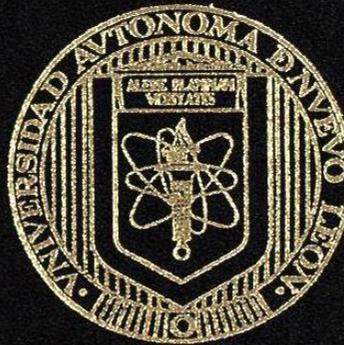


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA:
CUCHILLA PARA TRABAJO EN FRIO

POR

M.C. BUENAVENTURA JAVIER FLORES RODRIGUEZ

TESIS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN
DISEÑO MECANICO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.
JUNIO DE 1999

TM
Z5853
.M2
FIME
1999
F5

1999
DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA:
CUCHILLA PARA TRABAJO EN FRIO
B.J.F.R.



1020130031

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA
DIVISION DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA:
CUCHILLA PARA TRABAJO EN FRIO

POR

M.C. BUENAVENTURA JAVIER FLORES RODRIGUEZ

TESIS

REQUISICION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERIA MECANICA CON ESPECIALIDAD EN
DISEÑO MECANICO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA, N. L.
JUNIO DE 1999

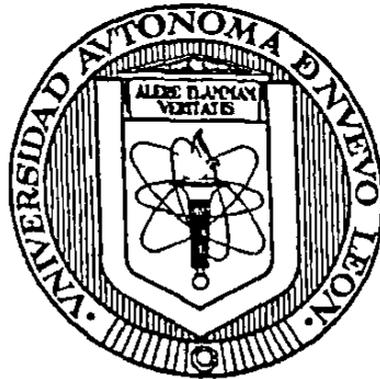
TM
ZS853
.M2
FME
1999
FD

C15 04'60



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA: CUCHILLA PARA TRABAJO EN
FRÍO

POR

M.C. BUENAVENTURA JAVIER FLORES RODRÍGUEZ

TESIS

EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN DISEÑO
MECÁNICO.

SAN NICOLAS DE LOS GARZA N.L.
JUNIO DE 1999

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POST-GRADO



DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA: CUCHILLA PARA TRABAJO EN
FRÍO

POR

M.C. BUENAVENTURA JAVIER FLORES RODRÍGUEZ

TESIS

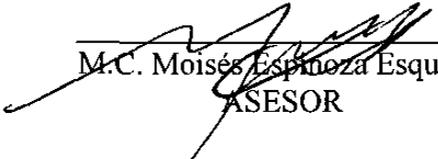
EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA
INGENIERÍA MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN DISEÑO
MECÁNICO.

SAN NICOLAS DE LOS GARZA N.L.
JUNIO DE 1999

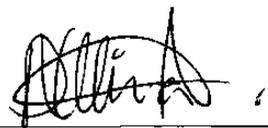
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
DIVISIÓN ESTUDIOS DE POST-GRADO.

Los miembros del comité de tesis, recomendamos que la tesis, **Diseño de una herramienta: cuchilla para trabajo en caliente** realizada por el M.C **BUENAVENTURA JAVIER FLORES RODRÍGUEZ**, matrícula **0121145** sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la ingeniería mecánica con especialidad en Diseño Mecánico.

EL COMITÉ DE TESIS


M.C. Moisés Espinoza Esquivel
ASESOR


M.C. RODOLFO AYALA ESTRADA
COASESOR


M.C. DAVID A. OLIVA ÁLVAREZ
COASESOR


Yo.Bo.
M.C. ROBERTO VILLARREAL GARZA
SUB- DIRECTOR DE LA DIVISIÓN DE POST-GRADO

SAN NICOLAS DE LOS GARZA N.L. A JUNIO DE 1999.

IN MEMORIAM

A

M.C. RODOLFO AYALA ESTRADA

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi mas sincero agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, de la Universidad Autónoma de Nuevo León y a Tratamientos Térmicos Omega, por permitirme utilizar sus instalaciones, para efectuar las pruebas prácticas de los diferentes tratamientos térmicos.

A mi asesor M.C. Moisés Espinosa Esquivel. Así como al M.C. David Oliva y al M.C. Rodolfo Ayala Estrada, por sus valiosas sugerencias e interés en la revisión de este trabajo.

A mi familia, por el apoyo moral que siempre me ha brindado y a todas las personas que contribuyeron de una forma u otra en la realización de esta tesis.

Y a DIOS ante TODO y por TODO.

**A MARÍA VALERIA, SAMANTA, JAVIER DE JESÚS,
KARINA, LORENA Y MARÍA DEL CARMEN.**

MOTIVOS DE MI SUPERACIÓN CONTINUA

PROLOGO

- 1.- El proceso de diseño: Esta sección ofrece un punto de vista de algunos roles que deben ser tomados por el experto en selección de materiales. Y también revisa los procesos o métodos que pueden ser aplicados para mejorar la efectividad del proceso de diseño.
- 2.- Criterios y conceptos en el diseño: en esta sección se tratan temas referentes al diseño, como los procesos, seguridad, manufacturabilidad, y calidad. Todas ellas son de importancia crítica, porque las partes y el todo funcionen con seguridad y confiabilidad para el usuario.
- 3.- Diseño de herramientas: esta sección detalla las herramientas asociadas con el proceso de diseño. Como dibujos en papel, diseño y cambios ayudados por computadora, hacer prototipos, modelado, métodos del elemento finito, métodos de optimización, documentar y comunicar el diseño a otros.
- 4.- El proceso de selección de materiales: esta sección detalla de que pasos y métodos son actualmente requeridos para una adecuada selección de materiales y su correspondiente proceso de manufactura.
- 5.- Efectos de composición, procesamiento y estructura en las propiedades de los materiales: la ciencia de selección de materiales es introducida en esta sección como la relación entre diferentes familias de materiales (metales, cerámicos, plásticos). Además son discutidos los efectos del procesamiento térmico y mecánico en las propiedades de los materiales.
- 6.- Relación entre propiedades y funcionamiento de materiales: en esta sección se discuten las propiedades necesarias para un diseño general y la relación con el proceso de diseño. Además de la metodología para prevenir algunas necesidades de funcionamiento (corrosión, fatiga, desgaste, alta temperatura, oxidación etc.)

7.- Aspectos de manufactura en el diseño: Esta sección discute cual puede ser el aspecto más importante de un diseño exitoso. Como las ideas conceptuales son costos que pueden ser convertidos eficientemente en hardware.

SÍNTESIS

Capítulo 1.

En este capítulo se tiene la información del inicio de este proyecto, dicha información es lo que corresponde a los aspectos : Descripción del problema a resolver en lo referente al diseño de la cuchilla, problemas de selección del material y proceso de fabricación.

También se trata el objetivo de ésta tesis, el cual es el de establecer alternativas para obtener una herramienta óptima, éste trabajo se justifica por la sencilla razón de que en la industria metal mecánica local, regional y nacional hay tanto fabricantes de cuchillas y usuarios de las mismas, y ambos tienen necesidades; el fabricante tiene la necesidad de fabricar más y mejores cuchillas y el usuario quiere mayor rendimiento de ellas.

El método que se siguió fue el de consultar al fabricante y al usuario, sus requerimientos, y con ésta información se desarrolló la experimentación, la cual consiste en experimentar con cuchillas del mismo acero, pero diferente dureza, para procesar diferentes tipos de materiales, el límite que se puso fue el de hacer el seguimiento solo a ciertos aceros de herramienta y ciertas aplicaciones nada más. Los aceros estudiados son el acero de herramienta D2 y el acero de herramienta S7.

Capítulo 2.-.

En este capítulo se mencionan los antecedentes de la herramienta a fabricar y se analizan aspectos de funcionalidad y de aceros de herramienta.

Capítulo 3. En este capítulo se da una breve explicación de los conceptos de diseño y su análisis en cuanto a tipos de propiedades mecánicas y también del material a procesar.

Capítulo 4.

En este capítulo se trata lo referente a la selección del material partiendo de que hay diferentes aceros de herramienta para fabricar la cuchilla, también se habla de la geometría de forma y tamaño, además de propiedades relevantes del acero de herramientas.

Capítulo 5.

En este capítulo se habla del proceso de fabricación de la cuchilla y se dan dos alternativas para fabricarla, que son:

Alternativa “ A “

- CORTE CON SEGUETA
- MAQUINADO BURDO
- MAQUINADO DE ORIFICIOS
- MAQUINADO DE CUÑEROS
- PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
- RECTIFICADO
- PROCESO DE NITRURADO (OPCIONAL)

Alternativa “ B “

- CORTE CON SEGUETA
- MAQUINADO BURDO
- PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
- MAQUINADO POR HILOEROSIONADO
- RECTIFICADO
- PROCESO DE NITRURADO (OPCIONAL)

Capítulo 6.

En este capítulo se habla de los tratamientos térmicos y principalmente de la comparación de dos secuencias a seguir:

Secuencia de tratamiento Térmico “ A “.

- Alivio de Esfuerzos
- Templado
- Primer Revenido
- Segundo Revenido
- Nitrurado

Secuencia de Tratamiento Térmico “ B “

- Alivio de esfuerzos
- Templado
- Primer Revenido
- Segundo Revenido
- Tercer Revenido
- Nitrurado

Capítulo 7.

En este capítulo se habla de pruebas de funcionalidad de la cuchilla y en forma especial a las de Resistencia al Desgaste y la de Tenacidad.

Capítulo 8.

En este capítulo se habla de los resultados obtenidos en los diferentes aspectos, a saber: Acero de herramienta, Geometría de forma y tamaño, Proceso de fabricación, Tratamiento Térmico, Propiedades Mecánicas y Funcionalidad de la cuchilla.

Capítulo 9.

En este capítulo se trata de las conclusiones a que se llegó a este proyecto en lo que se refiere a; Material de la cuchilla en el cual solo se experimentaron solamente dos tipos de aceros (D2 y S7), en lo que se refiere al proceso de fabricación se compararon dos alternativas (“ A “ y “ B “). La alternativa de fabricación “ A “ se utiliza para fabricar altos volúmenes de cuchillas y la secuencia “ B “ se emplea para una a cinco cuchillas. Y lo concerniente al tratamiento térmico también se compararon dos secuencias (“ A “ y “ B “). La secuencia de tratamiento térmico “ A “ se emplea para dar resistencia al desgaste y la secuencia “ B “ para dar tenacidad.

También se concluyo en el aspecto de la funcionalidad de la cuchilla en lo referente a la resistencia al desgaste, En la tabla 8.1 se dan los resultados de la resistencia al desgaste y en la tabla 8.2 se tienen los resultados de la tenacidad de dicha herramienta. La conclusión en cuanto al acero de herramienta para resistencia al desgaste es el acero de herramienta D2 y en cuanto a mejor tenacidad es el acero de herramienta S7.

Capítulo 10.

En este capítulo se presentan las recomendaciones de este proyecto, en aspectos como son: Diseño, es fundamental para un buen funcionamiento de la cuchilla reducir los concentradores de esfuerzo y tener una geometría simétrica; Selección del acero de herramienta, debe hacerse tomando en cuenta el tipo de trabajo a desarrollar; Proceso de fabricación, debe de tomar en cuenta las propiedades de maquinabilidad y fabricabilidad; Tratamiento Térmico a emplear, debe ser acorde al requerimiento de dureza o tenacidad de la cuchilla; Y la Funcionalidad de la cuchilla, la cual debe ser en base a las expectativas del usuario de la misma.

ÍNDICE

PROLOGO

SÍNTESIS

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1.- Descripción del problema a resolver	1
1.2.- Objetivo de la tesis	1
1.3.- Justificación del trabajo	2
1.4.- Metodología	2
1.5.- Límites del estudio	2
1.6.- Revisión bibliográfica	3
1.7.- Diseño y solución de problemas	3
1.8.- El proceso de diseño	4
CAPITULO 2: ANTECEDENTES	6
2.1.- Introducción	6
2.2.- Material de la cuchilla	6
2.3.- El proceso de fabricación	7
2.4.- El tratamiento térmico	7
2.5.- Pruebas de funcionalidad	7
CAPITULO 3: CRITERIOS DE DISEÑO	8
3.1.- Introducción	8
3.2.- Conceptos de diseño	8
3.2.1.- Requerimientos	9
3.2.2.- Hiloerosionado	9
3.2.3.- Funcionalidad	10
3.2.4.- Resistencia al desgaste	10
3.2.5.- Análisis	12

3.2.6.- Superficie -----	12
3.2.7.- Propiedades mecánicas -----	12
3.2.8.- Espesor -----	13
3.3.- Tenacidad -----	13
3.4.- Análisis del diseño -----	14
3.5.- Fuerza de corte -----	14
3.6.- Diseño para resistencia al desgaste -----	15
3.6.1.- Situaciones de desgaste -----	16
3.6.2.- Mecanismos de desgaste -----	16
3.7.- Diseño para tratamiento térmico -----	19
3.7.1.- Reglas del diseño de tratamiento térmico -----	21
CAPITULO 4: SELECCIÓN DEL MATERIAL DE FABRICACIÓN DE LA CUCHILLA -----	22
4.1.- Acero para trabajo en frío: Acero D2 -----	23
4.1.1.- Datos generales -----	23
4.1.2.- Aplicaciones -----	23
4.1.3.- Propiedades -----	25
4.2.- Acero para trabajo en frío: AceroS7 -----	26
4.2.1.- Datos generales -----	26
4.2.2.- Aplicaciones -----	27
4.2.3.- Propiedades -----	28
CAPITULO 5: SELECCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CUCHILLA -----	30
5.1.- Introducción -----	30
5.2.- Tipos de procesos de fabricación -----	30
5.3.- Proceso “A” seleccionado para fabricar la cuchilla -----	30
5.4.- Proceso “B” seleccionado para fabricar la cuchilla -----	31
CAPITULO 6: SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO PARA LA CUCHILLA -----	32
6.1.- Factores a considerar en la selección del tratamiento térmico -----	32
6.1.1.- Facilidad de maquinado -----	32
6.1.2.- Temple -----	33

6.1.3.- Revenido-----	33
6.1.4.- Rectificado -----	35
6.1.5.- Cambios dimensionales al templar aceros -----	35
6.2.- Tratamiento térmico de los aceros seleccionados -----	38
6.2.1.- Acero D2-----	38
6.2.2.- Acero S7 -----	43
6.3.- Secuencia “A” de tratamiento térmico -----	49
6.4.- Secuencia “B” de tratamiento térmico -----	50
CAPITULO 7: PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DE LA CUCHILLA --	51
7.1.- Introducción-----	51
7.2.- Tipos de pruebas de la cuchilla -----	51
7.3.- Prueba de tenacidad de la cuchilla-----	52
7.4.- Prueba de desgaste de la cuchilla -----	52
CAPITULO 8: RESULTADOS-----	53
CAPITULO 9: CONCLUSIONES-----	55
9.1.- Introducción-----	55
9.2.- Diseño de la cuchilla -----	55
9.3.- Selección del acero -----	56
9.4.- Selección del proceso-----	56
CAPITULO 10: RECOMENDACIONES-----	57
10.1.- Introducción -----	57
10.2.- Diseño de la cuchilla -----	57
10.3.- Selección del acero -----	58
10.4.- Resistencia al desgaste-----	58
10.5.- Tenacidad-----	58
10.6.- Proceso de fabricación -----	58
BIBLIOGRAFÍA-----	59
LISTADO DE TABLAS-----	60
LISTADO DE FIGURAS -----	61
APÉNDICE A : GLOSARIO-----	62
AUTOBIOGRAFÍA -----	65

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA A RESOLVER.

En la industria metal - mecánica se utilizan herramientas como son las cuchillas para cortar materiales metálicos, poliméricos, cerámicos y compuestos. Estas cuchillas deben tener una vida útil, una resistencia al desgaste y una tenacidad adecuadas para la aplicación en cuestión. En ésta tesis se pretende resolver los problemas que se presenten en los siguientes aspectos: diseño de la cuchilla, selección de tratamiento térmico, proceso de fabricación, resistencia al desgaste y la tenacidad.

1.2.- OBJETIVO DE LA TESIS.

El objetivo que tiene éste trabajo es el de establecer ciertas secuencias o alternativas para fabricar cuchillas, por ejemplo; que características debe cumplir una cuchilla para poder procesar un acero al carbono de determinado espesor, o para cortar una aleación de aluminio, qué tipo de cuchilla hay que usar, con qué dureza y de qué

acero de herramienta se debe fabricar. Otro objetivo de éste trabajo es el determinar la secuencia de tratamiento térmico para la cuchilla.

También se persigue el objetivo de conocer la funcionalidad de la cuchilla en los aspectos de resistencia al desgaste, tenacidad y vida útil, en operaciones de corte en frío.

1.3.- JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.

En la industria metal - mecánica local, regional y nacional hay fabricantes y usuarios de cuchillas. Este trabajo tiene el propósito de respaldar al fabricante en ciertas cuestiones del proceso de selección del material y el proceso de fabricación de la cuchilla, pero también en cuestiones de tratamiento térmico, dureza, desgaste y tenacidad.

A los usuarios de las cuchillas se les orienta respecto a la funcionalidad de éstas ya en operación, para que lleven una bitácora de la cuchilla y así tengan un registro de dicha herramienta.

1.4.- METODOLOGÍA.

El método empleado en ésta tesis fue el de comparar materiales diferentes en la misma aplicación y observar su comportamiento ya en operación.

Se experimento con cuchillas de un mismo acero pero a diferentes durezas y el mismo espesor a cortar.

También se comparó el rendimiento de cuchillas fabricadas con el mismo acero pero cortando materiales diferentes, por ejemplo acero al carbono, acero inoxidable, aleación de aluminio, aleación de cobre, etc.

Y por último se comparó el rendimiento de cuchillas de diferentes aceros para corte en frío de materiales de diferente espesor.

1.5.- LÍMITES DEL ESTUDIO.

El estudio de ésta tesis tiene como límite la comparación de dos tipos de aceros de herramienta como son el acero de herramienta D2 y S7.

El acero de herramienta D2 se utiliza para resistencia al desgaste y espesores de hasta 3.16mm, éste acero tiene mejor resistencia al desgaste, pero peor tenacidad sobre todo en durezas de 60 a 62 HRC.

El acero de herramienta S7 se usa para espesores de hasta 25.4 mm, éste acero tiene mayor tenacidad, pero menor resistencia al desgaste.

1.6.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

En lo que conierne a la revisión bibliográfica se tomo información de ciertos fabricantes de cuchillas de la localidad como:

- Cuchillas Industriales K.T.M., S.A. DE C.V.
- ADEK, S.A. DE C.V.
- GARVAX, S. A DE C.V.
- MASETEC, S.A. DE C.V.

Y de los manuales de la A.S.M. y de la A.S.T.M.E.

Fundamentalmente, el diseño es un proceso de resolver problemas. Los ingenieros de diferentes especialidades lo aplican en su labor cotidiana.

1.7.- DISEÑO Y SOLUCIÓN DE PROBLEMAS

La ingeniería es definida como la profesión en la cual el conocimiento de las matemáticas y las ciencias naturales son aplicadas para lograr objetivos que beneficien a la comunidad.

Lo que diferencia la ingeniería de otros campos es que intenta ir de la teoría a la práctica, con el propósito de desarrollar productos y procesos útiles para los consumidores, en lugar de ser un simple observador de los fenómenos, como hacen los científicos.

Una parte de la ingeniería es el proceso de diseño, en el cual se diseña un sistema, componente o proceso que satisfaga las necesidades deseadas. Entre los elementos fundamentales del proceso de diseño están el establecimiento de objetivos y criterios, síntesis, análisis, construcción, pruebas y evaluación.

1.8.- EL PROCESO DE DISEÑO

La tarea de diseñar una “ nueva “ pieza que sea casi idéntica a una pieza ya existente, es una tarea sencilla ya que se puede utilizar el mismo material y procesarlo de la misma manera. Sin embargo la tarea de diseñar y seleccionar un material para una nueva pieza de la que no hay antecedentes es una tarea mucho mas compleja y requiere conocimiento de cargas, distribución de cargas, conocimientos ambientales e incluso hay que tomar en cuenta expectativas del cliente y factores referentes a la fabricación. En estos factores el selector de materiales debe tomar en cuenta los cambios en las propiedades del material inducidos en la fabricación debido a tratamientos mecánicos y térmicos. La tarea de diseñar es compleja, pero al atacar un problema conviene hacerlo siguiendo un procedimiento específico, que según los expertos en el proceso de diseño involucran seis pasos (fig. 1)

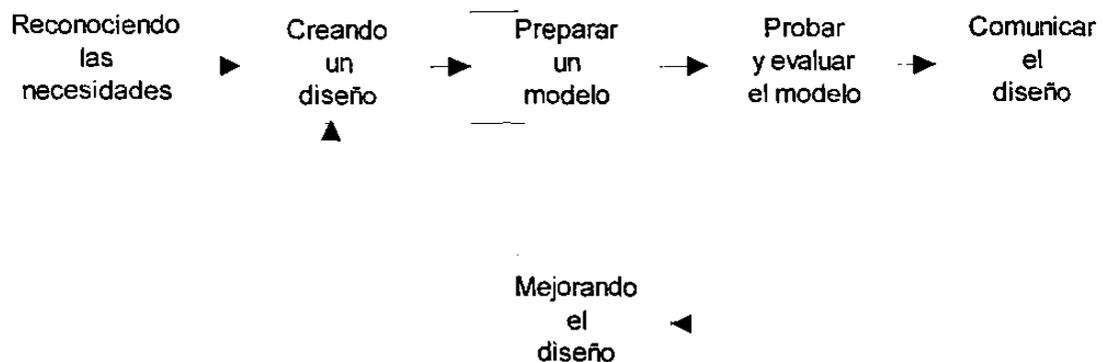


Fig 1: Los seis pasos en el proceso de diseño

PASO 1.- Reconocer las necesidades

Los productos y procesos creados por un ingeniero de diseño son una respuesta directa a necesidades específicas de la sociedad.

PASO 2.- Crear un diseño

Una vez que las necesidades han sido claramente reconocidas el próximo paso es empezar a crear ideas de diseño, que satisfagan estas necesidades.

PASO 3.- Preparar un modelo

Una vez que la idea ha sido creada, el próximo paso es construir el diseño de esa idea. Pero hacer la construcción final es impráctico. Por eso los ingenieros para ahorrar tiempo, dinero y esfuerzo, hacen un modelo simplificado para evaluar la idea del diseño. El modelo puede ser real o abstracto.

PASO 4.- Prueba y evaluación del modelo

Una vez que el modelo ha sido preparado, es el momento de evaluar la idea propuesta, probando el modelo.

PASO 5.- Mejorando el diseño

Como resultado de las pruebas hechas al modelo, el ingeniero tiene mediciones cualitativas y cuantitativas de la idea del diseño y estas le sirven para tomar una decisión de si la idea se debe desechar o esta se puede mejorar. este paso nos lleva de regreso al paso de la creación y como muchas ideas de diseño pueden ser tratadas, modificadas y mejoradas antes de la selección final del diseño, el proceso mostrado en la fig. 1 es bastante iterativo.

PASO 6.- Comunicación del diseño

No importa que tan bien un diseño pueda satisfacer una necesidad. No podrá ser convertido a un proceso o producto útil, si los detalles del diseño no son comunicados a quienes implementaran su uso. El paso de la comunicación es una parte muy importante del proceso de diseño. La comunicación de las ideas de diseño puede ser por diferentes medios, hablada, escrita, fotografías, gráficas, dibujos, etc.

CAPITULO 2

ANTECEDENTES

2.1.- INTRODUCCIÓN.

El punto de partida de esta tesis es la de revisar y rediseñar una cuchilla para trabajo de corte de materiales como son: metales y polímero, pero también se van a revisar los siguientes aspectos:

- El material de la cuchilla
- El proceso de fabricación
- El tratamiento térmico
- Pruebas de funcionalidad

2.2.- MATERIAL DE LA CUCHILLA.

Hay diversidad de materiales para fabricar cuchillas, pero en este caso se van a analizar dos aceros de herramienta, como son el acero S7 y el acero D2. Estos aceros se utilizan preferentemente para trabajo en frío.

2.3.- EL PROCESO DE FABRICACIÓN.

Para fabricar la cuchilla se van a comparar dos secuencias o alternativa del proceso de fabricación a las cuales se les ha denominado: secuencia de fabricación “A” y secuencia de fabricación “B”.

2.4.- EL TRATAMIENTO TÉRMICO.

Los tratamientos térmicos que se utilizan en las cuchillas para trabajo en frío de metales o polimeros suelen ser diferentes, en consecuencia se van a analizar dos secuencias de tratamientos térmicos, las cuales son: La secuencia “A” y la secuencia “B” de tratamiento térmico.

2.5.- PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD.

Las pruebas de funcionalidad de la cuchilla que se van a desarrollar son:

- Tenacidad
- Desgaste

Estas pruebas se van a desarrollar en servicio de la cuchilla, para de esta forma poder evaluar el comportamiento de la misma en operación.

CAPITULO 3

CRITERIOS DE DISEÑO

3.1.- INTRODUCCIÓN.

El diseño de una herramienta, como es una cuchilla, para trabajar materiales metálicos o polímeros es vital para lograr un funcionamiento óptimo. Los aspectos que hay que tomar en cuenta en el diseño de una cuchilla o herramienta en general son: La geometría de forma, el tamaño, el material, el proceso de fabricación, el tratamiento térmico, condiciones de trabajo y pruebas de funcionalidad.

3.2.- CONCEPTOS DE DISEÑO.

Los conceptos de diseño para una cuchilla son:

- Requerimientos
- Funcionalidad

3.2.1.- Requerimientos.

Los requerimientos de una cuchilla se refiere a lo requisitos que se necesitan de esta herramienta, tomando factores como maquinabilidad y geometría.

La maquinabilidad de un acero de herramienta es muy importante sobre todo cuando es utilizado el maquinado convencional con arranque de viruta. Un buen sistema de medición del maquinado de dichos aceros de herramienta es su valor V_{22} . El valor V_{22} representa la velocidad de corte que da una vida de la herramienta de 22 minutos con ciertas características específicas de corte, por lo tanto el V_{22} es una medida para el desgaste de la herramienta. En la siguiente tabla se muestra esta característica.

Aceros de herramienta	V_{22} (m/ min)
H13	65
S7	55
L6	50
O1	55
A2	55
D2	30
D6	30
M2	30
M3:2	30
M4	30

Tabla 3.1 Maquinabilidad de aceros de herramienta.

3.2.2.- Hiloerosionado.

El maquinado por hiloerosionado (maquinado por chispa), es un proceso de maquinado no convencional por lo tanto de alto costo, pero su ventaja primordial es que

se efectúa en herramientas ya endurecidas y su desventaja es que afecta la capa superficial, pero con un alivio de esfuerzos o rectificado/ pulido se elimina dicha capa.

3.2.3.- Funcionalidad.

La funcionalidad de la cuchilla se refiere a como se comporta en el trabajo de corte de materiales metálicos o poliméricos en aspectos como son: desgaste y tenacidad.

3.2.4.- Resistencia al desgaste.

Una característica muy importante es la vida de la herramienta, la cual está relacionada con la resistencia al desgaste del material de la misma.

La resistencia al desgaste depende de la dureza del acero y de su contenido de carburos.

El efecto combinado de estos dos factores da al acero de herramienta su resistencia al desgaste. Después de un tratamiento térmico normal dicha resistencia al desgaste puede ser clasificada como sigue.

Acero de Herramienta	Resistencia al Desgaste
L6	Menor
H13	A
S1	U
S7	M
O1	E
A2	N
D2	T
D6	A
M2	↓
M3:2	↓
M4	Mayor

Tabla 3.2.- Resistencia al Desgaste de aceros de herramienta.

Tanto la dureza como el contenido de carburo son afectados por el tratamiento térmico. La austenitización disuelve los carburos, siendo este efecto más pronunciado a altas temperaturas y a tiempos de estancia más largos. cuando los carburos se han disuelto; el contenido de carbono en la matriz se incrementa y junto con esto la dureza de la estructura templada (martensita). Sin embargo como regla, la reducción correspondiente de tenacidad limita el incremento de dureza que de está manera puede permitirse. En otras palabras el incremento de dureza de la matriz toma lugar a costa de la cantidad de partículas de carburo presentes en la misma. Los aceros altamente aleados contienen carburos de tal tamaño y composición que no son disueltos completamente después de la austenitización. Estos son los carburos que imparten una buena resistencia al desgaste. Los carburos son considerablemente más fuertes que la matriz y soportan mucha presión de la superficie generada por el deslizamiento del desgaste abrasivo. La siguiente tabla muestra la vida relativa de una herramienta cuando es usada para cortar, en diferentes tipos de aceros.

Acero de Herramienta	Dureza (H.R.C.)	Vida de la Herramienta
S7	54 - 56	Menor
A2	58 - 60	↓
D2	60 - 62	AU
D6	60 - 63	MEN
M2	62 - 63	TA
M3:2	63 - 64	↓
M4	63 - 64	Mayor

Tabla 3.3.- Vida de la herramienta de diferentes aceros.

El desgaste al cortar también es afectado por diferentes características del material a procesar, como son:

- Análisis
- Superficie

- Propiedades Mecánicas
- Espesor

3.2.5.- Análisis.

La composición química del material afecta de diferentes maneras el desgaste al cortar. Por ejemplo al cortar un acero inoxidable austenítico 304, el material se adhiere a la herramienta , causando “ desgaste adhesivo ”.

La situación inversa se encuentra al cortar lámina de acero de alto contenido de silicio. Aquí el desgaste es principalmente abrasivo sin que ningún material se adhiera a la herramienta.

3.2.6.- Superficie.

La superficie del material que será cortado afecta también al desgaste, por ejemplo el desgaste es mayor cuando se corta un material con superficie oxidada que con superficie brillante.

La capa de óxido sobre la superficie del material de trabajo actúa como un abrasivo causando un desgaste más agresivo.

También afecta el cortar materiales con recubrimientos superficiales tales como los de plástico y zinc.

3.2.7.- Propiedades Mecánicas.

El desgaste se ve afectado especialmente por la Resistencia a la Tensión, la Resistencia a la Cedencia y el porcentaje de elongación del material a cortar.

Conforme la relación entre la Resistencia a la Cedencia y la Resistencia a la Tensión decrece, el desgaste aumenta. De esta manera al aumentar el % de elongación aumenta también el desgaste. Por lo tanto el bajo % de elongación conduce a un desgaste menor.

3.2.8.- Espesor.

El espesor de la lámina tiene una influencia considerable sobre el desgaste al cortar, pero el desgaste es mayor al cortar un material endurecido. En la siguiente tabla se muestra como se incrementa la vida de la herramienta al disminuir el espesor de la lámina.

Espesor de la lámina (mm)	Dureza de la Herramienta (HRC)	Vida de la Herramienta
1.10	52	menor
1.10	54	+
1.10	56	+
1.10	58	+
0.5	54	+
0.5	56	+
0.5	58	+
0.5	60	mayor

Tabla 3.4.- Incremento de la vida de la herramienta al reducir el espesor.

3.3.- TENACIDAD.

En operaciones de corte, las herramientas deben poseer cierta tenacidad. Los requerimientos de tenacidad aumentan a medida que aumenta el espesor del material cortado. Al cortar una placa o barra gruesa, los cantos cortados están sujetos a una presión superficial muy alta. La herramienta debe poseer una alta tenacidad para que no se astille. Para este propósito deben ser utilizados los aceros resistentes al impacto. Las mismas exigencias son hechas para trabajo en caliente, la siguiente tabla muestra la tenacidad relativa de diferentes aceros de herramienta.

Acero de Herramienta	Tenacidad
S7	Máxima
L6	↓
H13	DIS
S1	MI
O1	NU
A2	YE
M3:2	↓
M2	↓
D2	↓
D6	Mínima

Tabla 3.5.- Tenacidad de diferentes aceros de herramienta.

3.4.- ANÁLISIS DEL DISEÑO.

El análisis del diseño de cuchillas para trabajo de corte de materiales metálicos y poliméricos se efectúa en base a los tipos de esfuerzos a que esta sometida la cuchilla al efectuar la operación de corte.

3.5.- FUERZA DE CORTE.

La fuerza de corte que se requiere para efectuarlo está en función de la Resistencia a la Tensión (R.T.) del material a cortar y el área de corte (A_c), pero la fricción entre la cuchilla y el material hace que se incremente la fuerza de corte.

La siguiente fórmula empírica se usa para el cálculo:

$$F_{\text{máx}} = 0.7 \text{ R.T. } A_c$$

en donde:

$$F_{\text{máx}} = \text{Fuerza máxima de corte en Lb}_f$$

$$A_c = \text{Área de corte en pulgadas cuadradas}$$

Sí el corte es circular la fórmula es:

$F_{\text{máx}} = 2.2 R.T. D t$: siendo D el diámetro de la circunferencia y t el espesor del material en pulgadas.

3.6.- DISEÑO PARA RESISTENCIA AL DESGASTE.

El desgaste es un daño a una superficie sólida, como resultado de un movimiento relativo entre esta y otra superficie o sustancia. El daño resulta generalmente en una pérdida progresiva de metal. La medida utilizada científicamente para el desgaste, es la pérdida de volumen. Sin embargo en ingeniería el desgaste se mide con el cambio en la apariencia y en las dimensiones, en lugar de la pérdida de volumen.

Para cualquier material el desgaste puede ocurrir por una variedad de mecanismos, dependiendo de las propiedades del material y de la situación en la cual es usado. La resistencia al desgaste no es una propiedad intrínseca del material como lo son la dureza y el módulo de elasticidad. El desgaste y la resistencia al desgaste son una respuesta al trabajo desarrollado.

Los factores que pueden afectar el comportamiento al desgaste son: las propiedades de los materiales, la naturaleza del movimiento relativo, el tipo de carga, la forma y el acabado de la superficie, la temperatura del medio de trabajo y la composición de la atmósfera en la que ocurre el desgaste.

Fundamentalmente. El diseño al desgaste consiste en identificar estos factores de diseño que pueden afectar el desgaste y luego determinar valores para ellos en la base de sus efectos o razón de desgaste. Los parámetros para un diseño tribológico común son: materiales, contornos de superficie, lubricación y acabado superficial, cargas, movimiento relativo y parámetros ambientales.

Hay cuatro formas fundamentales para reducir la razón de desgaste:

1. Modificar la superficie para hacerla mas resistente al desgaste
2. Usar un material mas resistente al desgaste
3. Incrementar la separación entre las superficies
4. Reducir la severidad del contacto

3.6.1.- Situaciones de desgaste.

Hay tres tipos generales de situaciones de desgaste:

- El primero ocurre cuando dos cuerpos sólidos están en contacto y se mueven en forma relativa, uno con respecto al otro.

Nota: Movimiento relativo: rolado, deslizamiento e impacto

- La segunda situación ocurre cuando el desgaste es causado por un movimiento relativo, entre un líquido y una superficie sólida. Este desgaste es llamado erosión o desgaste erosivo.
- La tercera situación, la cual es llamada desgaste abrasivo, ocurre cuando el desgaste es causado por partículas duras.

3.6.2.- Mecanismos de desgaste.

Hay 4 tipos generales de mecanismos de desgaste:

1. Desgaste adhesivo. Es el proceso que ocurre cuando dos superficies están en contacto y la separación subsecuente de estas superficies causara desgaste debido a que cada superficie jalara metal de la otra.
2. Desgaste abrasivo. Ocurre en procesos de corte y deformación plástica en la que un material mas duro arranca un material mas suave. Este mecanismo tiende a producir rebaba.
3. Desgaste por fatiga. Iniciación y propagación de grietas causado por un esfuerzo de contacto repetitivo.

Movimiento	Ambiente	Mecanismo
Dos cuerpos en contacto		
Rolado con deslizamiento	Sin partículas	Fatiga Adhesivo
	Con partículas	Fatiga Adhesivo Abrasivo
Sin deslizamiento		Fatiga

Tabla 3.6.- Clasificación operacional de situaciones de desgaste.

Tendencias: incremento de desgaste con el incremento de deslizamiento y en presencia de partículas. Pueden predominar desgastes adhesivos y abrasivos, pero si es solo rolado predomina el modo por fatiga. Situaciones de desgaste medio es recomendable que la superficie este pulida.

Impacto		
con cuerpo en reposo		Fatiga (elástica o plástica)
Con cuerpo en movimiento	Seco sin partículas	Fatiga (elástica o plástica) Adhesivo
	Seco con partículas	Fatiga (elástica o plástica) Adhesivo Abrasivo
	Líquido sin partículas	Fatiga (elástica o plástica) Adhesivo
	Líquido con partículas	Fatiga (elástica o plástica) Adhesivo Abrasivo

Tendencias: con cuerpo estacionario la mala alineación y la vibración ocasionan incremento de desgaste. La deformación plástica es inaceptable excepto en aplicaciones de corto tiempo, pero para duraciones mayores 10^6 los esfuerzos de contacto deben estar en rango elástico, con cuerpo en movimiento el desgaste se incrementa. El desgaste se reduce al utilizar un lubricante, pero si hay partículas con el líquido el desgaste tiende a incrementarse.

Deslizamiento Unidireccional	Seco	Fatiga Adhesivo
	Líquido	Fatiga Adhesivo
	Partículas	Adhesivo Abrasivo
Deslizamiento Cíclico	Gran amplitud, seco	Fatiga Adhesivo
	Gran amplitud, líquido	Fatiga Adhesivo
	Gran amplitud, partículas	Fatiga Adhesivo Abrasivo
	Pequeña amplitud, seco	Fatiga Adhesivo
	Poca amplitud, líquido	Fatiga Adhesivo
	Poca amplitud, partículas	Fatiga Adhesivo Abrasivo

Tendencias: mas de un tipo de mecanismo involucrado.

Es preferible esfuerzos de contacto bajos. Desgaste medio a severo con la transición de la deformación elástica a plástica. En presencia de partículas el desgaste por abrasión predomina.

Un cuerpo en contacto		
Con líquido		
Impregnado		
Ángulo pequeño	Sin partículas	Fatiga
	Con partículas	Abrasivo (corte)
Ángulo grande	Sin partículas	Fatiga
	Con partículas	Fatiga Abrasivo (deformación)
Flujo		
laminar	Sin partículas	No
	Con partículas	Abrasivo (corte)
turbulento	Sin partículas	Fatiga
	Con partículas	Fatiga Abrasivo

Tendencias: en situaciones de flujo, sin partículas, hay desgaste por cavitación. Gotas de líquido impregnado actúan como partículas. Efectos de corrosión siempre están presentes.

3.7.- DISEÑO PARA TRATAMIENTO TÉRMICO.

La selección de materiales y procesos de manufactura para el diseño de una cuchilla o componente es un proceso complejo y casi siempre requiere de hacer varias iteraciones para poder decidir cuál opción es la óptima. La cuchilla es diseñada para que

cumpla cierta función y por lo general esta limitada por cuestiones de espacio, costos, fuerzas mecánicas, etc. Basándose en el diseño y las condiciones de carga, el material y el proceso de manufactura son seleccionados para lograr tener un bajo costo y las propiedades que se necesitan en la operación de corte requerida. En la cuchilla es necesario el proceso de tratamiento térmico y así lograr las exigencias de esta. En la siguiente tabla se muestra el procedimiento experimental.

Selección del acero :
<ul style="list-style-type: none"> • Grado de acero • Composición química
Selección de la cuchilla:
<ul style="list-style-type: none"> • Forma • Tamaño
Selección de la secuencia de tratamiento térmico:
<ul style="list-style-type: none"> • Austenitización • Temperatura • Tiempo de estancia • Atmósfera
Templado
<ul style="list-style-type: none"> • Medio de enfriamiento • Temperatura • Agitación
Revenido
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura • Tiempo
Resultados del tratamiento térmico:
<ul style="list-style-type: none"> • Dureza obtenida • Microestructura • Distorsión • Esfuerzos residuales
Registro de parámetros del tratamiento térmico
<ul style="list-style-type: none"> • Temperaturas • Tiempos • Características del enfriamiento

3.7.1.- Reglas del diseño de tratamiento térmico.

1. Diseñar la cuchilla lo más simétrica posible. Una cuchilla asimétrica causa asimetría térmica y también gradientes de transformación, y dan como resultado; distorsión y deformación plástica no uniforme.
2. Mantener una sección uniforme. Cambios en la sección causan grandes gradientes térmicos, tanto en el calentamiento como en el enfriamiento, si los cambios son bruscos, estos actuaran como concentradores de esfuerzo y por lo tanto causan distorsión.
3. Minimizar orificios y cuñeros. Estos elementos alteran la simetría de la herramienta y actúan como concentradores de esfuerzo durante el tratamiento térmico. Para minimizar el efecto concentrador se utilizan pequeños radios, para hacer el cambio de la sección en forma gradual.
4. Evitar aristas agudas. Estas deben de diseñarse con grandes radios. Si la arista no puede evitarse, una buena practica es hacer un bisel.
5. Evitar secciones delgadas y largas. Cualquier sección cuya longitud sea mayor que 15 veces el diámetro, es considerada como una sección larga y delgada y puede causar problemas de distorsión, las cuales son mayores en función de la severidad del medio de enfriamiento. Para evitar la distorsión en piezas largas y delgadas, estas deben ser prensadas durante el enfriamiento o templarse por inducción.

CAPITULO 4

SELECCIÓN DEL MATERIAL DE FABRICACIÓN DE LA CUCHILLA

Dentro de los aceros para trabajo en frío, existe un grupo, que es el de los aceros alto carbono, alto cromo, los cuales bajo la norma AISI se representan bajo la letra D (DIE). Los aceros en este grupo muestran alta resistencia al desgaste, buena profundidad de endurecimiento y bajos cambios dimensionales en el temple.

Dentro de los aceros de alto carbono, alto cromo que se venden en el país se encuentran el D 2, D 3 y D 4, los cuales tienen las mejores características de estabilidad dimensional durante el templado, de cualquiera de los aceros de herramientas convencionales. El acero D 3 es un acero de temple al aceite, lo cual causa problemas de agrietamiento, por lo mismo en la elaboración de este trabajo, seleccionamos un acero de temple al aire (acero D 2). Este medio de enfriamiento disminuye al mínimo la posibilidad de grietas.

El otro acero seleccionado es el S 7 el cual es esencialmente un acero de medio carbono, alrededor de 0.50 % con contenidos de silicio, cromo y tungsteno.

Este acero pertenece al grupo de los aceros S (SHOCK WORK), los cuales se caracterizan por una alta resistencia y una moderada resistencia al desgaste, con un alto grado de tenacidad.

Resumiendo, los aceros seleccionados para este trabajo, son los aceros D 2 y S 7 y a continuación damos información referente sobre estos aceros.

4.1.- ACERO PARA TRABAJO EN FRÍO: ACERO D-2

4.1.1.- Datos Generales:

Análisis: Carbono 1.55%, Silicio 0.3%, Manganeso 0.3%, Cromo 12.0%, Molibdeno 0.8%, Vanadio 0.8%.

Estado de suministro: Recocido blando a 210 HB aprox.

El acero D-2 es un acero para herramientas, de alto contenido de carbono y cromo. Se caracteriza por:

- Alta resistencia al desgaste
- Alta resistencia a la compresión
- Alta dureza superficial después del temple
- Buenas propiedades de endurecimiento total
- excelente estabilidad en el temple

4.1.2.- Aplicaciones:

El acero D-2 se recomienda para herramientas que requieren muy alta resistencia al desgaste, combinada con una moderada tenacidad (resistencia al impacto).

Corte	Espesor del material	Dureza del material
Herramientas para estampado ordinario y fino, perforación, recorte, cizallado, desbastado, corte.	< 1/8 in	58-62 HRc
	1/8-1/4 in	56-58 HRc
	1/4-13/32 in	54-56 HRc

Corte	HRc
Cizallas cortas para trabajo en frío, cuchillas desmenuzadoras para plástico de desecho, cuchillas de granulador.....	56-60
Cizallas circulares.....	58-60
Herramientas para corte y desbastado de piezas En caliente.....	58-60
forjadas En frío.....	56-58
Cuchillas para corte de madera, escariadores, barrenas-fresas.....	58-60

Formado	HRc
Herramienta para: Doblado, embutido, laminado, estirado.....	56-62
Troqueles para acuñar en frío.....	56-60
Rodillos para configurar tubos y secciones.	
Matrices para moldeo de : Piezas de cerámica, ladrillos tejas etc.....	58-62
Matrices para roscado.....	58-62
Martillos trituradores.....	56-60
Calibradores, herramientas de medición, toberas lanzaarena.....	58-62

4.1.3.- Propiedades:

Características físicas

Temple y revenido a 62 HRc			
Datos a temperatura ambiente y a altas temperaturas			
Temperatura	20⁰C	200⁰C	400⁰C
Densidad			
Kg/m³	7700	7650	7600
Lbs/in²	0.277	0.276	0.275
Modulo de elasticidad			
N/mm²	193,000	188,000	173,000
Psi	28*10 ⁶	27*10 ⁶	25*10 ⁶
Coefficiente de dilatación térmica por ⁰C, desde 20⁰C	-	11.0*10 ⁻⁶	10.8*10 ⁻⁶
Conductividad térmica W/m⁰C	20.0	21.0	23.0

Resistencia a la compresión

Dureza HRc	Resistencia a la compresión	
	Rmax (N/mm²)	Rced (N/mm²)
62	3100	2300
60	2950	2250
55	2650	2100
50	2250	1750

Soldadura:

Debido al riesgo de figuración, debe evitarse, en general, la soldadura de herramientas. Sin embargo, siempre que sea necesaria para efecto de reparación, es indispensable precalentar las piezas antes de soldarlas. Inmediatamente después de la soldadura hay que:

- Eliminar tensiones internas del material que se haya soldado en estado recocido blando.
- Revenir dos veces el material que se haya soldado en estado de templado y revenido.

4.2.- ACERO PARA TRABAJO EN FRÍO: ACERO S-7**4.2.1.- Datos Generales:**

Análisis: C= 0.50%, Si= 0.3%, Mn=0.7%, Cr=3.2%, Mo=1.4%

Estado de suministro: Recocido blando a aprox. 200 HB

El acero S-7, es un acero aleado con cromo-molibdeno, el cual se caracteriza por:

- Alta tenacidad
- Excelente resistencia al desgaste
- Alta resistencia a la compresión
- Buenas propiedades durante el templado
- Buena maquinabilidad
- Buena estabilidad dimensional durante el templado

Estructura

La estructura del acero S-7, templado desde 940⁰C y revenido dos veces a 200⁰C, consiste de carburos, martensita revenida y aproximadamente 8% de austenita retenida. La microfotografía inferior muestra el corte transversal de una barra de 1”.

4.2.2.- Aplicaciones

El acero S-7 posee una favorable combinación de tenacidad y resistencia al desgaste para servicio pesado de cortado y formado.

Resulta ideal para cizallas cortas y herramientas de corte, ya sea en caliente o en frío.

Otras aplicaciones incluyen punzones para remachar, cinceles, dados para cabecear en frío y herramientas para forja.

Corte de piezas	Espesor del material	Dureza HRc
Herramientas para: corte de piezas, punzonado, desbarbado, cizallado, desbastado.	hasta 3mm (1/8")	56-58
	3-6mm (1/8-1/4")	54-56
	6-10mm (1/4-13/32")	52-54
Cizallas cortas para cortar en frío, desmenuzadoras		56-58
Cizallas circulares		54-58
Herramientas para desbastar piezas forjadas		56-58
Dados para acuñar en frío		56-58
Dados para extrusion en frío, punzones		56-58
Rodillos para formar tubos y perfiles; rodillos lisos		52-58
Dados para estirar y calibrar en frío		56-58
Herramientas para cabecear en frío		56-58
Fresas maestras para fresado en frío		56-58
Dados para moldeado de: Plásticos abrasivos		56-58
Martillos de trituración		56-58

4.2.3.- Propiedades:

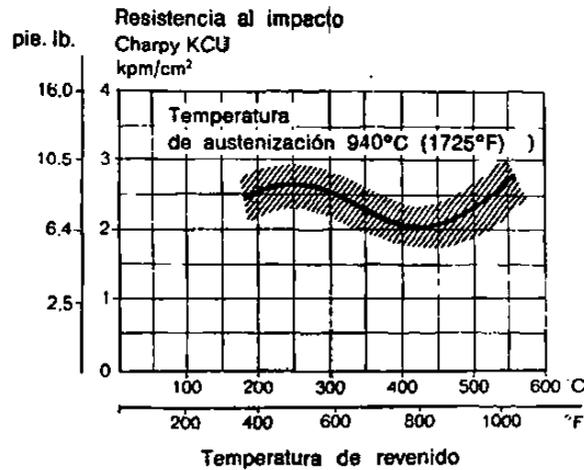
Características físicas:

Temple y revenido a 57 HRc			
Datos a temperatura ambiente y a altas temperaturas			
Temperatura	20⁰C	200⁰C	400⁰C
Densidad			
Kg/m³	7800	7750	7700
Lbs/in²	0.281	0.280	0.278
Modulo de elasticidad			
N/mm²	197,000	192,000	177,000
Psi	29*10 ⁶	28*10 ⁶	26*10 ⁶
Coefficiente de dilatación térmica por ⁰C, desde 20⁰C	-	12.2*10 ⁻⁶	12.5*10 ⁻⁶
Conductividad térmica W/m⁰C	28.9	30.0	31

Resistencia a la compresión

Dureza HRc	Resistencia a la compresión			
	Rm		Rp	
	N/mm²	Lb/in² 1000 *	N/mm²	Lb/in² 1000 *
58	1700	385	1300	300
55	1550	355	1250	295
50	1250	295	1100	240
45	1100	250	900	200

Fig 4.1.- Resistencia al impacto



Soldadura

Siempre se deberá evitar soldar los aceros para herramientas, debido a que se corre un gran riesgo de agrietamiento. Sin embargo, cuando esta sea indispensable, se deberán seguir los siguientes consejos:

1. Precalentar a la temperatura de revenido previamente utilizada, min 200⁰C.
2. Comenzar a soldar a dicha temperatura. No soldar a menos de 150⁰C.
3. Recalentar inmediatamente a temperatura de revenido. Tiempo a temperatura 3 hrs.
4. Enfriar al aire hasta aprox. 80⁰C.
5. Repetir el paso 3.

CAPÍTULO 5

SELECCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA CUCHILLA.

5.1.- INTRODUCCIÓN.

Al fabricar la cuchilla es necesario saber las diferentes alternativas de procesos para la elaboración de la misma y así utilizar la técnica apropiada para dicho fin, la selección óptima se logra en relación a los parámetros técnicos y económicos de cada caso en particular.

5.2 .- TIPOS DE PROCESOS DE FABRICACIÓN.

Hay diversidad de procesos para fabricar una cuchilla, pero los más empleados son:

- Mediante máquinas herramientas
- Mediante máquinas de hiloerosionado

La fabricación mediante máquinas herramientas se utiliza frecuentemente para fabricar un número de medio a alto de cuchillas, en cambio el procedimiento con máquinas de hiloerosionado es para fabricar de una a cinco, es decir un número pequeño.

5.3 .- PROCESO “ A “ SELECCIONADO PARA FABRICAR LA CUCHILLA.

Este proceso involucra las siguientes etapas :

- CORTE CON SEGUETA
- MAQUINADO BURDO
- MAQUINADO DE ORIFICIOS
- MAQUINADO DE CUÑEROS
- PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
- RECTIFICADO
- PROCESO DE NITRURADO (OPCIONAL)

5.4 .- PROCESO “ B “ SELECCIONADO PARA FABRICAR LA CUCHILLA.

Este proceso involucra las siguientes etapas :

- CORTE CON SEGUETA
- MAQUINADO BURDO
- PROCESO DE TRATAMIENTO TÉRMICO
- MAQUINADO POR HILOEROSIONADO
- RECTIFICADO
- PROCESO DE NITRURADO (OPCIONAL)

En las siguientes figuras se muestran diferentes tipos de cuchillas.

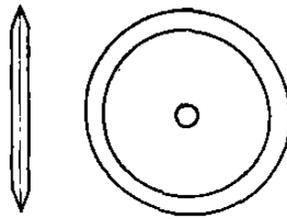


Fig 5.1.- Cuchilla circular

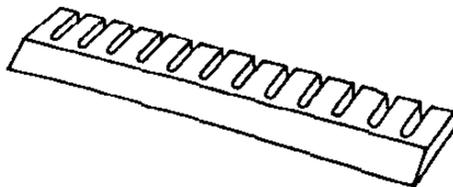


Fig. 5.2 .- cuchilla rectangular

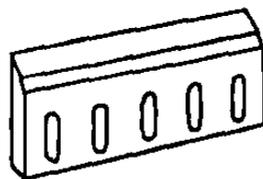


Fig.5.3.- cuchilla rectangular

CAPÍTULO 6

SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO PARA LA CUCHILLA.

6.1 .- FACTORES A CONSIDERAR EN LA SELECCIÓN DEL TRATAMIENTO TÉRMICO.

6.1.1 .- Facilidad de maquinado:

La facilidad de maquinado o maquinabilidad de un acero es sumamente difícil clasificarla en vista de que una misma calidad de acero puede variar su maquinabilidad dependiendo de si se tornea, se fresa , se taladra, se cepilla o se forma cuerda.

Inclusive una operación como taladrar, puede requerir diferentes condiciones, dependiendo del diámetro o largo del agujero que se vaya a hacer. En general se puede medir en la practica la maquinabilidad comparando el tiempo que trabaja la herramienta (buril, broca, cuchilla, etc.) entre cada afilada.

La maquinabilidad de los aceros depende de la aleación, la dureza y de la estructura. por ejemplo altamente aleados (aceros rápidos y aceros con 12% de cromo)

que contienen grandes cantidades de carburos, son difíciles de maquinar. Debido a la alta dureza de estos carburos, las herramientas tienden a desgastarse.

6.1.2 .- Temple:

Es de máxima importancia que los aceros de herramientas reciban un cuidadoso tratamiento térmico. El temple correcto es el único camino a seguir para asegurarse que una herramienta hecha del acero adecuado de el máximo rendimiento.

El mejor acero de nada sirve si no se le ha dado el tratamiento térmico adecuado. Es por esto de suma importancia seguir las instrucciones de temple al pie de la letra.

6.1.2.1 .- Precalear:

Antes de templar conviene siempre precalear el acero. En vista de que los aceros de herramienta aleados son malos conductores del calor, el precalear ofrece las siguientes ventajas:

- 1.- Elimina las tensiones del maquinado.
- 2.- Acorta el tiempo necesario para templar y así reduce la decarburación y oxidación al templar.
- 3.- Disminuye la deformación que pudiera resultar.

Las temperaturas de precalear pueden variar de 650 a 700°C para los aceros normales y suben hasta 850°C para los aceros de trabajo en caliente y los aceros rápidos.

6.1.2.2 .- Temple:

Templar consiste en calentar el acero a una temperatura predeterminada, mantener esta temperatura hasta que el calor haya penetrado hasta el corazón de la pieza y enfriar rápidamente en el medio correspondiente según el tipo de acero (aire, agua, aceite).

En la práctica se puede calentar el acero dentro del horno, o en el caso de que el horno ya este a temperatura, introducir el acero precalearado, al horno. El tiempo

requerido para que el calor penetre es diferente en cada caso, pero se puede calcular de 5 a 10 min. por cada 10 mm de espesor.

En los aceros mas aleados es necesario tener presente que la disolución de los carburos requiere mas tiempo. La dureza deseada y su penetración se obtienen tomando todas estas consideraciones en cuenta.

Los agujeros deben llenarse con barro refractario o asbesto. Las herramientas débiles y de poca sección deben de soportarse dentro del horno, para evitar que se deformen por su propio peso. Como regla general las herramientas de menor sección se deben temprar a las temperaturas inferiores marcadas en los catálogos. Es primordial tener cuidado que la temperatura sea uniforme, que no sea sobrepasada y que no se prolongue su tiempo mas de lo indicado de lo contrario habrá fuerte decarburación y crecimiento del grano.

Si el acero se temple en agua esta debe tener una temperatura de 20-30°C y si el acero se temple en aceite, este debe tener una temperatura de 50°C. Es indispensable tener una cantidad suficiente de agua o aceite para que no suba mucho la temperatura al enfriar el acero.

Al enfriar bruscamente de la temperatura de temple al medio de temple (aire, agua, aceite) una herramienta, esta sufre un cambio de volumen, la cual crea fuertes tensiones internas en el acero, las cuales pueden causar fracturas. Por esta razón nunca debe permitirse que el acero se enfríe completamente. La herramienta debe de sacarse del medio de enfriamiento cuando todavía tiene algo de calor - suficiente para poder tocarla con la mano - e inmediatamente después revenirla para liberar estas tensiones y así evitar fracturas.

6.1.3 .- Revenido:

El propósito del revenido es primeramente liberar las tensiones del temple y por eso debe de revenirse el acero inmediatamente después. Además el revenido aumenta la tenacidad del acero y da la dureza apropiada según la aplicación que se le vaya a dar al acero. Deben consultarse las curvas de revenido para saber a que temperatura se obtiene la dureza deseada.

El proceso de revenir consiste en calentar la herramienta a la temperatura apropiada por un tiempo definido seguido por un enfriamiento en el medio ambiente. En la información técnica sobre cada acero vienen las curvas de revenido, las cuales son una guía para determinar la temperatura de revenido y obtener así la dureza deseada.

Las durezas indicadas sufren algunas variaciones pero se pueden considerar exactas en +/- 2 puntos Rockwell C.

El tiempo requerido para revenir varia según la temperatura del revenido. Si el revenido se hace de 200-300°C se recomienda calcular como mínimo una hora por cada 10 mm. de espesor; si el revenido se hace a 150°C es necesario revenir unas 2 horas por cada 10 mm. de espesor y si el revenido se hace de 450-650°C basta con calcular 30 mm. por cada 10 mm. de espesor.

6.1.4.- Rectificado:

Generalmente toda herramienta es maquinada antes del temple para evitar un rectificado excesivo posterior. Sin embargo en la mayoría de los casos es ineludible el rectificado. Al seleccionar la piedra abrasiva hay que tener en cuenta que entre mas duro este el acero, mas blanda debe estar la piedra y mas ligera la presión. Piedras duras o presiones fuertes causan calentamientos locales en el acero. Estos calentamientos pueden revenir y ablandar el acero en la superficie e inclusive causar grietas.

Debe procurarse no calentar la superficie excesivamente al rectificar, usando suficiente aceite soluble y cortes ligeros.

Muchas fallas en herramientas que se deben al rectificado incorrecto se le atribuyen injustamente, a la calidad del acero o a un temple defectuoso.

6.1.5.- Cambios dimensionales al templar aceros:

Una de las muchas características que se requieren en los aceros finos para herramientas, es estabilidad dimensional al templar. Antes se decía aceros indeformables, hoy seria mas correcto al referirse a los aceros que sufren poco cambio dimensional al templarse como aceros dimensionalmente estables.

La deformación puede ser causada por malos manejos en el temple, pandeaduras por falta de soporte, enfriamiento y calentamiento disperejo etc.. Esta deformación se puede evitar mejorando la técnica de temple.

Sin embargo, los aceros sufren un cambio en dimensión inevitable por el mismo proceso de temple. Al templar el acero se forman nuevas estructuras y estas tienen un volumen mayor al del acero recocido.

El mayor aumento en volumen es manifiesto en los aceros al carbono (0.7-1 %C) temple al agua; le siguen los aceros de baja aleación (0.3-0.5 % C) temple al aceite, mientras que los aceros de alta aleación, con calidades dimensionalmente estables, especialmente los aceros de alto cromo, alto carbono, exhiben un incremento en volumen mucho menor.

A continuación se listan algunos errores comunes en el temple, sus consecuencias y sus remedios.

Hay que tomar en cuenta que dos o mas errores pueden suceder simultáneamente.

ERRORES	CONSECUENCIAS		REMEDIO
	DUREZA	GRANO (FRACT.)	
Acero calentado muy de prisa, sin penetración de calor y desuniforme.	Dureza desuniforme, puede rajarse y agrietarse	Estructura del grano desuniforme	Recocer completamente y templar lenta y uniformemente
Acero enfriado en un medio inapropiado, Ej. aceite en lugar de agua.	Muy baja	Buena estructura en las orillas, corazón blando	Recocer completamente y volver a templar enfriando en un medio mas brusco.
Acero enfriado en un medio muy brusco, Ej. agua en lugar de aceite.	Dureza alta, grietas y deformación, acero quebradizo.	Penetración muy profunda.	Si no se fracturado el acero, recocer y volver a templar correctamente.
Acero con insuficiente temperatura de temple.	No da mucha dureza	Similar al acero sin temple	Recocer y volver a templar a la temperatura correcta.
Acero sobrecalentado, sin quemarlo.	Dureza alta, acero quebradizo y con grietas.	Grano grueso.	Calentar para normalizar, en algunos casos recocer y volver a templar.
Acero sobrecalentado, quemado.	Baja, con grietas. Fundido	Grano grueso	Chatarra
Acero decarburizado en el temple, falta de maquinado tiene el mismo resultado	Superficialmente poca dureza. Dureza correcta en el interior.	En la superficie grano grueso.	Rectificar toda la superficie blanda.

6.2 TRATAMIENTOS TÉRMICOS DE LOS ACEROS SELECCIONADOS.

6.2.1.- Acero D-2

Recocido blando

Proteger el acero y calentarlo hasta 850⁰C. Enfriarlo en el horno a 10⁰C por hora hasta que la temperatura baje a 650⁰C y luego dejarlo enfriar libremente al aire.

Recocido para eliminar tensiones:

Después del mecanizado de desbaste, la herramienta deberá calentarse hasta los 650⁰C durante 2 horas. hacer que baje la temperatura lentamente hasta los 500⁰C, y luego dejar que la herramienta se enfríe libremente al aire.

Temple:

Temp. de precalentamiento = 600-700⁰C

temperatura de austenización = 990-1050⁰C

Temperatura (°C)	Tiempo de mantenimiento* en min.	Dureza antes del revenido
990	60	Aprox. 63
1010	45	Aprox. 63
1030	30	Aprox. 63

* Tiempo de mantenimiento: Tiempo a temperatura de temple después que la herramienta este perfectamente calentada.

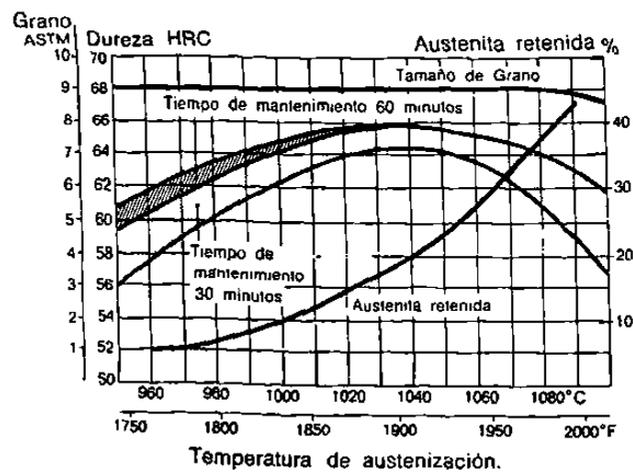
Proteger la pieza contra decarburación y oxidación durante el templado.

Medios de enfriamiento.

- Aire o gas a presión
- Soplo de aire
- Baño de temple escalonado a 180-500⁰C durante 1-100 min., luego enfriamiento al aire.
- Aceite

Nota : Revenir la herramienta inmediatamente al llegar su temperatura a 50-70⁰C

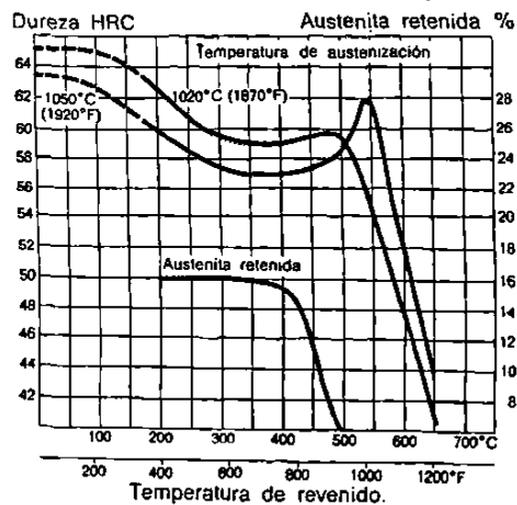
Fig. 6.1 Dureza en función de la temperatura de temple.



REVENIDO:

Elegir la temperatura de revenido según la dureza requerida, tomando como referencia las curvas de temperatura. Revenir dos veces, con enfriamiento intercalado a temperatura ambiente. Temperatura mínima de revenido: 180⁰C. Tiempo de mantenimiento a temperatura : mínimo 2 horas.

Fig. 6.2 Diagrama de revenido



Alteración de dimensiones

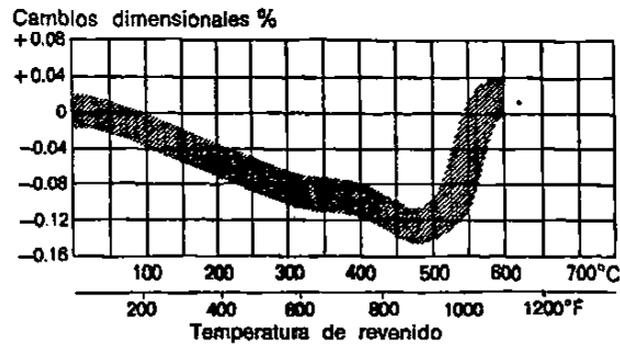
A).-Durante el templeado

Muestra de 4*4*1 in.

		Ancho %	Largo %	Espesor %
Temple en aceite				
desde	Min.	-0.02	+0.08	0.00
990 ^o C	Max	-0.06	+0.12	+0.08
Temperatura al aire				
desde	Min.	+0.01	+0.04	0.00
1020 ^o C	Max	-0.06	+0.08	-0.10
Temple escalonado				
desde	Min.	0.00	+0.05	0.00
990 ^o C	Max	-0.01	+0.06	-0.12

B).-Durante el revenido

Fig. 6.3 Alteración de dimensiones en %



Nota: Las alteraciones de dimensiones en el temple y el revenido deben sumarse.

Enfriamiento sub-cero y envejecimiento.

Las piezas que requieran máxima estabilidad dimensional deben someterse a enfriamiento sub-cero y/o envejecerse artificialmente, ya que, con el tiempo, pueden ocurrir cambios de volumen. Esto rige para calibradores y otras herramientas de medición.

Enfriamiento sub-cero

Inmediatamente después del enfriamiento por inmersión, la pieza debe enfriarse hasta una temperatura entre -70 y -80°C , manteniéndola en estas condiciones de 3-4 horas, y luego debe someterse a revenido o envejecimiento. el enfriamiento sub-cero aumenta la dureza de 1-3 HRc. Deben evitarse las formas complicadas, ya que conllevan un riesgo de agrietamiento.

Envejecimiento.

El revenido después del enfriamiento por inmersión se sustituye por el envejecimiento a 110-140⁰C. Tiempo de mantenimiento de 25-100 horas.

NITRURACIÓN:

La nitruración produce una capa superficial muy resistente al desgaste y a la erosión, al mismo tiempo que aumenta la resistencia a la corrosión. La nitruración en gas amoníaco a 525⁰C da una dureza superficial aproximada de 1000-1250 HV

Temperatura de nitruración °C	Tiempo de nitruración (horas)	Profundidad de cementación	
		mm	in
525	20	0.25	0.010
525	30	0.30	0.012
525	60	0.35	0.014

La carbonitruración a 570⁰C durante dos horas, da una dureza superficial aproximada de 950-1000 HV. La profundidad de cementación correspondiente a esta dureza es de (0.004 - 0.008 in).

RECTIFICADO:

Una técnica adecuada de rectificación siempre evita que se produzcan grietas y prolonga la vida de la herramienta. Las herramientas que se han revenido a baja temperatura son particularmente delicadas durante la rectificación. Únicamente deben utilizarse muelas blandas de grano aglomerado que estén bien formadas y talladas. La velocidad periférica no debe ser excesiva, y es importante que se use una buena cantidad de refrigerante.

MECANIZADO ELECTROEROSIVO:

Si se aplica la electroerosión al material en estado de templado y revenido, la herramienta debe someterse a un revenido adicional, a una temperatura aproximadamente

6.2.2 Acero S-7

Recocido suave:

Proteger el acero y calentarlo hasta 830°C . Enfriarlo en el horno a 10°C por hora, hasta que la temperatura baje a 540°C , y luego dejarlo enfriar libremente al aire. Dureza aprox. después del recocido suave 200 HB

Recocido para eliminar tensiones:

Después del mecanizado de desbaste, la herramienta deberá calentarse hasta los 650°C durante 2 horas. hacer que baje la temperatura lentamente hasta los 500°C , y luego dejar que la herramienta se enfríe libremente al aire.

Carburizacion

Para incrementar la resistencia al desgaste, el acero S-7, puede ser fácilmente cementado. Esto se puede hacer carburizandolo ligeramente antes del templado.

La profundidad de cementación normal para herramientas es de $0.010''$. Se deberá utilizar un carburizador de baja actividad.

Temperatura de carburizacion: $870-920^{\circ}\text{C}$. Las siguientes profundidades fueron alcanzadas a 870°C .

Tiempo en hrs.	2	3	8
Profundidad			
mm	0.2	0.3	0.8
pulg.	0.007	0.010	0.03

Después de la carburización, se recomienda enfriar lentamente hasta alcanzar la temperatura ambiente y proceder por separado con la operación de austenizado y templado.

Templado

Temperatura de precalentamiento: 600-700⁰C

Temperatura de austenización: 920-970⁰C

Temperatura °C	Mantenimiento a temp. en min.	Dureza en el templado
920	60	59 +/- 2 HRc
940	45	60 +/- 2 HRc
960	30	60 +/- 2 HRc

Tiempo de mantenimiento: tiempo a temperatura de austenización, una vez que la herramienta ha sido calentada completa y uniformemente.

Protección contra la decarburación.

La protección contra la decarburación y oxidación durante el templado se logra por medio de:

- Calentamiento al vacío
- Calentamiento en baño neutro de sales
- Empaque en rebabas de hierro fundido
- Envuelto en lamina inoxidable
- Atmósfera protectora - gas endotérmico

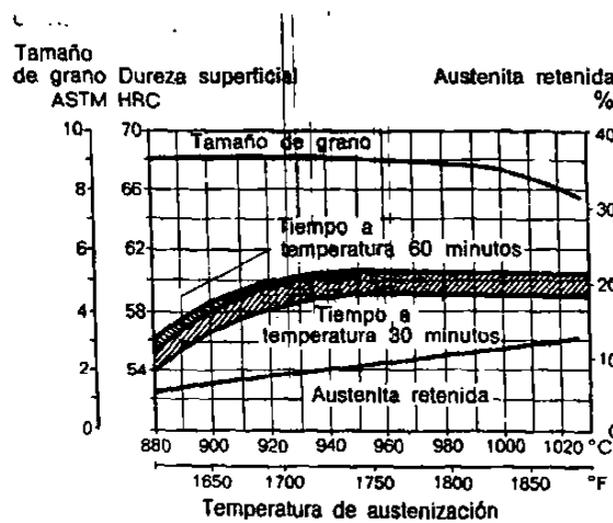
Medios de templado

- Aire o atmósfera circulante
- Aire soplado

- Aceite
- Baño de martemplado

Medidas menores de 2.25" de diámetro, pueden ser templadas al aire para obtener la dureza.

Fig. 6.4 Dureza, tamaño de grano y austenita retenida como función de la temperatura de austenización.



Revenido

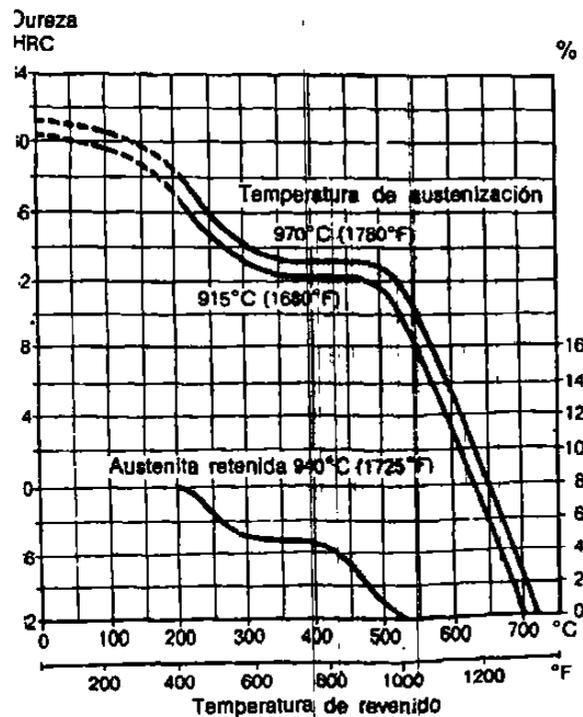
Elegir la temperatura de revenido según la dureza requerida, tomando como referencia las curvas de temperatura. Revenir dos veces, con enfriamiento intercalado a temperatura ambiente. Temperatura mínima de revenido: 180°C. Tiempo de mantenimiento a temperatura : mínimo 2 horas.

Temperatura de revenido y dureza

Datos obtenidos en piezas prueba de 1" de diámetro. Templadas en aceite desde 940°C.

Temperatura de revenido °C	Dureza HRC
180	59 +/- 2
200	58 +/- 2
225	56 +/- 2
250	55 +/- 2
425	53 +/- 2
500	53 +/- 2
550	50 +/- 2

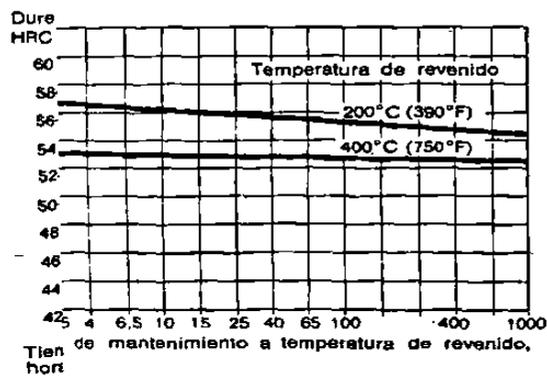
Fig. 6.5 Gráfica de revenido



Temperatura de revenido mínima recomendable 180°C

Fig. 6.6 Efecto del tiempo a temperatura de revenido.

Temperatura de austenización 940°C



Cambios dimensionales

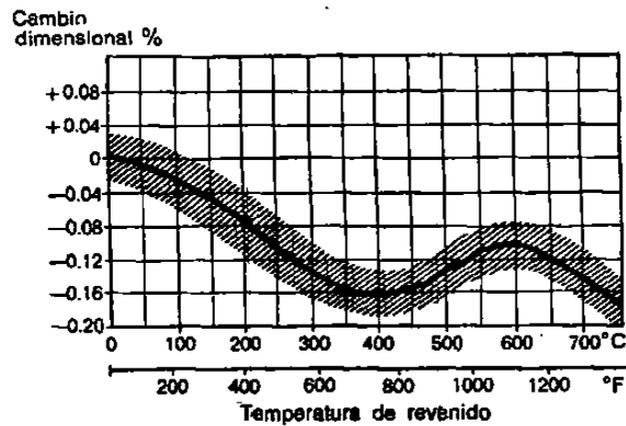
A).-Durante el templado

Muestra de 4*4*1 in.

		Ancho %	Largo %	Espesor %
Temple en aceite				
desde	Min.	+ 0.08	+ 0.09	
940°C	Max	+ 0.10	+ 0.10	+ 0.30
Temperatura al aire				
desde	Min.	+ 0.09	+ 0.10	
940°C	Max	+ 0.10	+ 0.13	+ 0.15

B).- Durante el revenido

Fig. 6.7 Alteración de dimensiones en %



Nota: Las alteraciones de dimensiones en el temple y el revenido deben sumarse.

NITRURACIÓN:

La nitruración produce una capa superficial muy resistente al desgaste y a la erosión, al mismo tiempo que aumenta la resistencia a la corrosión. La nitruración en gas amoniacado a 525°C da una dureza superficial aproximada de 1000 HV

Temperatura de nitruración °C	Tiempo de nitruración (horas)	Profundidad de cementación	
		mm	in
525	20	0.25	0.010
525	30	0.30	0.012
525	60	0.35	0.014

Cromado duro

El acero S-7 se puede recubrir con cromo duro. Después de dicho tratamiento se recomienda revenir la pieza a 180°C durante 4 horas para evitar la fragilidad debida al hidrogeno. se deberá revenir inmediatamente después de ejecutar el cromado.

MECANIZADO ELECTROEROSIVO:

Si se aplica la electroerosión al material en estado de templado y revenido, la herramienta debe someterse a un revenido adicional, a una temperatura aproximadamente 25⁰C mas baja que la del revenido anterior.

RECTIFICACIÓN:

Una técnica adecuada de rectificación siempre evita que se produzcan grietas y prolonga la vida de la herramienta. Las herramientas que se han revenido a baja temperatura son particularmente delicadas durante la rectificación. Únicamente deben utilizarse muelas blandas de grano aglomerado que estén bien formadas y talladas. La velocidad periférica no debe ser excesiva, y es importante que se use una buena cantidad de refrigerante.

Pulido

El acero S-7 permite un buen pulido en condición de templado y revenido

Procedimiento típico:

1. Rectificar con piedra, tamaño de grano 180, 320, y 500 para obtener un acabado de superficie parejo.
2. Pulir con pasta de diamante, tamaño de grano 15, 6 y 3 micras, con una herramienta de pulir de madera o fibra.
3. Cuando se requiera un acabado superficial especialmente fino, use pasta de diamante tamaño de grano de 1 micra sobre una almohadilla de fibra para pulir.

6.3 .- Secuencia “ A “ seleccionada de tratamiento térmico.

La secuencia “A “ de tratamiento térmico seleccionada es:

- Relevado de esfuerzos
- Templado
- Primer revenido a 480⁰C
- Segundo revenido a 480⁰C

- Nitrurado (opcional)

6.4 .- Secuencia “ B “ seleccionada de tratamiento térmico.

La secuencia “ B “ de tratamiento térmico seleccionada es :

- Relevado de esfuerzos
- Templado
- Primer revenido a 540⁰C
- Segundo revenido a 540⁰C
- Nitrurado (opcional)

CAPÍTULO 7

PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DE LA CUCHILLA

7.1.- INTRODUCCIÓN.

Es de suma importancia el efectuar pruebas mecánicas a los materiales con el cual se van a fabricar las cuchillas y de esa manera evaluar el comportamiento mecánico de dichos materiales, los resultados obtenidos de las pruebas son utilizados como punto de partida , si bien es cierto que las condiciones de servicio no son iguales a las pruebas efectuadas en el laboratorio. Estas pruebas fueron efectuadas en servicio

7.2- TIPOS DE PRUEBA DE LA CUCHILLA

Las pruebas mecánicas que se le aplicarán a la cuchilla son :

- Prueba de tenacidad
- prueba de desgaste

7.3 .- PRUEBA DE TENACIDAD DE LA CUCHILLA

En ésta prueba se determina el comportamiento de la cuchilla a fuerzas de impacto y por lo tanto estimar la funcionalidad de la misma al trabajar los siguientes materiales:

- Acero
- Aluminio o aleación de aluminio
- Cobre o aleación de cobre

7.4.- PRUEBA DE DESGASTE DE LA CUCHILLA

La prueba de desgaste de la cuchilla tiene como finalidad determinar su funcionalidad en condiciones para trabajar diversidad de materiales como son:

- Acero
- Aluminio o aleación de aluminio
- Cobre o aleación de cobre

CAPÍTULO 8

RESULTADOS

En las pruebas de tenacidad y desgaste efectuados en las probetas después de los tratamientos térmicos se tuvieron los siguientes resultados.

Tabla 8.1: Resultados de la prueba de la tenacidad.

Resultados obtenidos de cuchillas de corte en frío

Tipo de corte	Material a cortar	Espesor del material a cortar mm (plg.)	Material de la cuchilla	Dureza de la cuchilla HRC	Servicio de la cuchilla antes de rectificar
Placa	acero 1010	Hasta 25.4 (1.0")	S7	50 - 52	100000 cortes
Placa	Acero 1010	Hasta 19.1 (3/4")	S7	52 - 54	110000 cortes
Lámina	Acero galvanizado	Hasta 4.74 (3/16")	D2	58 - 60	Una semana
Lámina	Latón	Hasta 4.74 (3/16")	S7	54 - 58	5000 cortes
Lámina	Aleación de aluminio	Hasta 25.4 (1.0")	D2	58 - 60	450000 cortes

Tabla 8.2: Resultados de la resistencia al desgaste.

Resultados de la resistencia al desgaste de cuchillas y su vida en trabajo en frío

Material de la cuchilla	Dureza de la cuchilla (HRC)	Material a cortar	Espesor mm (plg.)	Desgaste acumulado mm (plg.)	Vida entre rectificadas (hrs.)
S7	52 - 54	acero 1010	19.1 (3/4 “)	.5 (.025”)	125
S7	45-50	acero 1010	19.1 (3/4 “)	1.5 (.075”)	110
D2	58 - 60	acero 1018	6.36 (1/4”)	.1 (.005”)	150
D2	56 - 58	acero 1018	6.36 (1/4”)	.2 (.012”)	150

CAPITULO 9

CONCLUSIONES

9.1.- INTRODUCCIÓN.

Al fabricar una cuchilla o herramienta para efectuar la operación de corte de materiales como, acero al carbono, acero inoxidable austenítico, aluminio, cobre, etc., se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Diseño de la Cuchilla
- Selección del Acero
- Selección del Proceso de Fabricación.

Pero además de obtener la información mediante pruebas de funcionalidad de la cuchilla en aspectos como, Resistencia al Desgaste y La Tenacidad.

9.2.- DISEÑO DE LA CUCHILLA.

En el diseño de la cuchilla se tomaron en cuenta parámetros como son; El diseño para Tratamiento Térmico, El Diseño para Resistencia al Desgaste y El diseño para Tenacidad. En cada uno de estos parámetros se obtuvo la información necesaria para el logro del objetivo de este proyecto que es el de obtener un diseño óptimo.

9.3.- SELECCIÓN DEL ACERO.

Al seleccionar aceros para cuchillas o herramientas de corte frecuentemente resulta difícil predecir que factores serán decisivos para determinar la vida de la herramienta, pero en este proyecto se determinó que es primordial hacer el seguimiento de la cuchilla o herramienta desde el proceso de diseño hasta la etapa de operación y mantenimiento de la misma y de esta forma visualizar los problemas o dificultades que se presentan en todo el proceso y así poder hacer las acciones correctivas y lograr el objetivo deseado.

9.4.- SELECCIÓN DEL PROCESO.

En la selección del proceso de fabricación de la cuchilla o herramienta se compararon dos alternativas, la primera de ellas involucra los procesos de maquinado convencionales y la segunda alternativa a procesos no convencionales.

Los procesos de maquinado convencional son adecuados para fabricar de medio a altos volúmenes de cuchillas o herramientas y los procesos de maquinado no convencional son adecuados para fabricar de una a cinco cuchillas o herramientas.

CAPITULO 10

RECOMENDACIONES

10.1.- INTRODUCCIÓN.

En este proyecto las recomendaciones que se dan son en varios aspectos:

- Diseño de la cuchilla
- Selección del acero
- Resistencia al Desgaste
- Tenacidad
- Proceso de Fabricación

10.2.- DISEÑO DE LA CUCHILLA.

En el diseño de la cuchilla se recomienda reducir al máximo los cambios bruscos de sección en donde sea posible y además de reducir en lo posible los concentradores de esfuerzos. También es importante el aspecto termodinámico, es decir lo concerniente a la simetría de la cuchilla.

10.3.- SELECCIÓN DEL ACERO.

En la selección del acero se recomienda utilizar el acero adecuado para cada aplicación, por ejemplo si se va a cortar lámina de acero al carbono menor a 4.76 mm, en frío se recomienda un acero de herramienta D2 y una dureza de 56 a 58 HRC. Si se va a cortar el mismo material pero de 6.4 mm de espesor o mayor se recomienda un acero de herramienta S7.

10.4.- RESISTENCIA AL DESGASTE.

La resistencia al desgaste es función de la dureza y de los carburos del acero de herramienta, aquí se recomienda para aceros D2 una dureza de 60 a 62 HRC y para los aceros S7 una dureza de 56 a 58 HRC.

10.5.- TENACIDAD.

La tenacidad de los aceros es inversa a la dureza es decir a mayor dureza de la cuchilla menor tenacidad de la misma, por lo tanto se recomienda para los aceros D2 60 a 62 HRC para resistir desgaste y de 52 a 54 HRC para tenacidad.

10.6.- PROCESO DE FABRICACIÓN.

Al fabricar la cuchilla se recomienda lo siguiente, si la cuchilla que se va a fabricar no existen antecedentes hay que fabricar un prototipo y ponerla a trabajar, también se recomienda hacer una bitácora para llevar las anotaciones de cada etapa, es decir desde el diseño hasta la operación y el mantenimiento de la cuchilla o herramienta y así tomar la **DECISIÓN FINAL**.

BIBLIOGRAFÍA

ASM Handbook
Mechanical Testing
Volumen 7, 1990

ASM HANDBOOK
Materials Selection and Design
Volumen 20, 1997

ASM HANDBOOK
Heat Treating
Volumen 4, 1990

William F. Smith
Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales
Ed. M^c. Grawhill 2^a Edición, 1993
Tool Engineers Handbook
A.S.T.M.E., 1988

Die Design Handbook
A.S.T.M.E., 1990

Stuart Pugh
Total Design
Addison - Wesley Publishing, Co. 1991

LISTADO DE TABLAS

Tabla 3.1.- Maquinabilidad de aceros de herramienta -----	9
Tabla 3.2.- Resistencia al desgaste de aceros herramienta -----	10
Tabla 3.3.- Vida de la herramienta de aceros-----	11
Tabla 3.4.- Incremento de la vida de la herramienta al reducir el espesor -----	13
Tabla 3.5.- Tenacidad de diferentes aceros de herramientas -----	14
Tabla 3.6.- Clasificación operacional de situaciones de desgaste -----	17
Tabla 8.1.- Tabla de resultados de la resistencia al desgaste-----	53
Tabla 8.2.- Resultados de la prueba de la tenacidad-----	54

LISTADO DE FIGURAS

Fig. 1.- Los seis pasos en el proceso de diseño -----	4
Fig. 4.1.- Resistencia al impacto -----	29
Fig. 5.1.- Cuchilla circular -----	31
Fig. 5.2.- Cuchilla rectangular-----	31
Fig. 5.3.- Cuchilla rectangular-----	31
Fig. 6.1.- Dureza en función de la temperatura de temple-----	39
Fig. 6.2.- Diagrama de revenido-----	40
Fig. 6.3.- Aterricen de dimensiones-----	41
Fig.- 6.4.- Dureza, tamaño de grano y austenita retenida como función de la temperatura de austenización -----	45
Fig.- 6.5.- Gráfica de revenido -----	46
Fig.- 6.6.- Efecto del tiempo a temperatura de revenido-----	47
Fig.- 6.7.- Alteraciones de dimensiones en %-----	48

APÉNDICE A

GLOSARIO

Acero para herramientas.- Grupo de aceros aleados que tienen una combinación de alta dureza, alta resistencia a la tensión, alta resistencia al desgaste etc.

Alivio de esfuerzos.- Tratamiento térmico aplicado a un metal para reducir los esfuerzos residuales ocasionados por el maquinado o formado.

Austenita retenida.- Austenita que no se transformo en martensita durante el templeado y que causa problemas en herramientas de alta precisión, ya que la austenita es una microestructura metaestable.

Desgaste abrasivo.- Remoción de material de la superficie ocasionado por partículas de alta dureza.

Desgaste adhesivo.- Remoción de material de la superficie ocasionado por la unión de dos materiales bajo presión en la acción de corte.

Desgaste corrosivo.- Desgaste ocasionado por reacciones químicas o electroquímicas con el medio.

Desgaste por erosión.- Perdida progresiva de material ocasionado por la acción mecánica entre la superficie y un líquido, o también entre la superficie y un líquido impregnado.

Dureza.- Es la medida de la resistencia a la penetración o a la abrasión. No hay una escala absoluta para la dureza; por lo tanto para expresar cuantitativamente la dureza, cada tipo de prueba tiene su propia escala.

Esfuerzo de fluencia o de cedencia.- Esfuerzo aplicado a un material que provoca una deformación plástica permanente.

Esfuerzo.- Fuerza aplicada dividida entre el área transversal original del material.

Lámina galvanizada.- Producto plano de acero que tiene recubrimiento de zinc.

Lámina.- Producto plano de metal que tiene un espesor máximo de 6.36 mm ($\frac{1}{4}$).

Martensita de revenido.- Mezcla de ferrita y cementita que se forma en el revenido.

Martensita de temple.- Mezcla de ferrita y cementita que se forma durante el temple.

Metaestable.- Fase estructural no estable, es decir cambia con el tiempo hacia ser estable.

Módulo de elasticidad.- Se determina por la pendiente de la gráfica esfuerzo-deformación en la región elástica, también se le llama Modulo de Young.

Nitrurado.- Tratamiento térmico superficial, el cual consiste en difundir átomos de nitrógeno en la superficie de la herramienta para formar nitruros; de cromo, de hierro, de aluminio, etc.. La finalidad de este proceso es aumentar substancialmente la resistencia al desgaste.

Recocido total.- Tratamiento térmico que sirve para eliminar la dureza que tiene un acero y de esta manera maquinarlo.

Relevado de esfuerzos.- Tratamiento térmico que sirve para eliminar los esfuerzos residuales causados por el maquinado burdo, soldadura, formado, etc.

Resistencia a la fatiga.- Esfuerzo requerido para provocar la ruptura por fatiga en 500 millones de ciclos.

Resistencia a la tensión.- Esfuerzo que corresponde a la fuerza máxima en la prueba de tensión.

Resistencia al desgaste.- Es la propiedad que tiene un material en oponerse a la acción de abrasión.

Revenido.- Tratamiento térmico que tiene por objeto primordial regular la dureza y a su vez la tenacidad, pero sacrificando dureza y resistencia al desgaste.

Temple.- Tratamiento térmico cuya finalidad es incrementar la dureza, la resistencia a la tensión, la resistencia al desgaste, pero con poca ductilidad y alta fragilidad.

Tenacidad.- Medida cualitativa de las propiedades al impacto de un material. Un material que resiste a la fractura por impacto, es tenaz.

Tratamiento sub-cero.- Tratamiento térmico que se aplica a los aceros de herramientas, para eliminar la austenita retenida obtenida en el temple. Este tratamiento consiste en someter a la herramienta a temperaturas de -80 a -160°C.

“ Slitting “.- Corte de lámina a lo largo de ésta para obtener cinta o banda.

“ Strain “ .- Deformación elástica o plástica. El término strain es frecuentemente utilizado para la deformación plástica. En el corte strain esta asociado con un cambio de ángulo entre planos que se intersectan.

“ Trimming “ .- Es el término aplicado a la operación de cortar bordes o aristas.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

BUENAVENTURA JAVIER FLORES RODRÍGUEZ

Candidato para el grado de

Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Diseño Mecánico..

Tesis: **DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA: CUCHILLA PARA TRABAJAR EN FRÍO.**

Campo de Estudio: Ciencias aplicadas

.

Biografía:

Datos Personales: Nacido en Monterrey, Nuevo León el 14 de Julio de 1945, hijo de Hermenegildo Flores Cantú (finado) y Gracia del Carmen Rodríguez Saldivar (finada).

Educación: Egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, grado obtenido; Ingeniero Mecánico Electricista en 1972 con mención honorífica, primer lugar generación 1967-1972. Becado por Conacyt en 1973 para estudiar una especialización en el campo de la siderurgia en el país de Italia. M.C. en ingeniería mecánica con especialidad en materiales: Diciembre de 1996.

Asociaciones: Socio de la ASM International desde 1969, de la Heat Treating Society desde 1995 y de la International Metallographic Society desde abril de 1999.

Experiencia Profesional: Maestro de tiempo completo de la Universidad Autónoma de Nuevo León desde 1970.

