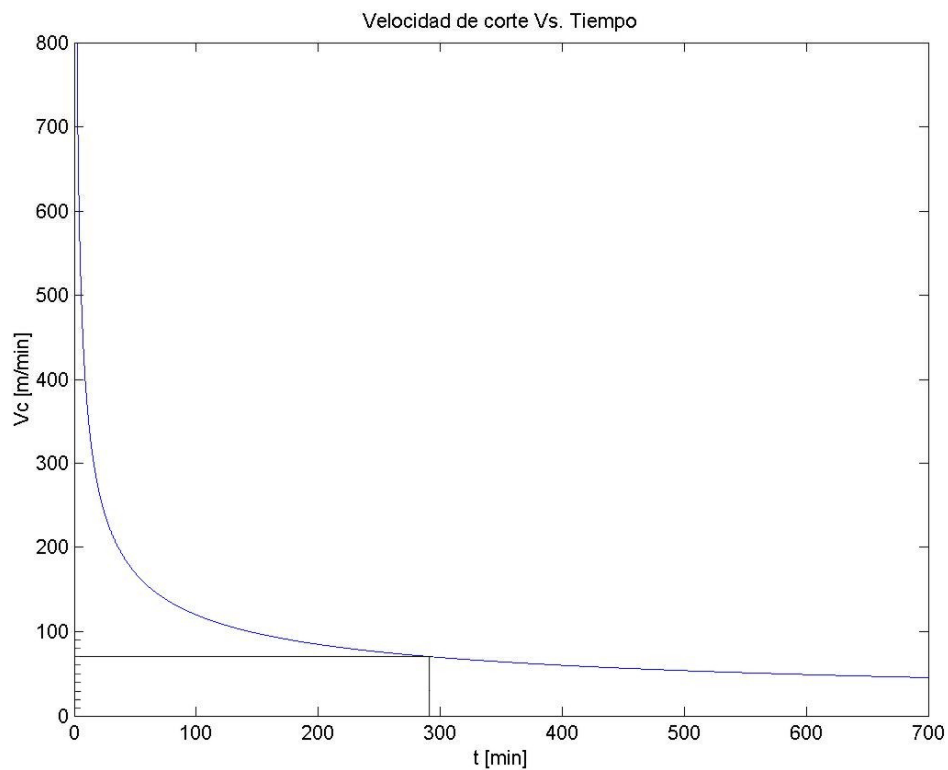


Figura 70. Vida estimada de la herramienta para las operaciones de fresado con una fresa con recubrimiento FIREX.

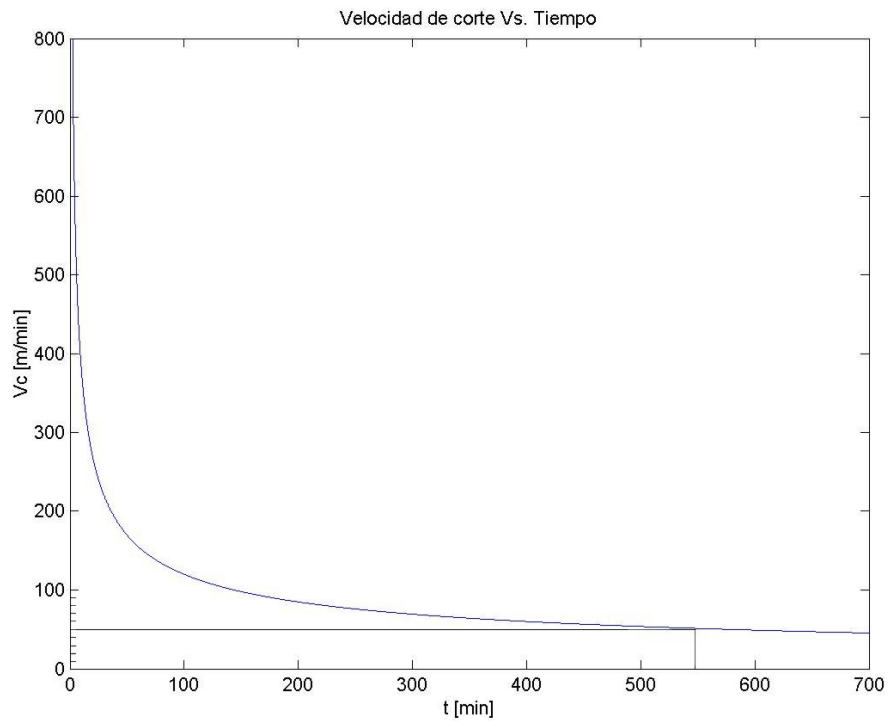


Figura 71. Vida estimada de la herramienta para las operaciones de torneado con plaquita recubierta TiALN.

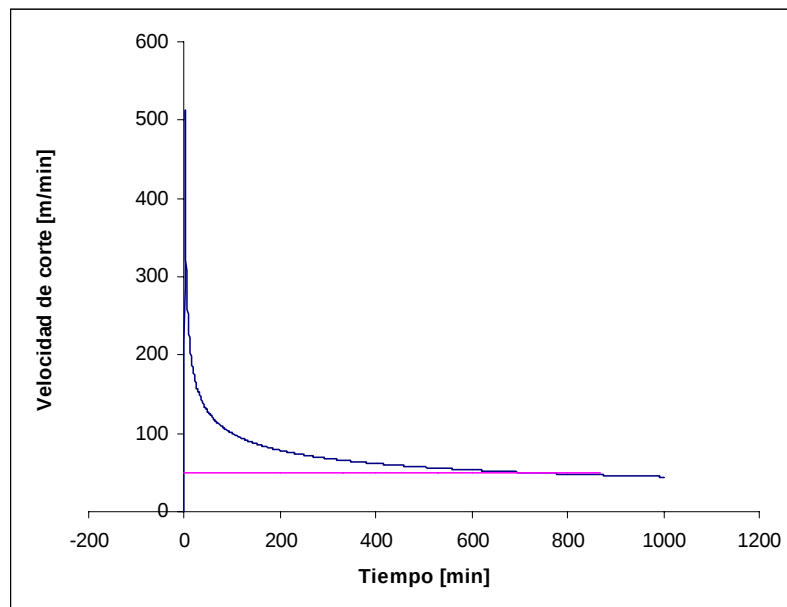


Figura 72. Vida estimada de la herramienta para las operaciones de roscado con una fresa de carburo cementado. Opción 2.



Vida promedio de una fresa con recubrimiento FIREX: 290 minutos.

Vida promedio del inserto para torneear: 550 minutos.

Vida promedio de una fresa de carburo cementado: 700 minutos, puede ser reafileada alrededor de 10 veces = 7000 min

Para la vida promedio de las herramientas de roscado por remolino se tomó la cuarta parte de la duración de la fresa por ser herramientas de carburo sin recubrir a altas velocidades de corte (pero pueden ser reafileadas hasta 30 veces). Tiempo de vida aproximado: $(175,5 \text{ min}) * 40 = 5250 \text{ min}$.

Tabla 23. Número de partes que se pueden fabricar con tres herramientas de forma para roscado por remolino con una vida útil de 5250 min. Número de partes que se pueden fabricar con una herramienta para torneear con una vida útil de 550 min.

Pieza, diámetro (mm)	Número de partes Roscado por remolino	Numero de partes roscadas con una fresa	Número de partes Coneado (torno)
Clavo de Schanz (3,175)	5250	5675	15000
Clavo de Schanz (3,969)	3500	3559	11956
Clavo de Schanz (4,763)	2625	2346	10000



Tabla 24. Número de partes que se pueden fabricar con una fresa (FIREX) con una vida útil de 290 min.

Pieza, diámetro (mm)	Número de partes por fresa
Clavo de Schanz (3,175)	290
Clavo de Schanz (3,969)	287
Clavo de Schanz (4,763)	279
Clavo de Steinmann (3,175)	380
Clavo de Steinmann (3,969)	361
Clavo de Steinmann (4,763)	345
Alambre de Kirschner (1)	424
Alambre de Kirschner (1,5)	394
Alambre de Kirschner (2)	369
Alambre de Kirschner (2,5)	250



6.2.1.5 Utilización del fluido de corte

Opción 1

El uso del fluido de corte a alta presión solo es necesario para el proceso de roscado por remolino, para los demás procesos (debido a las herramientas recubiertas) solo será necesario utilizar pequeñas cantidades.

La capacidad de la bomba del torno para suministrar fluido hacia la pieza está entre 14 y 58 litros por minuto. Suponiendo un uso promedio de 40 litros por minuto para el roscado por remolino y de 14 litros por minuto para las demás operaciones, se estima un consumo de 94 litros de aceite para fabricar el clavo de Schanz de mayor diámetro. Debido a las características del fluido de corte seleccionado, este puede ser reciclado (con una filtración adecuada de los restos de viruta) una gran cantidad de veces, esto es debido a que los agentes de extrema presión presentes en el fluido conservan sus propiedades durante mucho tiempo bajo las condiciones más severas de operación. Esos 94 litros de aceites (120 litros sumando las pérdidas) se podrán usar entonces para la fabricación de aproximadamente 2500 clavos de Schanz (podrían fabricarse muchos más clavos, pero deben realizarse corridas de producción para poder verificarlo). Se estima un promedio de 30 litros para fabricar 2500 clavos de Steinmann y 20 litros para fabricar 2500 alambres de Kirschner. Para una estimación real del uso del fluido de corte, deben realizarse pruebas experimentales, ya que el fluido se puede reciclar solo hasta que se agoten sus propiedades lubricantes y refrigerantes y esto solo lo puede observar el operador al disminuir el acabado superficial de la pieza terminada.



Opción 2

Se estima un consumo de aceite de 80 litros para 5000 clavos de Schanz, 30 litros para fabricar 2500 clavos de Steinmann y 20 litros para fabricar 2500 alambres de Kirschner.

6.2.2 ETAPA DE MARCADO LÁSER

Para los tiempos de operación del proceso de marcado láser, se cuenta con los datos proporcionados por el fabricante del equipo.

Tiempo estimado de marcado para cada una de las piezas, incluyendo carga y descarga: 15 s

La duración de los diodos de Nd: YAG se estima en un rango de 15000 a 20000 horas de operación, sin ningún tipo de mantenimiento.

6.2.3 ETAPA DE LIMPIEZA Y ELECTROPULIDO

El proceso de limpieza y electropulido incluye las siguientes estaciones individuales:

- Estación 1: Limpieza alcalina (Ferrolyte 1030).
- Estación 2: Enjuague con agua fría.
- Estación 3: Decapado ácido (realizado con ácido Nítrico. Deox 2).
- Estación 4: Enjuague con agua fría.
- Estación 5: Electropulido. Hydrite 4000 EP
- Estación 6: Tanque de arrastre (recuperación del electrolito para el electropulido)



- Estación 7: Enjuague.
- Estación 8: Baño en ácido Nítrico diluido.
- Estación 9: Enjuague con agua fría.
- Estación 10: Enjuague con agua caliente.

El fabricante de la estación de limpieza y electropulido proporciona un tiempo estimado de producción, el cual es el siguiente:

Capacidad máxima por cada ocho horas de operación: 150 pies cuadrados de superficie. A esta capacidad se le aplica un factor de eficiencia del 70 %, obteniéndose así una capacidad estimada de 105 pies cuadrados por cada ocho horas de operación. $105 \text{ pies}^2 = 9754819,2 \text{ mm}^2$.



Tabla 25. Cantidad de piezas que pueden ser limpiadas y electropulidas en ocho horas de operación.

Pieza, diámetro (mm)	Área superficial (mm ²)	Número de piezas por cada 8 horas
Clavo de Schanz (3,175)	797,964	12224
Clavo de Schanz (3,969)	1246,89	7823
Clavo de Schanz (4,763)	1795,6	5432
Clavo de Steinmann (3,175)	2992,36	3259
Clavo de Steinmann (3,969)	3711,7	2628
Clavo de Steinmann (4,763)	4489	2173
Alambre de Kirschner (1)	942,47	10350
Alambre de Kirschner (1,5)	1413,71	6900
Alambre de Kirschner (2)	1884,95	5175
Alambre de Kirschner (2,5)	2356,19	4140

Si bien puede deducirse que los equipos de limpieza y electropulido aparentan estar sobredimensionados para las producciones a manejarse, es importante destacar



que la misma instalación será utilizada para tratar los demás productos de la planta como prótesis de cadera, clavos intramedulares, placas de osteosíntesis, etc.

6.2.3.1 Disposición de los residuos de la limpieza y electropulido

Las estaciones de limpieza y electropulido generan vapores y residuos líquidos extremadamente tóxicos para el cuerpo humano los cuales no deben ser desechados al medio ambiente sin un adecuado tratamiento.

El sistema de ventilación del equipo seleccionado proporciona un tiro de aproximadamente 6700 cfm para todos los tanques de alta temperatura y para los tanques de ácido. La estructura será fabricada con polímeros resistentes a la corrosión incluyendo ranuras para la eliminación de humo y vapor de agua de las estaciones de procesos químicos. Este sistema de ventilación cumple con todos los requerimientos de organizaciones como EPA y OSHA, así como de la Conferencia Americana de Higienistas Industriales y Gubernamentales.

En lo que respecta a los residuos de limpieza y electropulido podemos encontrar presencia de ácido fosfórico y nítrico. El sistema escogido dispone de un reactor de carga diseñado para realizar procesos de floculación y precipitación de las sustancias de desecho, un neutralizador de ph para las sustancias de características muy alcalinas o muy ácidas y un filtro de bolsa para los residuos sólidos.

El mayor problema se encuentra en la presencia de iones de metales pesados como el hierro, el cromo y el níquel. Estas sustancias son terriblemente dañinas para el cuerpo humano y aún se encuentra en investigación la forma más efectiva y económica de eliminarlas de las aguas residuales. Entre los procesos que actualmente se encuentran en uso a nivel mundial los más importantes son el uso de torres de intercambio iónico y el uso de resinas quelantes.

6.3 DISTRIBUCIÓN DEL ÁREA DE PROCESOS

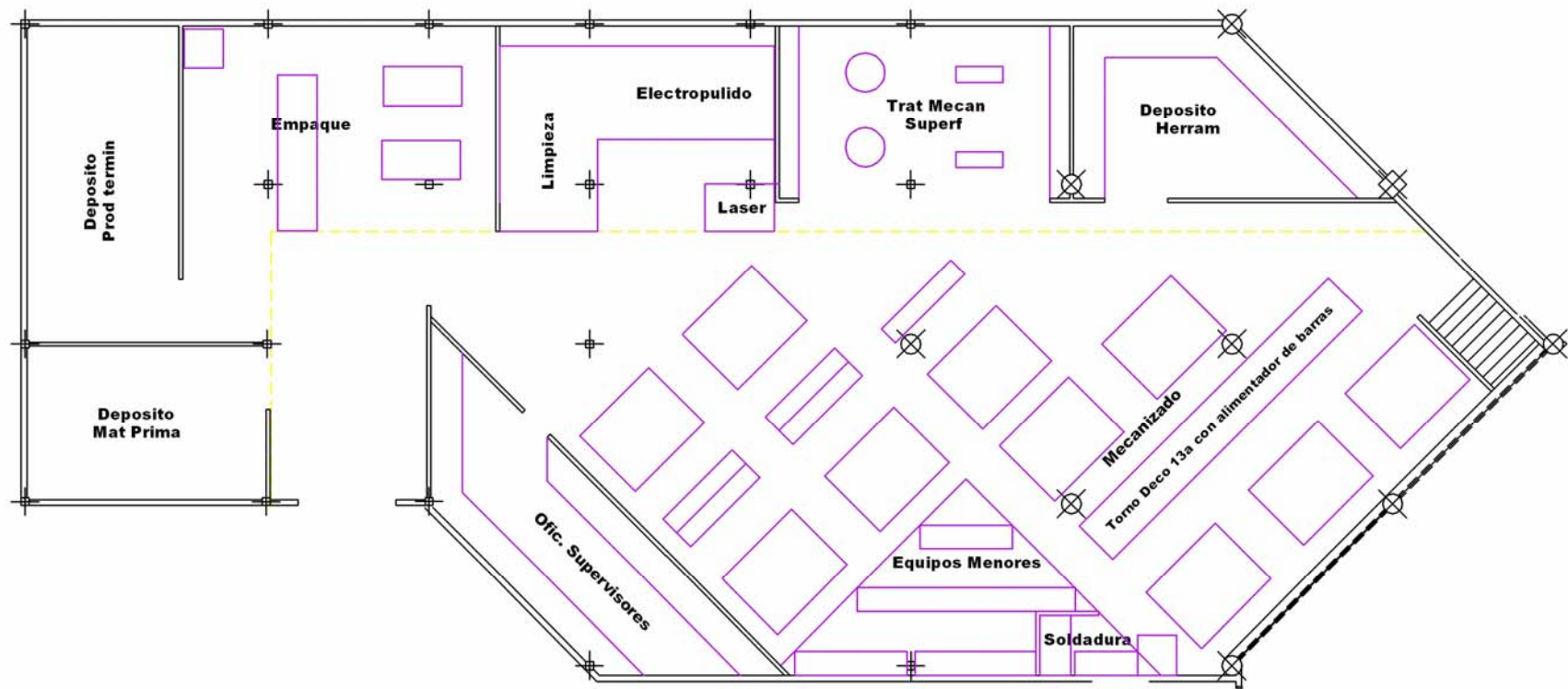


Figura 73. Distribución de la planta. Opción1.

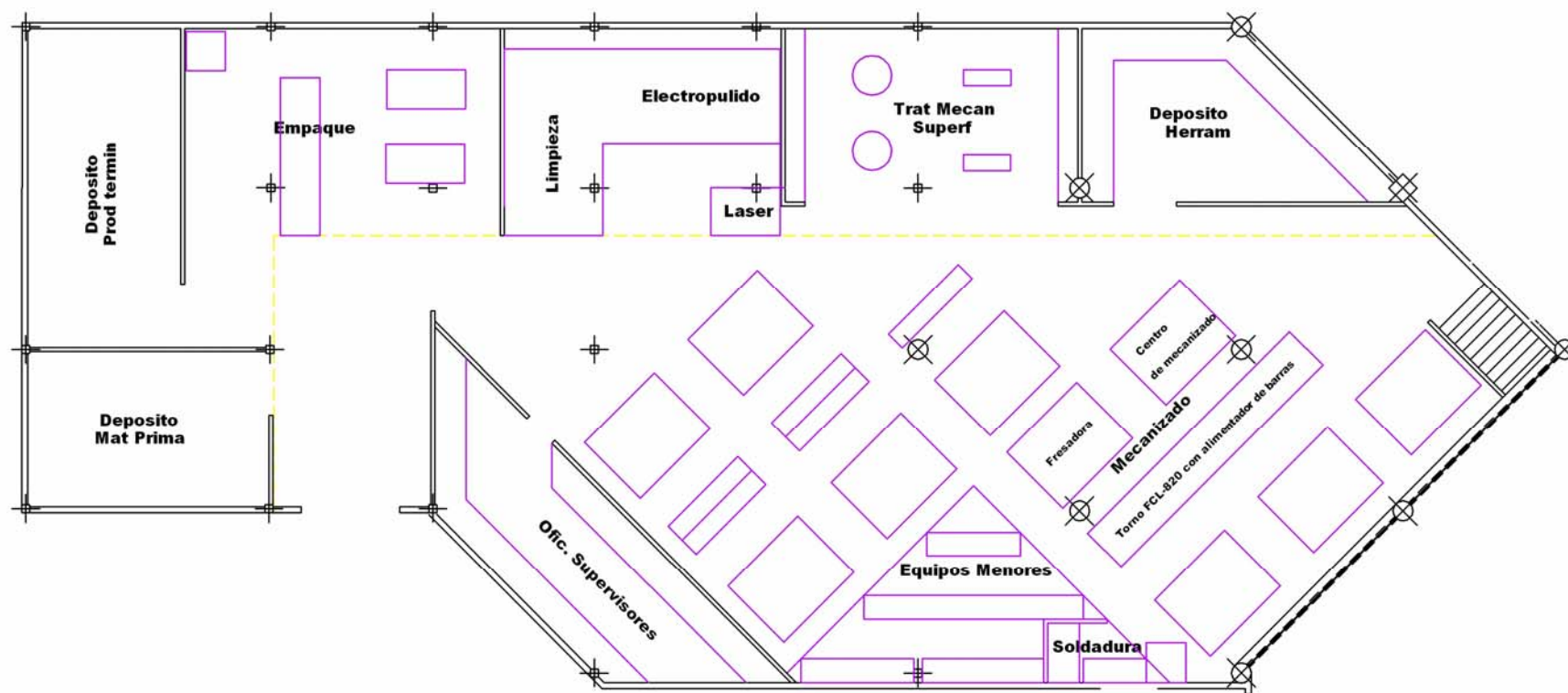


Figura 74. Distribución de la planta. Opción 2.



CAPITULO VII

ANÁLISIS ECONÓMICO



7.1 GENERALIDADES

En este capítulo se discutirá el análisis económico que se llevó a cabo para estudiar la factibilidad del proceso de fabricación en serie para clavos de Schanz, clavos de Steinmann y alambres de Kirschner.

Este análisis económico se divide en las siguientes secciones:

- Costos de materia prima.
- Costos de directos de fabricación
 - Costos de mecanizado
 - Costos de acabado superficial
 - Costos de agua y luz
- Costos indirectos.

Para la determinación de los costos de fabricación se han establecido las siguientes premisas:

- El proceso de fabricación se llevará a cabo tomando en cuenta que los equipos aquí considerados forman parte de una instalación mayor, destinada a la producción de todo tipos de implantes ortopédicos.
- Los costos aquí determinados corresponden a costos netos de fabricación, por lo que no incluyen costos de distribución, administración y empaque, así como tampoco las ganancias e impuestos sobre la renta, flujo de caja ni tasas de retribución.
- Para calcular el costo de máquina por hora y así determinar el costo por unidad fabricada, se utilizará el método de depreciación para los equipos.
- Todos los precios se encuentran en dólares norteamericanos (\$).



- En el caso de los materiales procedentes de importación, las cifras mostradas incluyen los costos de nacionalización, tales como aranceles y fletes respectivos.
- Los precios de productos nacionales, así como los salarios, se llevaron a dólares según la tasa oficial cambiaria actual, 1\$ = 1920 Bs.
- El año hábil es de 220 días y cada día de operación es de siete horas efectivas (aquí se toma en cuenta la pérdida de tiempo de operación del trabajador mientras va al baño, marca tarjeta, limpia el equipo, etc.).

7.2 COSTOS DE MATERIA PRIMA

Acero AISI 316L para la fabricación de Clavos de Schanz y Clavos de Steinmann, precios suministrados por la empresa ULBRICH. Presentación: Barras de diez pies de longitud.

Tabla 26. Cálculo del costo de materia prima por unidad fabricada para Clavos de Schanz y Clavos de Steinmann.

DIÁMETRO [mm]	PRECIO DE LA BARRA [\$]	COSTO POR UNIDAD [\$]
Clavos de Schanz		
3,175	29,625	0,78
3,969	11,625	1
4,763	11,625	0,775
Clavos de Steinmann		
3,175	29,625	2,96
3,969	25	2,5
4,763	11,625	1,16



Acero AISI 316L para la fabricación de alambres de Kirschner, precios suministrados por la empresa ULBRICH. Presentación: Rollos de alambre estirados en frío.

Precios:

- Ø 1mm: 34,83 \$/Kg
- Ø 1.5mm: 32,08 \$/Kg
- Ø 2mm: 30,25 \$/Kg
- Ø 2.5mm: 29,1 \$/Kg

Tabla 27. Cálculo del costo de materia prima por unidad fabricada para Alambres de Kirschner.

DIÁMETRO [MM]	VOLUMEN [CM ³]	MASA [GR]	COSTO POR UNIDAD [\$]
1	0,236	1,88	0,065
1,5	0,530	4,24	0,136
2	0,94	7,54	0,23
2,5	1,47	11,78	0,34

7.3 COSTOS DIRECTOS DE FABRICACIÓN

7.3.1 Costos de mecanizado

HERRAMIENTAS

Para las dos opciones de equipos descritas en el capítulo anterior el costo en herramientas solo varía en la fabricación de la rosca de los clavos de Schanz, para la opción 1 es un cabezal de roscado por remolino y para la opción 2 es una fresa de disco con perfil adecuado a la rosca.



Todos los datos que se presentan a continuación son tomados del capítulo anterior, en el cual se diseñó el proceso de fabricación, donde se reflejan en diversas tablas la vida de las herramientas y las piezas producidas por cada una (valores estimados).

a) Fabricación de la rosca

Costo de reposición de herramientas del cabezal para roscado por remolino, 15% del precio del cabezal: **\$656,5**

Costo de una fresa de disco con perfil ajustado a la rosca: 157\$

Tabla 28. Costo por reposición de herramienta para roscado por remolino (opción 1) y fresa para roscar (opción 2)

DIÁMETRO [mm]	PIEZAS FABRICADAS (ROSCADO POR REMOLINO)	COSTO POR PIEZA [\$]	PIEZAS FABRICADAS (ROSCADO CON MÁQUINA FRESADORA)	COSTO POR PIEZA [\$]
3,175	2900	0,23	5675	0,23
3,969	1933	0,34	3559	0,34
4,763	1450	0,45	2346	0,45

b) Fabricación de la parte posterior de todas las piezas, cincel y gavilanes de los clavos de Schanz y punta de los alambres de Kirschner y clavos de Steinmann

Herramienta: Fresa de carburo cementado con recubierto FIREX TM marca GUHRING, precio: \$ 50

**Tabla 29. Costo por pieza fabricada con una fresa con recubrimiento FIREX.**

DIÁMETRO [mm]	PIEZAS POR HORA	COSTO POR PIEZA [\$]
Clavos de Schanz		
3,175	290	0,17
3,969	287	0,175
4,763	279	0,18
Clavos de Steinmann		
3,175	380	0,13
3,969	361	0,14
4,763	345	0,145
Alambres de Kirschner		
1	424	0,12
1,5	294	0,13
2	369	0,14
2,5	250	0,2

c) Coneado de la punta de los clavos de Schanz.

Herramienta: Inserto para torneear, marca Kennametal, grado KC5010 (TiAlN). Precio: 16,8\$.

Tabla 30. Costo por pieza fabricada con un inserto con recubrimiento TiAlN.

CLAVO DE SCHANZ DIÁMETRO (mm)	PARTES POR HERRAMIENTA	COSTO POR UNIDAD [\$]
3,175	15000	0,002
3,969	11956	0,002
4,763	10000	0,002

Fluido de corte basado en los aditivos LZ-5340, LZ-5346, LZ-5347 y aceite PDV 85N. Precio: 1\$ por litro.



COMPARACIÓN DE COSTOS PARA LAS DOS OPCIONES DE FABRICACIÓN

Opción 1

TORNO modelo Deco 13a

Precio: \$ 482.414,27.

Opción 2

- CENTRO DE MECANIZADO VERTICAL, marca CHEVALIER, MODELO 1418 VMC. Precio: 77.673 \$.
- FRESADORA UNIVERSAL, marca MILKO, modelo 35-R. Precio: 47.606 \$.
- TORNO CNC MARCA OKUMA MODELO ES-L 8 con alimentador de barras. Precio: 124.616 \$.

Tabla 31. Costos directos de fabricación para la opción 1.

	Personal	Equipo
	Tecnico Sup.	Torno Suizo
Costo Global [\$]	500,00	482.414,27
Vida útil (años)		15
Depreciación Mensual [\$]		0,00555556
Costo Mensual [\$]	850,00	2.680
Costo por minuto hábil	0,11	0,35

	Personal	Máquinas	Fluido corte	Herramientas	Costo total
Piezas	[min]	[min]	[\$]	[\$]	[\$]
Schanz (3,175)	2,712	2,712	0,048	0,402	1,69752
Schanz (3,969)	3,27	3,27	0,048	0,517	2,0692
Schanz (4,763)	3,83	3,83	0,048	0,632	2,4418
Steinmann (3,175)	1,043	1,043	0,012	0,132	0,62378
Steinmann (3,969)	1,093	1,093	0,012	0,142	0,65678
Steinmann (4,763)	1,14	1,14	0,012	0,147	0,6834
Kirschner (1)	0,95	0,95	0,008	0,122	0,567
Kirschner (1,5)	1,02	1,02	0,008	0,132	0,6092
Kirschner (2)	1,085	1,085	0,008	0,142	0,6491
Kirschner (2,5)	1,15	1,15	0,008	0,202	0,739

Factor de eficiencia diaria del operador: 75%

Factor de prestaciones sociales: 70%. Cabe destacar que este valor está un poco por encima del valor real dispuesto en el artículo 108 de la ley orgánica del trabajo, pero los intereses sobre prestaciones sociales varían todos los meses, así que se optó por utilizar ese porcentaje como un valor fijo mensual.

Tabla 32. Costos directos de fabricación para la opción 2.

	Personal				Máquinas y equipos		
	Técnico Sup.	Técnico Sup.	Técnico Medio	Ayudante	Torno CNC	Centro de M	Fresadora
Costo Global [\$]	500,00	500,00	350,00	200,00	124.616	77.673	47.606
Vida útil (años)					15	15	20
Depreciación Mensual					0,00555556	0,00555556	0,00416667
Costo Mensual	850,00	850,00	595,00	340,00	692	432	198
Costo por minuto hábil	0,11	0,11	0,08	0,04	0,09	0,06	0,03

Piezas	Gastos de Personal (Minutos)				Uso de Máquinas (minutos)			Fluido corte [\$]	Herramientas [\$]	Costo total [\$]
Schanz (3,175)	0,438	1,092	1,468	3	0,438	1,092	1,468	0,016	0,2	0,77072
Schanz (3,969)	0,58	1,18	2,24	4	0,58	1,18	2,24	0,016	0,22	0,959
Schanz (4,763)	0,69	1,2	3,27	5,16	0,69	1,2	3,27	0,016	0,25	1,1741
Steinmann (3,175)	0,2	1,261	0	1,461	0,2	1,261	0	0,012	0,132	0,45681
Steinmann (3,969)	0,2	1,3	0	1,5	0,2	1,3	0	0,012	0,142	0,475
Steinmann (4,763)	0,21	1,34	0	1,55	0,21	1,34	0	0,012	0,147	0,4908
Kirschner (1)	0,18	1,18	0	1,36	0,18	1,18	0	0,008	0,122	0,421
Kirschner (1,5)	0,2	1,24	0	1,44	0,2	1,24	0	0,008	0,132	0,4484
Kirschner (2)	0,22	1,285	0	1,505	0,22	1,285	0	0,008	0,142	0,47265
Kirschner (2,5)	0,23	1,33	0	1,56	0,23	1,33	0	0,008	0,202	0,5445

Como se puede observar comparando las dos tablas anteriores, la opción número dos representa una inversión inicial mucho menor y un costo unitario por pieza fabricada de casi la mitad en algunos casos. Es por esto que se tomó como la alternativa más conveniente para el proceso de fabricación.



7.3.2 Costos de los procesos de acabado superficial

Equipo de marcado láser modelo Cobra

Precio: 56250 \$.

Debido a las características del equipo se deprecia a 10 años. Costo por hora de operación: 3,65 \$.

Costo por hora del ayudante compartido por la estación de marcado láser y electropulido: 1,2 \$

Independientemente de la pieza marcada, se producen 240 partes por hora. Costo por pieza fabricada: 0,02 \$.

Línea Integrada de limpieza y electropulido modelo 1080

Precio: 167375 \$.

Debido a las características del equipo se deprecia a 10 años. Costo diario de operación: 76 \$.

Costo de reposición de los químicos:

- Limpiador alcalino Ferrolyte 1030, 26,25 \$ por galón, con un uso promedio de 100 galones por año. Costo diario: 12\$.
- Ácido DEOX para decapado, 20 \$ por galón, con un uso promedio de 100 galones por año. Costo diario: 5,1 \$.
- Solución para electropulido Hydrite 4000, 20,31\$ por galón, con un uso promedio de 100 galones. Costo diario: 9,23 \$.



Costo total diario: 102,33. Costo por hora de operación: 14,62\$.

Costo por hora del operador: 4,8 \$.

Costo por hora del ayudante compartido por la estación de marcado láser y electropulido: 1,2 \$

Tabla 33. Costo de limpieza y electropulido por pieza fabricada.

DIÁMETRO [mm]	PIEZAS POR HORA	COSTO POR PIEZA [\$]
Clavos de Schanz		
3,175	1528	0,0134
3,969	977	0,021
4,763	679	0,031
Clavos de Steinmann		
3,175	407	0,051
3,969	328	0,063
4,763	271	0,076
Alambres de Kirschner		
1	1293	0,016
1,5	862	0,024
2	646	0,032
2,5	517	0,04

7.3.3 Costos de agua y luz

Se tomaron en cuenta los consumos probables de agua y luz en cada una de las estaciones.

Consumo eléctrico promedio

Tarifa comercial de la compañía LA ELECTRICIDAD DE CARACAS: 57,7 Bs. por KWh = 0,03 \$ por KWh.

**Tabla 34. Costo promedio por hora de consumo eléctrico.**

ESTACIÓN	POTENCIA PROMEDIO [KW]	COSTO POR HORA [\$]
MECANIZADO	25	0,75
ELECTROPULIDO	10	0,3
MARCADO LÁSER	2	0,06
ILUMINACIÓN	1	0,03

Consumo de agua promedio

Tarifa comercial de la empresa HIDROCAPITAL: 928 Bs. por $m^3 = 0,49 \$$ por m^3 .

Consumo promedio de la estación de electropulido: $2,3 m^3/h = 1,127 \$$ por hora de operación.

Tabla 35. Costo por consumo de agua y luz en los procesos de fabricación

DIÁMETRO [mm]	COSTO POR CONSUMO DE LUZ ELÉCTRICA [\$]	COSTO POR CONSUMO DE AGUA [\$]
Clavos de Schanz		
3,175	0,021	0,001
3,969	0,026	0,002
4,763	0,031	0,002
Clavos de Steinmann		
3,175	0,009	0,0035
3,969	0,01	0,0041
4,763	0,01	0,0050
Alambres de Kirschner		
1	0,008	0,001
1,5	0,009	0,0015
2	0,009	0,0021
2,5	0,009	0,0026



7.4 COSTOS INDIRECTOS

Arrendamientos		Uso (%)	Costo mensual
Taller (800 Mt2)	2.400.000	15%	360.000
Oficinas	3.600.000	15%	540.000
Total Arrendam.			900.000

Servicios		Uso (%)	Costo mensual
Luz eléctrica	650.000	15%	97.500
Agua	400.000	15%	60.000
Teléfonos	800.000	15%	120.000
Gastos Oficina	1.200.000	15%	180.000
Celulares	400.000	15%	60.000
Total Servicios			517.500

		Mensual				
Equipos	Precio	Vida (años)	Depreciación Mensual	Costo Depreciación	Dedicacion (%)	Costo mensual
Computadoras (12)	21.600.000	2	0,04166667	900.000	15%	135.000
Mobiliario de oficina	20.000.000	10	0,00833333	166.667	15%	25.000
Total Equipos				1.066.667		160.000

Gastos de Personal						
Personal					Dedicacion (%)	Costo mensual
Administrativo	Honorarios	Prest.%	Prest. Bs	Total		
Presidente	2.400.000	70%	1.680.000	4.080.000	15%	612.000
Administrador	600.000	70%	420.000	1.020.000	15%	153.000
Medico asesor	1.000.000	70%	700.000	1.700.000	15%	255.000
Contador	400.000	70%	280.000	680.000	15%	102.000
Gerente Ventas	600.000	70%	420.000	1.020.000	15%	153.000
Secretaria	250.000	70%	175.000	425.000	15%	63.750
Personal de limpieza (3)	600.000	70%	420.000	1.020.000	15%	153.000
Total Administrativo	5.850.000		4.095.000	9.945.000		1.491.750
Técnico	Honorarios	Prest.	Total bruto	Total	Dedicacion (%)	Costo mensual
Gerente de planta	1.500.000	70%	1.050.000	2.550.000	15%	382.500
Almacenistas (2)	310.000	70%	217.000	527.000	15%	79.050
Control de Calidad (2)	700.000	70%	490.000	1.190.000	15%	178.500
Supervisores (2)	800.000	70%	560.000	1.360.000	15%	204.000
Programadores (1)	400.000	70%	280.000	680.000	15%	102.000
Total Técnico	3.710.000		2.597.000	6.307.000		946.050
Total personal	9.560.000		6.692.000	16.252.000		2.437.800

	Bs/Mes	Bs/Hr	\$/Hr
Costos Indirectos	4.015.300	23.900,60	12,45



El proceso que limita el tiempo de fabricación de las piezas es el mecanizado de estas, por lo tanto se tomarán estos datos para determinar la incidencia de los costos indirectos en el costo unitario de las piezas.

Tabla 37. Incidencia de los costos indirectos en las piezas a fabricar

DIÁMETRO [mm]	PIEZAS POR HORA	COSTO POR PIEZA [\$]
Clavos de Schanz		
3,175	20	0,6225
3,969	15	0,83
4,763	11	1,13
Clavos de Steinmann		
3,175	41	0,3
3,969	39	0,32
4,763	38	0,33
Alambres de Kirschner		
1	43	0,29
1,5	41	0,3
2	40	0,311
2,5	38	0,33



7.5 COSTO TOTAL DE LAS PIEZAS A FABRICAR

Tabla 38. Determinación del costo total por pieza fabricada.

DIÁMETRO	COSTOS POR MATERIA PRIMA [\$]	COSTOS DIRECTOS [\$]	COSTOS INDIRECTOS [\$]	COSTO TOTAL [\$]
CLAVOS DE SCHANZ				
3,175	0,780	0,82612	0,6225	2,22862
3,969	1,000	1,028	0,83	2,858
4,763	0,775	1,2581	1,13	3,1631
CLAVOS DE STEINMANN				
3,175	2,960	0,54031	0,3	3,80031
3,969	2,500	0,5721	0,32	3,3921
4,763	1,160	0,6018	0,33	2,0918
ALAMBRES DE KIRSCHNER				
1	0,065	0,466	0,29	0,821
1,5	0,136	0,5029	0,3	0,9389
2	0,230	0,53575	0,311	1,07675
2,5	0,340	0,6161	0,33	1,2861

Tabla 39. Costo de importación de las piezas.

DIÁMETRO [mm]	COSTO [\$]
Clavos de Schanz	
3,175	10,61
3,969	12,74
4,763	14,15
Clavos de Steinmann	
3,175	6,76
3,969	6,76
4,763	6,76
Alambres de Kirschner	
1	6,76
1,5	6,76
2	6,76
2,5	6,76



Observando el contenido de las dos tablas anteriores, se puede deducir fácilmente que es factible fabricar estas piezas en el país, la diferencia en costos es aproximadamente cinco veces mayor cuando se importan, de lo que serían al producirse aquí. Sin embargo, debe mencionarse que para lograr este nivel de factibilidad es necesario que las tasas de producción sean tan altas como las descritas en este trabajo de grado, de lo contrario el alto costo de los equipos no sería justificable.

Para una producción aproximada anual de 5000 Clavos de Schanz, 5000 Clavos de Steinmann y 10000 Alambres de Kirschner el porcentaje ocioso de los equipos seleccionados es el siguiente:

Torno CNC: 110 días hábiles

Fresadora universal: 163 días hábiles

Centro de mecanizado: 110 días hábiles.

Este tiempo ocioso va a ser destinado a la fabricación de otro tipo de piezas para poder justificar los costos de producción aquí descritos.

CONCLUSIONES

A través de los estudios realizados se determinó que el método óptimo para la fabricación de la rosca de los Clavos de Schanz es mediante un proceso de corte. De acuerdo al análisis técnico realizado se escogieron dos procesos, el fresado de roscas y el roscado por remolino (thread whirling).

El proceso de roscado por remolino, realizado con un cabezal diseñado para funcionar en un torno tipo suizo de cabezal deslizante demostró ser el más efectivo de todos los encontrados en el mercado a escala mundial para esta aplicación, por su alta productividad, excelente acabado superficial y capacidad para roscar metales tan duros como el titanio, el cual es ampliamente usado en la industria médica y dental, además de fabricar toda la pieza en un solo equipo controlado numéricamente, lo que reduce la incidencia del error humano al mínimo. La desventaja encontrada en este proceso la arrojó el análisis económico realizado, debido al alto costo del equipo y a su limitación para fabricar solo piezas de pequeños diámetros. Por lo tanto, fue descartado.

En consecuencia, la alternativa seleccionada es un proceso menos automatizado realizado en una estación conformada por tres máquinas, un torno CNC, una fresadora universal (para la fabricación de la rosca) y un centro de mecanizado. Esta configuración representa una inversión inicial de solo el 51% del costo del torno tipo suizo. Además, por ser máquinas universales, permite la fabricación de todo tipo de piezas distintas a tornillos y clavos, convirtiéndola en una opción más rentable y versátil. Esta opción, además de ser más viable económicamente, genera dos empleos adicionales, lo que favorece al mercado de trabajo en el país.



Se diseñó un proceso completo de fabricación en serie para Clavos de Schanz, Clavos de Steinmann y Alambres de Kirschner, el cual incluye todos los pasos necesarios para producir las piezas, desde que las barras de acero entran a la estación de mecanizado hasta que el producto final está listo para su empaque.

Se demostró que es posible fabricar este tipo de piezas en el país. Sin embargo, para que sea rentable, el proceso debe realizarse en una planta con un alto nivel de producción para justificar el elevado costo de los equipos seleccionados. En este trabajo de grado el proceso de fabricación se diseñó como parte de una planta dedicada a la producción de todo tipo de implantes ortopédicos. Por lo tanto, los equipos seleccionados se podrán utilizar para fabricar otro tipo de piezas y así garantizar que éstos se mantengan operando el mayor tiempo posible, lo que permite disminuir los costos de producción por unidad.

RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos, al completar el diseño de un proceso de fabricación en serie para clavos de Schanz y alambres de Kirschner, se hacen las siguientes recomendaciones para la futura manufactura de las piezas estudiadas:

- Utilizar las herramientas seleccionadas para el mecanizado de las piezas, pues estudios anteriores demostraron la pobre capacidad de las herramientas de acero rápido para la aplicación descrita en este trabajo especial de grado.
- Se recomienda el uso del fluido de corte seleccionado y no el de fluidos a base de agua pues favorecen la proliferación de bacterias, creando un ambiente de trabajo insalubre el cual no debe permitirse en la fabricación de piezas para uso médico.
- Se recomienda la construcción de un tanque para almacenamiento de agua para el suministro de la estación de limpieza y electropulido.
- Deben realizarse corridas de producción para verificar experimentalmente los datos obtenidos antes de poner en marcha el proceso de fabricación.
- Los valores obtenidos en el análisis económico pueden tomarse como referencia, pero deben ser actualizados a la tasa cambiaria vigente para el momento de la aplicación del proceso diseñado en este trabajo.
- Al poner en marcha la estación de electropulido deben hacerse mediciones de dureza del agua residual para el diseño de su adecuado tratamiento.
- Para la estación de marcado láser se debe obligar a los operadores a colocarse lentes protectores, de no hacerlo sus ojos pueden ser gravemente dañados.



- Deben tomarse las debidas precauciones al manejar los químicos necesarios para el electropulido pues son agentes altamente tóxicos para el ser humano.

APENDICE

APENDICE A. DURACIÓN Y DESGASTE DE LA HERRAMIENTA

En todo proceso de manufactura tiene que haber un equilibrio entre el volumen de producción y los costos de producción. Es por esto que un tema de mucha importancia es el desgaste y duración de la herramienta bajo las distintas condiciones de trabajo.

Desgaste de la herramienta

La vida de la herramienta de corte puede terminar por varias causas, pero éstas pueden separarse en dos grupos principales:

1. El desgaste progresivo de la herramienta.
2. Fallas mecánicas que lleven a la herramienta a un final prematuro.

El *desgaste progresivo* de la herramienta se puede producir de tres maneras distintas:

- Desgaste por abrasión: ocurre cuando materiales más duros que la herramienta toman contacto con ésta rayándola y desgastándola.
- Desgaste por adhesión: como en la zona de corte existe una alta temperatura, el material de corte y la herramienta se sueldan y, al separarse, parte de la herramienta se desprende.
- Desgaste por difusión: se produce a partir del aumento de temperatura de la herramienta, con lo que se produce una difusión entre las redes cristalinas de la pieza y la herramienta, debilitando la superficie de la herramienta.



El desgaste se puede observar en dos regiones de la herramienta, la cara y el flanco.

El desgaste en la cara se presenta como un cráter, lo que es un resultado del paso de viruta caliente al fluir a lo largo de la cara.

Por otro lado, el desgaste del flanco es plano y es causado por el roce entre la pieza y la herramienta; en este caso se pueden distinguir tres períodos de desgaste en la vida de una herramienta:

- Fractura inicial, el filo agudo se desportilla rápidamente.
- Desgaste progresivo uniforme.
- Fractura rápida, el desgaste progresa a una tasa creciente.

Estos tres períodos se muestran en la figura 1.

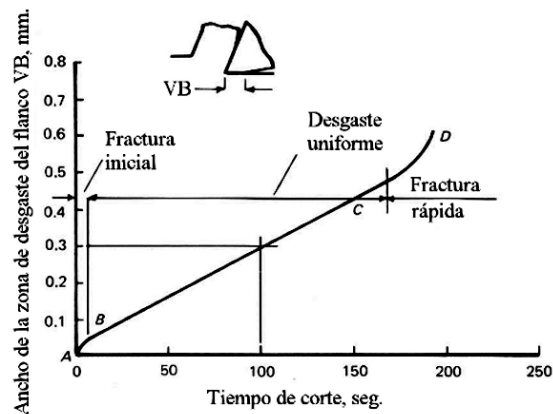


Fig. 1

La figura 2 ilustra el desgaste en la cara y el flanco de una herramienta en una operación de mecanizado.

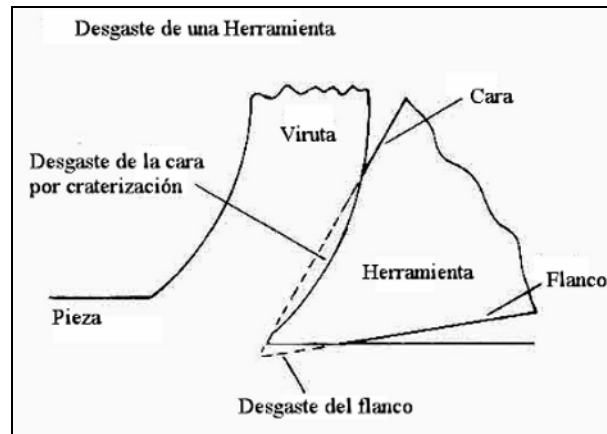


Fig. 2

Las *fallas mecánicas* se pueden producir en cualquier momento, debe existir por lo tanto precaución ante el hecho de usar inadecuadamente un avance o encaje demasiado grande, pues al ocurrir una falla de este tipo, la herramienta será inútil inmediatamente, y su costo no es nada de despreciable.

Criterios de duración de una herramienta

El criterio de duración de una herramienta permite obtener un valor mínimo de tiempo de vida para la herramienta antes de que se desgaste. Como en las operaciones de mecanizado el desgaste del cráter y del flanco no son uniformes a lo largo del filo principal, se debe especificar la locación y el grado de desgaste permisible para cada caso.

En la figura 3 se muestra una herramienta ya desgastada. La profundidad del cráter (KT) es medida desde el punto más profundo de éste. También puede apreciarse que el desgaste del flanco es mayor en los extremos del filo principal.



Como el desgaste no es uniforme en las zonas C, B y N, se considera un ancho promedio para la zona central, cuyo valor se estima igual al ancho que existe en la parte más uniforme del desgaste y se denomina VB.

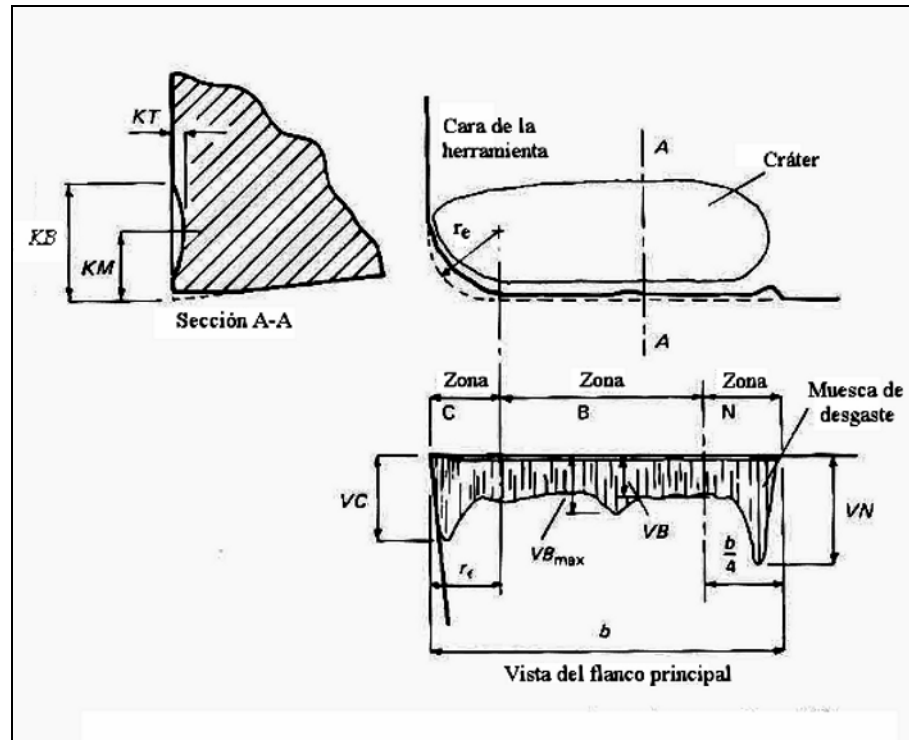


Fig. 3

Criterios para reemplazar una herramienta

Los criterios recomendados por la ISO para definir la duración efectiva de una herramienta son:



Para herramientas de acero rápido o cerámica:

- Por rotura
- Cuando VB promedio = 0,3 mm
- Cuando VB_{máx} = 0,6 mm

Para herramientas de carburo cementado:

- Por rotura
- Cuando VB promedio = 0,3 mm
- Cuando VB_{máx} = 0,6 mm
- Cuando KT = 0,06 + 0,3 * f, donde f es el avance

Duración de la herramienta

La duración de la herramienta se define como el tiempo de corte requerido para alcanzar un criterio de duración de la herramienta. La velocidad de corte es el factor más significativo que afecta la duración de una herramienta. Ésta, junto con el material de trabajo, el material y la forma de la herramienta son claves en la estimación de la vida de esta última.

La relación entre el tiempo de vida y la velocidad de corte de una herramienta está dada por la siguiente ecuación, llamada, en honor a su creador, ecuación de Taylor.

$$\frac{V}{V_r} = \left(\frac{t_r}{t} \right)^n \quad \text{En donde:}$$

n = constante que depende del material de la herramienta

V = velocidad de corte

V_r = velocidad de corte de referencia

t_r = duración de referencia de la herramienta a velocidad de corte V_r

t = vida (duración) de la herramienta a velocidad de corte V



En figura 4 se muestran los valores de V_r , según el material de la herramienta y la dureza del material de la pieza a mecanizar, para el uso de la ecuación de Taylor. Para utilizar esta tabla debe usarse ya sea la dureza Brinnel o la resistencia a la tracción del material a mecanizar, así como el material de la herramienta. Con estos datos se puede ver un pequeño rango de valores para V_r , teniendo en cuenta que en este caso t_r es de 60 segundos.

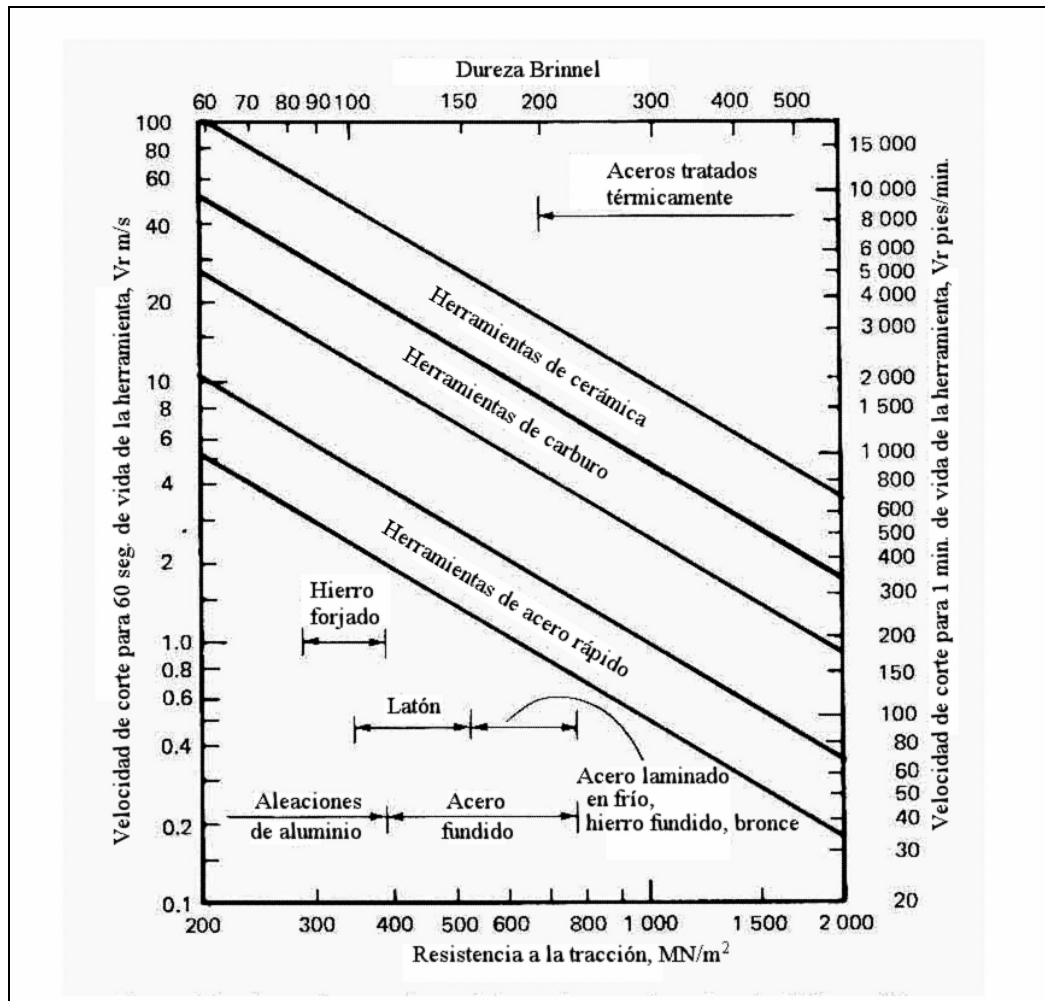


Figura 4



Por otro lado, y como ya se dijo, n es una constante que depende del material de la herramienta. El rango de valores recomendados para n se muestra en el cuadro siguiente.

Material de la herramienta	Valor de n
HSS (acero rápido)	0,08 - 0,2
Carburo cementado	0,2 - 0,49
Cerámica	0,48 - 0,7

Finalmente, en la figura 5 se muestra como varía la vida de la herramienta para distintas velocidades de corte. Podemos ver que a medida que aumentamos la velocidad disminuye la vida de la herramienta, y viceversa. Esto debe tomarse en cuenta a la hora de la selección de la velocidad de corte, ya que con una mayor velocidad aumentaríamos la productividad, pero al mismo tiempo “consumiríamos” más herramientas, incrementando los costos.

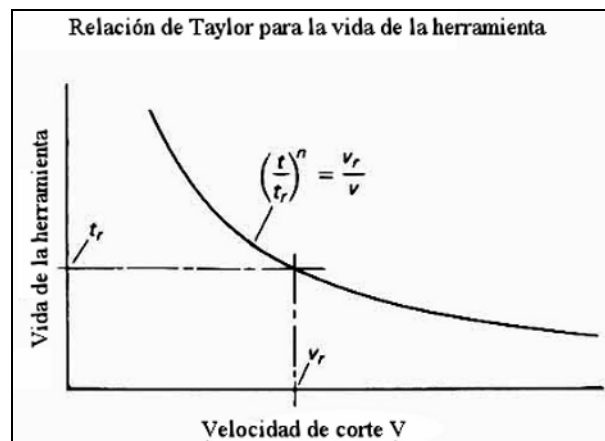


Fig. 5



Operaciones con corte intermitente

En la operación de fresado, el filo está en contacto con la pieza sólo una porción del tiempo total de mecanizado. Los tiempos de vida de la herramienta calculados anteriormente son válidos para este proceso. Sin embargo, la ecuación de Taylor debe ser corregida por un factor Q. Así, la velocidad de corte está dada por:

$$V_{c,p,ef} = V_r * \left(\frac{t_r}{Q * t_{c,p,ef}} \right)^n$$

según cada criterio se usa la velocidad y el tiempo correspondiente.

El coeficiente Q varía según el proceso, a continuación se muestran los coeficientes para el fresado tangencial, fresado frontal y fresado frontal-tangencial. Los tres casos se ilustran en la figura 6.

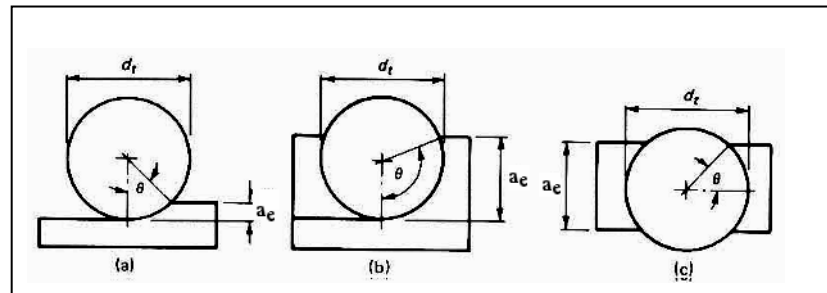


Fig. 6

(a) Fresado tangencial

$$Q = \frac{\theta}{2 * \pi} = \frac{1}{4} + \frac{1}{2 * \pi} * \arcsen \left(\frac{2 * a_c}{d_t} - 1 \right)$$



(b) Fresado frontal

$$Q = \frac{\theta}{2 * \pi} = \frac{1}{4} + \frac{1}{2 * \pi} * \arcsen \left(\frac{2 * a_e}{d_t} - 1 \right)$$

(c) Fresado frontal-tangencial

$$Q = \frac{\theta}{\pi} = \frac{1}{\pi} * \arcsen \left(\frac{a_e}{d_t} \right)$$



APENDICE B. EL FLUIDO DE CORTE

Desempeño del Fluido de Corte

El principal objetivo de aplicar un fluido de corte es reducir el calor responsable del desgaste de la herramienta. Así, la función primaria de un fluido de corte es actuar como **refrigerante**.

La temperatura en la interfase herramienta-pieza de trabajo puede alcanzar 260-480° con herramientas de acero de alta velocidad y llegar a 430-650°C con herramientas de carburo de tungsteno. Es importante que este calor sea disipado rápidamente para minimizar soldaduras. Además, el fluido debe proporcionar un efecto de enfriamiento uniforme, por lo cual debe acceder tanto a la zona de corte como a sus alrededores. Si el enfriamiento no es rápido y uniforme, la máquina, la herramienta y la pieza de trabajo pueden expandirse a velocidades muy diferentes lo que puede ocasionar pérdida de exactitud dimensional en el trabajo.

Debido al elevado calor específico del agua los fluidos emulsionables y los sintéticos son mucho mejores refrigerantes que los aceites. De hecho, la habilidad de un lubricante orgánico para absorber calor es menos de la mitad que la del agua. En otras palabras, con el fin de controlar la temperatura con aceite en la misma extensión que con agua, el flujo de aceite debe ser entre dos y tres veces mayor.

La segunda función de un fluido de corte es servir como **lubricante**. En este rol, el lubricante reduce los coeficientes de fricción entre la herramienta y la viruta, y entre la herramienta y la pieza. Al reducir la fricción y el desgaste se mejora el acabado superficial y se alarga la vida de la herramienta, lo cual es producto de restringir la formación del borde abultado sobre la herramienta de corte. El lubricante reduce el abultamiento al promover la producción de una viruta mas fría, delgada y menos deformada. Esto se logra por la formación de películas adsorbidas sobre la



superficie metálica recién expuesta. Tales películas existen en capas que deslizan sin dificultad una sobre otra y que son más fácilmente cortadas que el propio metal. En pocas palabras, el fluido de corte debe funcionar como un lubricante límite.

La lubricación límite ocurre cuando las superficies están en tan íntimo contacto que no es posible mantener una película de fluido entre ellas. Las presiones y temperaturas asociadas con operaciones de corte de metal como el roscado de acero inoxidable, impiden mantener una película continua de fluido. En tales circunstancias, el fluido debe proveer agentes que reaccionen químicamente con las superficies metálicas para producir compuestos discretos de menor resistencia al corte. La herramienta de corte es entonces capaz de penetrar con menos esfuerzo y con una menor producción de calor, lo que consecuentemente disminuye la soldadura y la formación del borde abultado. En otros procesos de mecanizado donde las fuerzas cortantes no son particularmente severas, no tiene por qué ocurrir una reacción química con la superficie de la pieza, la adsorción física de ciertos compuestos lubricantes puede crear una barrera suficientemente protectora.

La tercera función de un fluido de corte es arrastrar las virutas lejos de la zona de corte. En el caso particular del roscado, para inundar completamente las barras con fluido, se recomienda la instalación de un múltiple de distribución a alta presión. De esa manera se logran los elevados flujos requeridos para remover las virutas y proporcionar la capacidad de enfriamiento adecuada aún usando fluidos de corte formulados con aceite mineral.

Otra función de un fluido de corte puede ser proporcionar protección contra la herrumbre y la corrosión para las nuevas superficies mecanizadas de la pieza de trabajo.



Finalmente, es de resaltar que la efectividad de un fluido de corte depende de factores tales como el método de aplicación, las temperaturas encontradas, las velocidades de corte y el tipo de proceso de maquinado.

La función de un fluido como refrigerante o lubricante es muy dependiente de la velocidad de corte. Por ejemplo, en operaciones de corte de alta velocidad como el fresado, donde la interfase pieza-herramienta es pequeña, la capacidad refrigerante del fluido es de extrema importancia. En cambio, en operaciones de corte a baja velocidad como el brochado, la lubricidad es más importante porque tiende a reducir la formación del borde abultado en la herramienta y mejora el acabado de la superficie de la pieza de trabajo.

Conforme la severidad del proceso de mecanizado aumenta, la necesidad de un fluido efectivo se hace crítica. El grado de severidad depende de las temperaturas desarrolladas en la zona de corte, las fuerzas a que esté sometida la herramienta, la tendencia a formar el reborde abultado y la facilidad con que sean removidas las virutas de la región de corte.

La Química de los Fluidos de Maquinado

Los aditivos químicos usados para formular fluidos para el maquinado de metales cumplen varias funciones. Estas incluyen emulsificación, inhibición de corrosión, lubricación, control microbiano, estabilización de pH, control de espuma, acoplamiento, dispersión y humectación. Los aditivos funcionales usados en fluidos de maquinado cada uno contribuye a la composición total. Sin embargo, muchas de las propiedades de estos aditivos son mutuamente excluyentes, por lo cual se requiere alcanzar un adecuado balance entre ellos para obtener un fluido estable.

Los fluidos de maquinado pueden ser clasificados por su composición en: (1) aceites de corte enteros (neat oils, straight oils), que son aceites derivados de petróleo



o aceites vegetales, solos o compuestos con otros aditivos, que son usados sin dilución con agua; (2) aceites solubles o aceites emulsionables, donde el producto concentrado -formado por aceite con emulsionantes y aditivos especiales- es diluido con agua por el usuario para formar una emulsión de aceite en agua; (3) fluidos semisintéticos, parecidos a los solubles porque son emulsiones de aceite en agua pero con partículas de aceite dispersas en la fase acuosa de tamaño tan reducido -con un diámetro entre una décima y una centésima de micra- que se les llama microemulsiones; y (4) fluidos sintéticos, que son también fluidos con base acuosa, sin aceite mineral, con tamaño de partícula alrededor de tres milésimas de micra.

Tipos de Lubricación

La lubricación ocurre a diferentes regímenes: (1) hidrodinámico o de película de fluido, en el cual dos superficies están completamente separadas por un fluido que ejerce suficiente presión para mantener dichas superficies completamente aparte. Aquí, la viscosidad es la más importante propiedad que afecta la capacidad de soporte de carga; (2) régimen elastohidrodinámico o de película mixta, donde se produce algún contacto entre las asperezas superficiales y la carga es compartida entre las superficies y la película de lubricante, y (3) régimen límite, el cual ocurre cuando no es posible mantener una película continua de fluido y el contacto entre las superficies es inevitable. Bajo estas condiciones una lubricación satisfactoria dependerá del entorno químico de la superficie metálica.

El corte de metales representa un caso de lubricación límite extrema.

Aditivos para Lubricación Límite

Los aditivos químicos usados para formular fluidos de corte para lubricación límite son de dos tipos generales: (1) químicamente activos y (2) químicamente inactivos.



Ambos tipos tienen aplicación tanto en aceites de corte enteros como en fluidos con base acuosa.

Aditivos Químicamente Inactivos

Típicamente, los aditivos del tipo químicamente inactivos son de naturaleza grasosa y ejercen su efecto a través de atracción electrostática. Basta que una pequeña funcionalidad polar en la molécula llegue a ser adsorbida sobre la superficie del metal, mientras que una mucho más larga cadena hidrocarbonada no-polar quede disuelta en el aceite y el resultado neto será una película mono-molecular seguramente anclada que actúa como una barrera protectora. Ácidos carboxílicos, alcoholes, ésteres y aminas, todos con cadenas hidrocarbonadas con más de diez átomos de carbono son apropiados para esta función.

Los aditivos polares también contribuyen a la humectabilidad del lubricante por reducción de la tensión superficial. Aceites con buena humectabilidad tienden a regarse más que a formar gotas sobre una superficie metálica, esto facilita la penetración de la interfase viruta-herramienta y otras áreas que no son fácilmente accesibles al flujo del lubricante. Una buena humectabilidad contribuye al enfriamiento y a la lubricidad del fluido de corte.

Los aceites minerales (o vegetales) por si solos tienen una lubricidad limitada y se restringen a operaciones de maquinado de baja a moderada severidad sobre materiales fáciles de mecanizar tales como aluminio, bronce y ciertas aleaciones ferrosas. Cuando se añade manteca de cerdo u otros compuestos grasos, los aceites adquieren la capacidad de impartir un buen acabado superficial a materiales ligeramente duros de trabajar.



Aditivos Químicamente Activos

Los aditivos de extrema presión (EP) son esenciales cuando las operaciones de corte involucran altas fuerzas, cargas pesadas o metales ferrosos de alta tenacidad. Comúnmente, los hidrocarburos clorados y sulfurados sirven como agentes EP en fluidos de corte. Las temperaturas generadas en la zona de corte causan la descomposición de estos materiales, y el azufre y el cloro liberados reaccionan químicamente con la superficie metálica para formar sulfuros y cloruros con estructuras en forma de capas y baja fricción. Conforme la operación procede, capas de sulfuro o cloruro metálico son continuamente formadas, cortadas y arrancadas, y vueltas a formar; este ciclo mantiene una barrera química que previene la soldadura.

Hidrocarburos Clorados

Las parafinas cloradas, dependiendo de sus características estructurales, pueden llegar a ser activadas a temperatura ambiente. Como las películas resultantes de cloruro de hierro permanecen intactas sólo hasta alrededor de 300°C, las parafinas cloradas están limitadas a aplicaciones moderadas involucrando temperaturas más bajas.

Las parafinas cloradas usualmente no manchan las aleaciones no-ferrosas, pero tienen potencial para una indeseable reactividad química. Bajo condiciones térmicas o hidrolíticas, átomos de cloro lábil pueden separarse como cloruro de hidrógeno, el cual es un ácido altamente corrosivo. Por otra parte, los átomos de cloro no pueden ser tan estables que la disociación requerida para una lubricación límite sea imposible. Aromáticos clorados, por ejemplo, son altamente estables y por tanto inadecuados para la actividad de extrema presión. El orden de reactividad para enlaces carbono-cloro, de mayor a menor, es como sigue: bencilo, terciario, secundario, primario, arilo.



Hidrocarburos Sulfurados

Los hidrocarburos sulfurados que no son particularmente efectivos a más bajas temperaturas, llegan a ser activados alrededor de 300-350°C, y las películas límite de sulfuros que se forman a estas temperaturas permanecen estables hasta los 900-1.000°C. El mecanismo aceptado supone una adsorción superficial, disociación de los enlaces azufre-azufre, y reacción química del azufre elemental liberado con el metal para formar sulfuro de hierro en capas que previenen la soldadura. Se ha encontrado que las películas límite contienen cantidades sustanciales de óxido de hierro que puede jugar un rol de soporte en la actividad de extrema presión.

Compuestos altamente sulfurados que liberan fácilmente azufre elemental son especialmente adecuados para operaciones de mecanizado que involucran altas fuerzas de corte y aleaciones ferrosas tenaces, como el acero inoxidable. Sin embargo, estos mismos materiales pueden reaccionar con cobre, bronce y otras aleaciones no-ferrosas para producir indeseables manchas de sulfuros.

En general, la actividad del azufre - expresada como la tendencia de una molécula a liberar azufre elemental- es una función de dos condiciones: (1) el número de átomos de azufre presente en un puente o eslabón entre ramas hidrocarbonadas, y (2) la fuerza relativa del enlace carbono-azufre. Las reacciones de sulfuración representan un equilibrio químico. Cuando los niveles de azufre son altos, los enlaces azufre-azufre llegan a ser menos estables y las reacciones empiezan a revertir a azufre elemental y sustrato orgánico.

En el caso de olefinas sulfuradas de alto contenido de azufre se tendrán puentes con alto número de átomos de azufre, lo que se traduce en átomos de azufre flojamente unidos y por ende fácilmente disponibles para reacciones químicas. Por el contrario, aceites vegetales o animales sulfurados contienen principalmente puentes de mono- o disulfuros que son menos proclives a la disociación. Estos materiales son



generalmente no reactivos hacia metales no ferrosos porque el azufre está fuertemente enlazado dentro de la molécula. Grasas sulfuradas son adecuadas para maquinar materiales no ferrosos pero fallan en la protección anti-soldadura requerida en las operaciones severas de aleaciones ferrosas. No obstante, en tanto que ellas combinan una moderada actividad química y física son incluidas en formulaciones de maquinado porque imparten un buen acabado superficial.

Compuestos de Fósforo

Los compuestos de fósforo se comportan como suaves aditivos de extrema presión y anti-fricción. Estos son menos efectivos que los compuestos de cloro o azufre para proveer protección anti-soldadura porque las películas de fosfuros permanecen estables solamente a temperaturas relativamente bajas (menos de 350°C). Con frecuencia son escogidos compuestos orgánicos de fósforo para aplicaciones suaves de maquinado porque ellos no manchan, ni corroen, la mayoría de la aleaciones ferrosas o no-ferrosas. Ejemplos típicos son tricresilfosfato, dialquilditiofosfatos y zinc dialquilditiofosfatos.

Efectos de Aditivos Combinados

Frecuentemente la combinación de dos o más agentes de extrema presión asegura un efectivo desempeño anti-soldadura sobre un más amplio rango de temperatura. De esa forma una formulación que contenga cloro y azufre proporciona propiedades de reducción de fricción sobre un mayor intervalo de temperatura que el que es posible obtener con cualquiera de los componentes por separado.

Las combinaciones de cloro y azufre activo son particularmente efectivas en el mecanizado de acero inoxidable. En la etapa inicial de remoción de metal, cuando las temperaturas son bajas, la acción del cloro reduce la fricción y previene un rápido desgaste de la herramienta. Conforme la operación procede, las temperaturas en la



zona de trabajo aumentan, los compuestos de azufre son entonces activados, y la protección anti-soldadura es mantenida.

Sulfonatos Sobrebasificados como Agentes de Extrema Presión

Ciertos sulfonatos "sobrebasificados" de metales alcalinos y alcalinotérreos imparten propiedades de soporte de fuertes cargas a fluidos de corte. Los materiales efectivos se derivan de ácidos sulfónicos de estructura específica y requieren una determinada relación de conversión (proporción de metal al sustrato sulfónico). Estos compuestos, pensados a ser químicamente inerte bajo condiciones de lubricación límite, probablemente previenen la soldadura por adsorción sobre la superficie metálica o por recubrirla con una película de carbonato de baja fricción. Dependiendo de las formulaciones y aplicaciones, los compuestos de sulfonatos son efectivos por si solos o en combinación con azufre activo e inactivo. Ellos despliegan, en efecto, una fuerte sinergia con compuestos de azufre activo. Hoy día se les conoce como agentes de extrema presión pasiva o P.E.P.(Passive Extreme Pressure).

BIBLIOGRAFÍA

Curiel, D. (1999). Diseño de procesos de fabricación y rediseño del extremo cortante de los clavos de schanz. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, UCV, Caracas.

Gouveia, R. (1999). Determinación de los parámetros operativos de los procesos de electropulido y pulido abrasivo en piezas de acero 316L para uso traumatológico. Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, UCV, Caracas

Arias, F. (1999). El proyecto de investigación: Guía para su elaboración, (tercera edición). Caracas: Episteme.

ASM Handbook Vol 16: Machining (1989) Hardcover. 9° edición.

ASM Handbook Vol 5: Surface Engineering (1994) Hardcover. 9° edición.

Michalik, Antoni. Mecanizado de Metales, Editorial Reverté, S.A.

DeGarmo E. Paul, Materiales y Procesos de Fabricación, (2da Edición). Editorial Reverté, S.A.

Feirer L. John – Tatro E. Earl, Maquinado de metales en maquinas de herramientas, (4ta Edición). Compañía Editorial Continental, S.A.

Joung James Frederick, Materials and Processes

Sandvik. (1993). El mecanizado moderno



Norma: ISO 5832-1 (1997), 5838-1 (1995), 5838-2 (1991), 5838-3 (1993).

Norma: ASTM F86

Autodesk Inventor 7 (Programa de computación)

Autodesk Autocad 2004 (Programa de computación)

Corel Graphics Suite 11 (Programa de computación)

Adobe Photoshop (Programa de computación)

www.tesker.com

www.electropolish.com

www.tornos.ch

<http://www.namco-tooling.demon.co.uk/>

www.leistritzcorp.com/whirling/

www.lasonall.com

www.electrox.com

www.sandvik.com

www.ulbrich.com



www.manufacturingcenter.com

www.threadrolling.com

www.manufacturintalk.com

<http://class.et.byu.edu/mfg130/processes/mechanicalreduction.htm>

www.schrillo.com

www.hanscotech.com

www.motorex.com

www.landisthreadingsystems.com

<http://www.brookdaleassociates.com/>

www.itmfl.com

www.marucit.com

www.asimet.cl

