

**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA**  
**SECCION DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACION**

---

---

**DISEÑO DE MATRICES PARA LA MANUFACTURA  
DE  
COMPONENTES AUTOMOTRICES DE ACERO  
INOXIDABLE T304 MEDIANTE EL PROCESO DE  
CONFORMADO EN FRIO**

*TESIS DE MAESTRIA  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD  
EN INGENIERIA MECANICA  
OPCION DISEÑO*

**PRESENTA:**

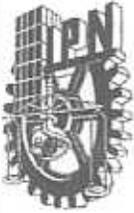
**ING. MARIO GUERRERO RIVERA**

**DIRECTOR DE TESIS: DR. GUILLERMO URRIOLAGOITIA SOSA**

**CODIRECTOR DE TESIS: M. en C. GABRIEL VILLA Y RABASA**



MEXICO, D. F. 2006



# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

## ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D. F. siendo las 11:00 horas del día 23 del mes de Mayo del 2006 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de la E. S. I. M. E. para examinar la tesis de grado titulada:

**“DISEÑO DE MATRICES PARA LA MANUFACTURA DE COMPONENTES AUTOMOTRICES DE ACERO INOXIDABLE TIPO 304 MEDIANTE EL PROCESO DE CONFORMADO EN FRÍO”**

Presentada por el alumno:

**GUERRERO**  
Apellido paterno

**RIVERA**  
materno

**MARIO**  
nombre(s)

Con registro: 

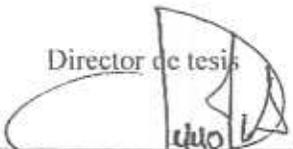
B	0	4	0	9	7	3
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACIÓN DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

### LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis  
  
DR. GUILLERMO URRIOLAGOITIA SOSA

  
DR. GUILLERMO URRIOLAGOITIA CALDERÓN

  
DR. LUIS HÉCTOR FERNÁNDEZ GÓMEZ

  
M EN C. GABRIEL VILCA Y RABASA

  
M EN C. RAÚL DELGADO NIETO

  
DR. ORLANDO SUSARREY HUERTA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

  
DR. JAIME ROBLES  
SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO





**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
COORDINACION GENERAL DE POSGRADO E INVESTIGACION

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, Distrito Federal, el día 30 del mes MAYO del año 2006, el (la) que suscribe Ing. Mario Guerrero Rivera alumno (a) del Programa de MAESTRÍA EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA MECÁNICA con número de registro: B-040973, adscrito en la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la E.S.I.M.E. Unidad Zacatenco, manifiesta que es autor (a) intelectual de este Trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. GUILLERMO URRIOLAGOITIA SOSA y cede los derechos del trabajo titulado DISEÑO DE MATRICES PARA LA MANUFACTURA DE COMPONENTES AUTOMOTRICES DE ACERO INOXIDABLE T-304 MEDIANTE EL PROCESO DE CONFORMADO EN FRIO

al Instituto Politécnico Nacional para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, graficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido, escribiendo a la siguiente dirección electronica: mguerrerorivera@hotmail.com

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ing. MARIO GUERRERO RIVERA

Nombre y Firma

## RESUMEN

El presente trabajo se inicia con la clasificación y descripción de los distintos métodos que hay para el trabajo en frío de los metales. Se describen las características de los metales ferrosos y no ferrosos y que son factibles de ser utilizados en el conformado en frío. Se hace la descripción de la estructura cristalina de los metales para comprender mejor el parámetro de la maleabilidad máxima, así mismo, de otras propiedades mecánicas necesarias en el proceso de conformado en frío, siendo adecuado tener una estructura cúbica centrada en el cuerpo (*BCC*) y mejor cuando tienen estructura cúbica centrada en las caras (*FCC*).

Se especifican las características, aplicaciones, reglas, ventajas y límites del proceso de recalcado y de la extrusión. También, se propone un método práctico para determinar el grado de conformación de los metales mediante ensayos en laboratorio de los cuales se obtienen resultados en un acero inoxidable tipo 304.

Se proporcionan los criterios de diseño de las herramientas para el corte del material, recalcado y extrusión. Se describen también las características principales de la maquinaria y equipo con el que se cuenta actualmente para la manufactura de componentes automotrices. Se describen las características que deben reunir las herramientas para obtener una mayor vida útil de trabajo.

Gracias a varios ensayos realizados y consideraciones teóricas disponemos de una serie de fórmulas las cuales se tratan en el presente trabajo.

## ABSTRACT

The present work begins with the classification and description of the different methods that there are for the work in cold of metals. The characteristics of the ferrous and nonferrous metals are described and that are feasible of being used in the conformed one in cold. The description is made of the crystalline structure of metals to include/understand better because Maxima malleability, in addition to other necessary mechanical properties in the conformed process of in cold, is better when they even have a centered cubical structure in the body and but when they have centered cubical structure in the faces.

The characteristics, applications, rules, advantages are specified and you limit of the stressed process of and the extrusion. Also, a method sets out I practice to determine the degree of conformation of metals by means of tests in laboratory from which results in a stainless steel are obtained type 304.

The criteria of design of the tools for the cut of the material, stressed and extrusion are provided. To the basic characteristicses of the machinery and equipment with are also described which is counted at the moment for the manufacture of automotive components. The characteristics are described that must reunite the tools to obtain a greater life utility of work. Theoretical thanks to several made tests and considerations we have a series of you formulate which treat the present in work.

## OBJETIVOS

Con el presente trabajo se proporcionan los conocimientos científicos y tecnológicos del proceso de conformado en frío, fundamentalmente del recalado y extrusión. El objetivo es aplicar dichos conocimientos en el diseño de herramientas y matrices para la manufactura de componentes automotrices utilizando materiales como los aceros al carbono, aceros aleados e inoxidables, así como materiales no ferrosos.

Partiendo de la base que en la actualidad, en Instituciones de Educación Superior de los principales países industrializados, están incluyendo en sus planes de estudio la técnica de la conformación en frío, surge la necesidad de realizar estudios en esta materia, cuyo objetivo fundamental sea el de impulsar y desarrollaren México esta tecnología, principalmente en la industria automotriz.

## JUSTIFICACIÓN

Esta muy bien documentado el hecho de que los metales son susceptibles de transformar su forma por vía plástica aplicando una fuerza sobre ellos.

La conformación en frío ha evolucionado partiendo del deseo de fabricar lo más económicamente posible piezas metálicas, de aplicación en todo tipo de industria. La iniciación de este procedimiento ha de buscarse en el laminado, estirado de varillas y alambres, estirado profundo o embutición, estampado en frío, fabricación de tubos y, últimamente, el prensado en frío por fluencia. En estos procedimientos mencionados se han ido aprovechando cada vez más la ductilidad de los metales sometidos a fuerzas. Con el paso del tiempo y avance tecnológico, se ha ido demostrando que todos los metales y sus aleaciones permiten la conformación en frío.

Las formas obtenidas actualmente por el conformado en frío son cada vez mas complicadas. Para el ingeniero resulta más comprensible si se habla del forjado en frío, expresión que caracteriza mejor la fabricación de piezas de formas complicadas que el prensado en frío por fluencia y otros sistemas. El forjado en frío es un procedimiento de fabricación que exige extensos conocimientos muy especializados en varias áreas de la ingeniería mecánica y una basta experiencia para implantarlo como son: Ciencia de Materiales, Diseño Mecánico, Tratamientos Térmicos, Manufactura y Procesos por conformado.

Aunque el proceso de forja en frío se utiliza desde hace mas de 100 años, solo en épocas muy recientes, la industria en general como la electrónica, agrícola, automotriz, militar, etc., han comprendido las enormes perspectivas que ofrece este proceso.

El trabajo en equipo ha demostrado ser el de mas éxito. Actualmente un equipo internacional de expertos de Inglaterra, Francia, Alemania y EE.UU. dedican sus esfuerzos en ampliar el ámbito de aplicación del forjado en frío de aceros para diferentes piezas perfiladas con objeto de beneficiar a las industrias de dichos países.

Innumerables piezas metálicas que generalmente se fabrican en tornos automáticos y por fundición, poseen las propiedades y características geométricas ideales para ser manufacturadas mediante el conformado en frío, ya que el conformado en frío *redunda en costos mas bajos, en mayor producción, en ahorro de materia prima y mejores propiedades físicas de las piezas.*

La industria de vehículos automotrices ha llegado ha constituir hoy en día una de las principales consumidoras de piezas forjadas en frío. El motivo principal debe buscarse en la economía que como ya se menciono, nos ofrece este proceso en la fabricación de grandes cantidades de un mismo tipo de pieza. También juega un papel decisivo la mayor calidad y el no requerir las piezas, en la mayoría de los casos, mecanización posterior alguna.

## CONTENIDO

<i>RESUMEN</i>	<i>i</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>ii</i>
<i>OBJETIVOS</i>	<i>iii</i>
<i>JUSTIFICACION</i>	<i>iv</i>
<i>INDICE GENERAL</i>	<i>vi</i>
<i>INDICE DE FIGURAS</i>	<i>xii</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i>	<i>xv</i>
<i>INDICE DE FOTOGRAFIAS</i>	<i>xvii</i>
<i>SIMBOLOGIA</i>	<i>xix</i>
<i>INTRODUCCION Y DEFINICIÓN DE CONCEPTOS</i>	<i>xxi</i>

### CAPITULO 1

#### MATERIALES UTILIZADOS EN LA MANUFACTURA DE COMPONENTES CONFORMADOS EN FRIO.

<b>GENERALIDADES</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Materiales férricos.</b>	<b>3</b>
1.1.1 Aceros al carbono.	3
1.1.2 Aceros aleados.	5
1.1.3 Aceros inoxidables.	8

<b>1.2 Materiales no férricos.</b>	9
1.2.1 Aleaciones de aluminio.	9
1.2.2 Aleaciones de cobre.	9
<b>1.3 Formas, peso y dimensiones de los materiales de partida.</b>	11
<b>1.4 Preparación de las superficies</b>	11
1.4.1 Recubrimientos superficiales.	11
<b>1.5 Ensayos de materiales de partida.</b>	12
<b>1.6 Criterios de diseño de las herramientas para el corte de material.</b>	13

## CAPITULO 2

### TEORIA Y CONCEPTOS DE LA DEFORMACION PLASTICA

<b>2.1 Naturaleza física de la deformación plástica.</b>	17
2.1.1 Estructura atómica.	17
2.1.2 Estructura de los metales.	18
2.1.3 Mecanismo de la deformación plástica.	22
2.1.4 Proceso ideal de deslizamiento.	26
2.1.5 Proceso real de deslizamiento.	28
<b>2.2 Relación entre tensión normal y tangencial</b>	29
2.2.1 Monocristal.	29
2.2.2 Policristal. Concepto de resistencia a la conformación.	32
<b>2.3 Relaciones geométricas y cinemática.</b>	33
2.3.1 Invariabilidad del volumen.	33
2.3.2 Grado de conformación.	33
2.3.3 Velocidad de conformación.	37

<b>2.4 Resistencia a la conformación Kf. Factores que influyen sobre ella.</b>	
<b>Concepto de curva de fluencia.</b>	<b>38</b>
<b>2.5 Recalcado.</b>	<b>40</b>
<b>2.6 Deformación media, máxima y local .</b>	<b>43</b>
<b>2.7 Temperatura en el recalcado.</b>	<b>45</b>
<b>2.8 Diagrama de fuerza- recorrido.</b>	<b>45</b>
<b>2.9 Estirado y extrusión.</b>	<b>47</b>
<b>2.10 Recalcado en una fase de trabajo .</b>	<b>48</b>
<b>2.11 Recalcado en varias fases de trabajo.</b>	<b>49</b>
2.11.1 Configuración del recalcado previo (estampas rígidas).	51
2.11.2 Formas especiales de prerrecalcado (elásticos).	60

### **CAPITULO 3**

#### **MAQUINAS PARA LA CONFORMACION DE METALES**

<b>3.1 Maquinas para la conformación en frío.</b>	<b>65</b>
<b>3.2 Conformadoras horizontales de varias fases.</b>	<b>73</b>

### **CAPITULO 4**

#### **MATRICES PARA EL CONFORMADO EN FRIO (HERRAMIENTAS)**

<b>4.1 Influencia de las herramientas en la fabricación de componentes.</b>	<b>78</b>
---	-----------

<b>4.2 Esfuerzos sobre las herramientas.</b>	79
4.2.1 Esfuerzos mecánicos.	79
4.2.1 Esfuerzos térmicos.	79
4.2.2 Duración de las herramientas.	80
<b>4.3 Normas generales de las formas de las herramientas.</b>	83
4.3.1 Subdivisión de herramienta inferior y herramienta superior.	84
4.3.2 Agujeros para salidas de aire.	84
4.3.3 Armado de herramientas.	85
4.3.4 Las formas mas usuales de herramientas.	86
<b>4.4 Manufactura de las herramientas.</b>	89
4.4.1 Fabricación con arranque de viruta.	89
4.4.2 Medidas para economizar acero para herramientas.	90
4.4.3 Fabricación de herramientas mediante conformación.	91
4.4.3.1 Prensado en caliente.	92
4.4.3.2 Prensado en frío.	93
4.4.4 Fabricación de herramientas mediante electro erosión.	95
<b>4.5 Materiales para herramientas.</b>	96
4.5.1 Criterios para la elección del acero.	96
4.5.2 Aceros de herramientas para la conformación en frío.	97
<b>4.6 Tratamiento térmico de las herramientas.</b>	98
4.6.1 Recocido.	98
4.6.2 Temple.	98
4.6.3 Revenido.	101
4.6.4 Dureza de montaje de las herramientas.	102

<b>4.7 Tratamiento posterior de la superficie de las herramientas.</b>	102
4.7.1 Pulido.	102
4.7.2 Cromado duro.	103
4.7.3 Revestimiento de carburo de titanio.	103
<b>4.8 Herramientas de carburo de tungsteno.</b>	104
4.8.1 Características y composición del carburo de tungsteno.	104

## CAPITULO 5

### RESULTADOS DEL DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA MANUFACTURA DE BIRLOS AUTOMOTRICES DE ACERO INOXIDABLE TIPO-304 MEDIANTE EL PROCESO DE CONFORMADO EN FRIO.

<b>5.1 Planteamiento del problema.</b>	111
<b>5.2 Análisis de factibilidad para la manufactura de los birlos.</b>	111
<b>5.3 Memoria de calculo para determinar los parámetros de forja.</b>	112
5.3.1 Calculo de volúmenes del birlo.	113
5.3.2 Calculo de reducción de área y grado de conformación	114
5.3.3 Calculo de la relación de recalado y grado de conformación.	115
<b>5.4 Diseño de la secuencia de fases.</b>	116
<b>5.5 Diseño de las herramientas para el conformado.</b>	117
<b>5.6 Fabricación de las herramienta.</b>	117
<b>5.7 Descripción de la Fabricación de los birlos.</b>	118

<b>5.8 Análisis comparativo de resultados.</b>	122
5.8.1 Descripción del ensayo.	122
5.8.2 Material utilizado.	122
5.8.3 Equipos utilizados.	122
<b>5.9 Resultados de dureza obtenidos del material de acero tipo 304 con una resistencia a la tensión de 105 ksi antes de conformarlo.</b>	124
<b>5.10 Resultados obtenidos de dureza del birlo de acero tipo 304 recalado y extruído en frío.</b>	125
<b>5.11 Análisis comparativo de resultados.</b>	126

## **CONCLUSIONES**

## **REFERENCIAS**

## **RECOMENDACIONES**

## **TRABAJOS FUTUROS**

## **ANEXOS**

## INDICE DE FIGURAS

### CAPITULO 1

1.1.1 Aceros al carbono.	3
1.1.2 Aceros aleados.	5
1.1.3 Aceros inoxidable.	8
1.2.1 Aleaciones de aluminio.	9
1.2.2 Aleaciones de cobre.	9
1.3 Formas, peso y dimensiones de los materiales de partida.	11
1.4 Preparación de las superficies	11
1.4.1 Recubrimientos superficiales.	11
1.5 Ensayos de materiales de partida.	12
1.6 Criterios de diseño de las herramientas para el corte de material.	13

### CAPITULO 2

2.1.1 Estructura atómica.	17
2.1.2 Estructura de los metales.	18
2.1.3 Mecanismo de la deformación plástica.	22
2.1.4 Proceso ideal de deslizamiento.	26
2.1.5 Proceso real de deslizamiento.	28
2.2.1 Monocristal.	29
2.2.2 Policristal. Concepto de resistencia a la conformación.	32
2.3.1 Invariabilidad del volumen.	33
2.3.2 Grado de conformación.	33
2.3.3 Velocidad de conformación.	37
2.4 Resistencia a la conformación $K_f$ . Factores que influyen sobre ella.	
Concepto de curva de fluencia.	38

2.5 Recalcado.	40
2.6 Deformación media, máxima y local .	43
2.7 Temperatura en el recalcado.	45
2.8 Diagrama de fuerza- recorrido.	45
2.9 Estirado y extrusión.	47
2.10 Recalcado en una fase de trabajo .	48
2.11.1 Configuración del recalcado previo (estampas rígidas).	51
2.11.2 Formas especiales de prerecalcado (elásticos).	60

### **CAPITULO 3**

3.1 Maquinas para la conformación en frío.	65
3.2 Conformadoras horizontales de varias fases.	73

### **CAPITULO 4**

4.2.1 Esfuerzos mecánicos.	79
4.2.1 Esfuerzos térmicos.	79
4.2.2 Duración de las herramientas.	80
4.3.1 Subdivisión de herramienta inferior y herramienta superior.	84
4.3.2 Agujeros para salidas de aire.	84
4.3.3 Armado de herramientas.	85
4.3.4 Las formas mas usuales de herramientas.	86
4.4.1 Fabricación con arranque de viruta.	89
4.4.2 Medidas para economizar acero para herramientas.	90
4.4.3 Fabricación de herramientas mediante conformación.	91
4.4.3.1 Prensado en caliente.	92
4.4.3.2 Prensado en frío.	93
4.4.4 Fabricación de herramientas mediante electro erosión.	95
4.5.1 Criterios para la elección del acero.	96

4.5.2 Aceros de herramientas para la conformación en frío.	97
4.6.1 Recocido.	98
4.6.2 Temple.	98
4.6.3 Revenido.	101
4.6.4 Dureza de montaje de las herramientas.	102
4.7.1 Pulido.	102
4.7.2 Cromado duro.	103
4.7.3 Revestimiento de carburo de titanio.	103
4.8.1 Características y composición del carburo de tungsteno.	104

## CAPITULO 5

5.1 Planteamiento del problema.	111
5.2 Análisis de factibilidad para la manufactura de los birlos.	111
5.3.1 Calculo de volúmenes del birlo.	113
5.3.2 Calculo de reducción de área y grado de conformación	114
5.3.3 Calculo de la relación de recalado y grado de conformación.	115
5.4 Diseño de la secuencia de fases.	116
5.5 Diseño de las herramientas para el conformado.	117
5.6 Fabricación de las herramienta.	117
5.7 Descripción de la Fabricación de los birlos.	118
5.8.1 Descripción del ensayo.	122
5.8.2 Material utilizado.	122
5.8.3 Equipos utilizados.	122
5.9 Resultados de dureza obtenidos del material de acero tipo 304 con una resistencia a la tensión de 105 ksi antes de conformarlo.	124
5.10 resultados obtenidos de dureza del birlo de acero tipo 304 recalado y extruído en frío.	125
5.11 Análisis comparativo de resultados.	126

## INDICE DE TABLAS

### CAPITULO 1

1.1 Materiales férricos.	3
1.2 Materiales no férricos.	9
1.3 Formas, peso y dimensiones de los materiales de partida.	11
1.4 Preparación de las superficies	11
1.5 Ensayos de materiales de partida.	12
1.6 Criterios de diseño de las herramientas para el corte de material	13

### CAPITULO 2

2.1 Naturaleza física de la deformación plástica.	17
2.2 Relación entre tensión normal y tangencial	29
2.3 Relaciones geométricas y cinemática.	33
2.4 Resistencia a la conformación Kf. Factores que influyen sobre ella.	
Concepto de curva de fluencia.	38
2.5 Recalcado.	40
2.6 Deformación media, máxima y local .	43
2.7 Temperatura en el recalcado.	45
2.8 Diagrama de fuerza- recorrido.	45
2.9 Estirado y extrusión.	47
2.10 Recalcado en una fase de trabajo .	48
2.11 Recalcado en varias fases de trabajo.	49

### CAPITULO 3

3.1 Maquinas para la conformación en frío.	65
3.2 Conformadoras horizontales de varias fases.	73

## CAPITULO 4

4.1 Influencia de las herramientas en la fabricación de componentes.	78
4.2 Esfuerzos sobre las herramientas.	79
4.3 Normas generales de las formas de las herramientas.	83
4.4 Manufactura de las herramientas.	89
4.5 Materiales para herramientas.	96
4.6 Tratamiento térmico de las herramientas.	98
4.7 Tratamiento posterior de la superficie de las herramientas.	102
4.8 Herramientas de carburo de tungsteno.	104

## CAPITULO 5

5.1 Planteamiento del problema.	111
5.2 Análisis de factibilidad para la manufactura de los birlos.	111
5.3 Memoria de calculo para determinar los parámetros de forja.	112
5.4 Diseño de la secuencia de fases.	116
5.5 Diseño de las herramientas para el conformado.	117
5.6 Fabricación de las herramienta.	117
5.7 Descripción de la Fabricación de los birlos.	118
5.8 Análisis comparativo de resultados.	122
5.9 Análisis comparativo de resultados.	126

## INDICE DE FOTOGRAFÍAS

### CAPITULO 1

1.1 Materiales férricos.	3
1.2 Materiales no férricos.	9
1.3 Formas, peso y dimensiones de los materiales de partida.	11
1.4 Preparación de las superficies	11
1.5 Ensayos de materiales de partida.	12
1.6 Criterios de diseño de las herramientas para el corte de material	13

### CAPITULO 2

2.1 Naturaleza física de la deformación plástica.	17
2.2 Relación entre tensión normal y tangencial	29
2.3 Relaciones geométricas y cinemática.	33
2.4 Resistencia a la conformación Kf. Factores que influyen sobre ella.	
Concepto de curva de fluencia.	38
2.5 Recalcado.	40
2.6 Deformación media, máxima y local .	43
2.7 Temperatura en el recalcado.	45
2.8 Diagrama de fuerza- recorrido.	45
2.9 Estirado y extrusión.	47
2.10 Recalcado en una fase de trabajo .	48
2.11 Recalcado en varias fases de trabajo.	49

### CAPITULO 3

3.1 Maquinas para la conformación en frío.	65
3.2 Conformadoras horizontales de varias fases.	73

## CAPITULO 4

4.1 Influencia de las herramientas en la fabricación de componentes.	78
4.2 Esfuerzos sobre las herramientas.	79
4.3 Normas generales de las formas de las herramientas.	83
4.4 Manufactura de las herramientas.	89
4.5 Materiales para herramientas.	96
4.6 Tratamiento térmico de las herramientas.	98
4.7 Tratamiento posterior de la superficie de las herramientas.	102
4.8 Herramientas de carburo de tungsteno.	104

## CAPITULO 5

5.1 Planteamiento del problema.	111
5.2 Análisis de factibilidad para la manufactura de los birlos.	111
5.3 Memoria de calculo para determinar los parámetros de forja.	112
5.4 Diseño de la secuencia de fases.	116
5.5 Diseño de las herramientas para el conformado.	117
5.6 Fabricación de las herramienta.	117
5.7 Descripción de la Fabricación de los birlos.	118
5.8 Análisis comparativo de resultados.	122
5.9 Análisis comparativo de resultados.	126

## SIMBOLOGIA

1.1 Materiales férricos.	3
1.2 Materiales no férricos.	9
1.3 Formas, peso y dimensiones de los materiales de partida.	11
1.4 Preparación de las superficies	11
1.5 Ensayos de materiales de partida.	12
1.6 Criterios de diseño de las herramientas para el corte de material	13
2.1 Naturaleza física de la deformación plástica.	17
2.2 Relación entre tensión normal y tangencial	29
2.3 Relaciones geométricas y cinemática.	33
2.4 Resistencia a la conformación Kf. Factores que influyen sobre ella.	
Concepto de curva de fluencia.	38
2.5 Recalcado.	40
2.6 Deformación media, máxima y local .	43
2.7 Temperatura en el recalcado.	45
2.8 Diagrama de fuerza- recorrido.	45
2.9 Estirado y extrusión.	47
2.10 Recalcado en una fase de trabajo .	48
2.11 Recalcado en varias fases de trabajo.	49
3.1 Maquinas para la conformación en frío.	65
3.2 Conformadoras horizontales de varias fases.	73
4.1 Influencia de las herramientas en la fabricación de componentes.	78
4.2 Esfuerzos sobre las herramientas.	79
4.3 Normas generales de las formas de las herramientas.	83
4.4 Manufactura de las herramientas.	89
4.5 Materiales para herramientas.	96
4.6 Tratamiento térmico de las herramientas.	98
4.7 Tratamiento posterior de la superficie de las herramientas.	102
4.8 Herramientas de carburo de tungsteno.	104
5.1 Planteamiento del problema.	111

5.2	Análisis de factibilidad para la manufactura de los birlos.	111
5.3	Memoria de calculo para determinar los parámetros de forja.	112
5.4	Diseño de la secuencia de fases.	116
5.5	Diseño de las herramientas para el conformado.	117
5.6	Fabricación de las herramienta.	117
5.7	Descripción de la Fabricación de los birlos.	118
5.8	Análisis comparativo de resultados.	122
5.9	Análisis comparativo de resultados.	126

## INTRODUCCION Y DEFINICION DE CONCEPTOS

El concepto general de la conformación mecánica se define como sigue según DIN 8580:

***La conformación es la consecución de la forma de un cuerpo sólido mediante la transformación dúctil (plástica)***

En este proceso se mantienen, tanto la masa como la composición química.

Para clasificar la "técnica mecánica de la conformación " se consideran los semiproductos de partida , las temperaturas de transformación, las principales sollicitaciones en la zona de conformación. Así como la configuración geométrica de los productos . Los procedimientos correspondientes a la técnica de conformación se realizan en función de las características dadas del material a diferentes temperaturas. Respecto al proceso y las características del material es importante determinar si la pieza se calienta o no antes de realizarse la conformación. Según la temperatura de transformación se distingue entre:

a) Conformación después del calentamiento (conformación en caliente) con deformaciones importantes , fuerzas reducidas, exactitud dimensional reducida;

b) Conformación sin precalentamiento (conformación en frío) con deformaciones limitadas fuerzas elevadas y mayor exactitud respecto a las dimensiones.

Esta subdivisión ha de distinguirse de aquella que se refiere a las variaciones de resistencia durante el proceso de conformación. Según ella se distingue entre:

c) Conformación con o sin variación transitoria de la resistencia, en general por debajo de la zona de recristalización;

d) Conformación con variación de resistencia permanente, por encima de la zona de recristalización.

La subdivisión de los procedimientos de conformación según DIN 8582 hasta DIN 8587 se indica en la fig. 01.

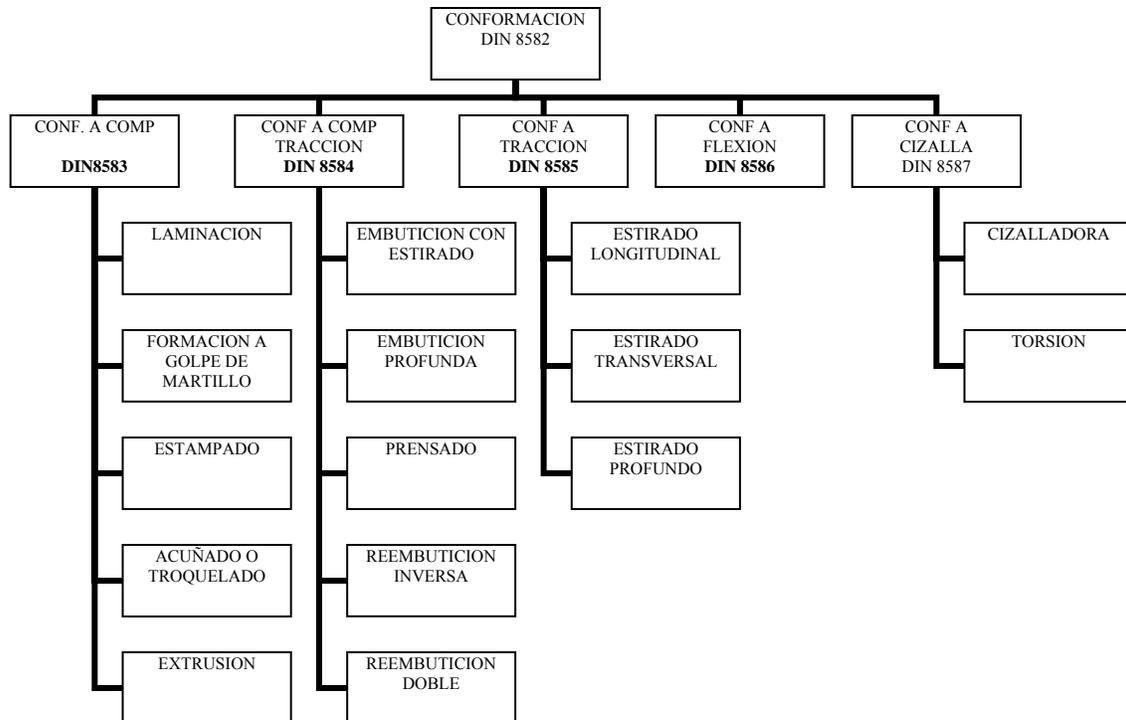


FIGURA 01.

De ello se deduce que antes de empezar la fabricación de piezas forjadas en frío es preciso en planteamiento detallado del trabajo y un cálculo de la rentabilidad. Solamente a base de estos datos puede realizarse la elección de las máquinas e instalaciones.

***“En otras palabras podemos decir que la conformación mecánica se define como la operación que consiste en modificar la forma de los metales, mediante la aplicación de esfuerzos de compresión o de tracción aprovechando las características plásticas de los mismos. Por lo tanto para que un metal pueda ser conformado es necesario que presente la condición de plasticidad”***

*El presente trabajo se enfoca fundamentalmente a la aplicación del conformado por extrusión y conformado por recalcado en máquinas progresivas.*

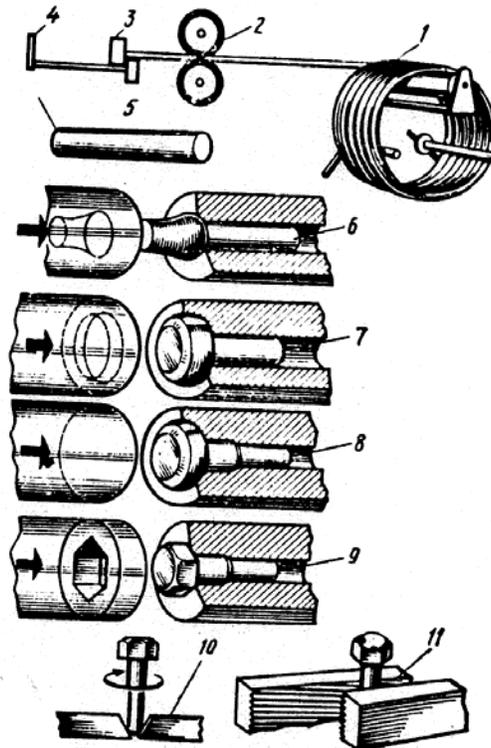
## **CONFORMADO EN FRIO EN MAQUINAS PROGRESIVAS**

Cuando el metal es rolado, extruido, recalcado o estirado a una temperatura abajo de la recristalización se considera que el metal es forjado en frío. La mayoría de los metales se trabajan en frío a temperatura ambiente aunque la acción de formado en ellos causa una elevación de temperatura. El trabajo en caliente realizado sobre metal en estado plástico, refina la estructura del grano, mientras que el trabajo en frío distorsiona el grano y reduce un poco su tamaño.

En la actualidad se fabrican máquinas conformadoras en frío, con varias estaciones de trabajo, capaces de producir hasta 20,000 piezas por hora (según tamaño y complejidad de la pieza).

La secuencia típica de una maquina de conformado en frío con varias estaciones de trabajo es la siguiente: (fig. 02). el material inicial es el metal estirado en frío en forma de rollos (1). Los rodillos (2) llevan el metal hasta el tope (4). La cuchilla (3) corta el material (5) y lo transporta a la primera matriz(6) en la que se efectúa la forma previa del metal para el recalco final.

El dispositivo de transferencia pasa automáticamente el material de una posición a otra. En la segunda matriz (7) se efectúa el recalco final preparado para el recorte. En la tercera matriz (8) se extruye el vástago del perno para el rolado o roscado por laminación. En la cuarta matriz (9) se recorta la cabeza del tornillo para la llave, en este caso hexagonal.

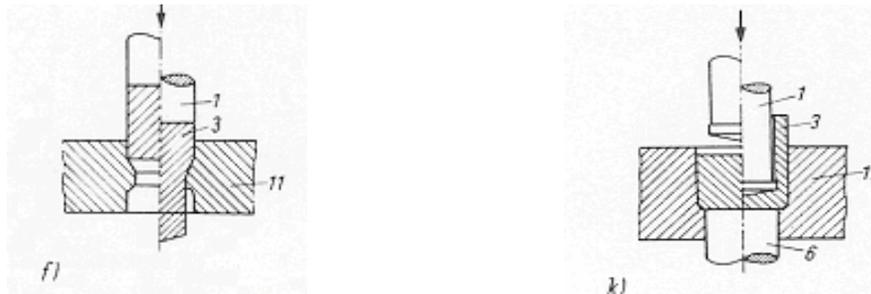


**FIGURA. 02. ESQUEMA DE FABRICACIÓN DE UN TORNILLO EN LA PRESNA AUTOMÁTICA DE RECALCAR EN FRÍO DE POSICIONES MÚLTIPLES.**

## CONFORMADO POR EXTRUSIÓN

Es la operación de forja que consiste en reducir la sección transversal de un material, generalmente redondo, mediante una fuerza de compresión aplicada axialmente al metal utilizando dados especialmente formados.

Las ventajas de la extrusión incluyen la facilidad de producir una variedad de formas (redondas, cuadradas, hexagonales, etc.) con alta resistencia, mayor exactitud y buen terminado. (fig. 03)



Extrusión de cuerpos macizos hacia delante

Extrusión hueca hacia atrás

FIGURA. 03 TIPOS DE EXTRUSION

## CONFORMADO POR RECALCADO

Es la operación de forja que consiste en aumentar la sección transversal de un material (generalmente redondo ) aplicando una fuerza axialmente teniendo como consecuencia una disminución de la longitud inicial.

En función del número de piezas producidas, esta es la operación de forja mas difundida y su expansión ha sido extraordinaria en los últimos años debido a la inmensa variedad de productos que se pueden obtener por esta operación en combinación con la extrusión.

Las piezas se forjan por recalado, tanto en frío como en caliente, en maquinas de gran velocidad. En las cuales las piezas se trasladan de una matriz (Fig. 4) a otra mediante un sistema mecánico de transferencia

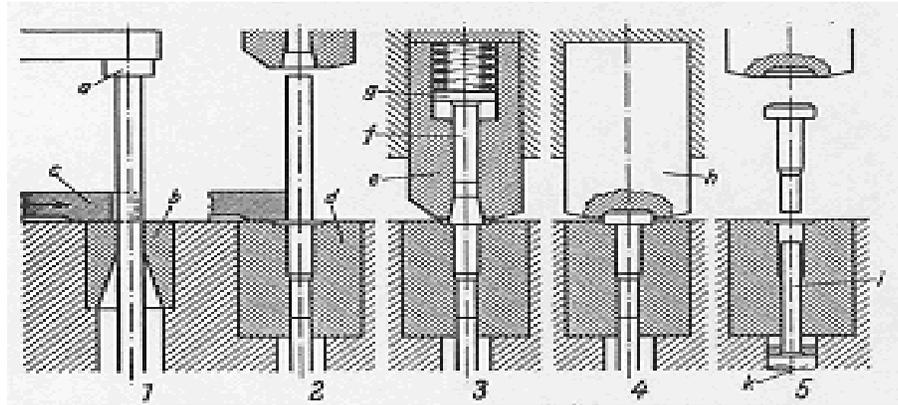


FIGURA. 04 DIBULO DE TRABAJO DE UNA PRENSA EN FRIO DE DOBLE RECALCADO

- a. Tope
- b. Matriz de corte
- c. Cuchilla
- d. Mordaza fija
- e. Mordaza móvil
- f. Punzón previo
- g. Vástago de expulsión
- h. Estampa
- i. Vástago de expulsión
- j. Perno de expulsión.

### FIGURA03 TIPOS DE EXTRUSION

## **CAPITULO 1**

# **MATERIALES UTILIZADOS EN LA MANUFACTURA DE COMPONENTES CONFORMADOS EN FRIO**

En este capítulo se describen las características físicas de los metales ferrosos y no ferrosos que se requieren para ser utilizados en la manufactura de componentes mediante el conformado en frío. También se proporcionan los criterios de diseño de las herramientas para el corte de material.

## CAPITULO 1

### MATERIALES UTILIZADOS EN LA MANUFACTURA DE COMPONENTES CONFORMADOS EN FRIO

#### GENERALIDADES [10]

Antes de decidir si la fabricación de un producto se realiza mediante el conformado en frío, se debe hacer un análisis de factibilidad para su manufactura. Las consideraciones que se deben tomar en cuenta para este análisis son, por ejemplo: las distintas formas geométricas de la pieza que se desea fabricar, así como el tipo del material y las dimensiones con sus tolerancias.

En base a lo anterior, se calcula y diseña la secuencia del proceso de conformado, o sea, las distintas formas previas que debe ir adquiriendo el material hasta obtener la forma final y de esta manera también, se determinan las dimensiones de cada una de dichas formas previas, incluyendo el diámetro y longitud del tramo de material inicial.

La elección del material se determina en primer lugar por el fin de la pieza.

El material ha de ser tal que la pieza terminada ofrezca las características de uso necesarias. En general, el uso de la pieza es decisivo para el tipo de material a elegir, sea acero no aleado o aleado, o bien un metal no ferroso. Así se determinan al mismo tiempo las características del material de partida.

#### 1.1 Materiales ferrosos

La composición química de los aceros es el factor mas importante que influye en la capacidad para el conformado en frío, ya que, dependiendo de cada uno de los distintos elementos, le resta o aumenta esa capacidad. Un criterio seguro

respecto a la conformabilidad en frío de un acero es posible a base de su estructura cristalina.

En enlace metálico, la maleabilidad máxima y otras propiedades necesarias son mejores cuando los átomos están estrechamente distribuidos como en las estructuras cúbicas centradas en el cuerpo. La estructura cúbica centrada en las caras es aun mejor para la deformación.

### 1.1.1 Aceros al carbono

El sistema numérico que emplearemos, para clasificar los aceros es el creado por la *Society of Automotive Engineers SAE* (Asociación de ingenieros en automotores) Los aceros al carbono, como el SAE1006, SAE1008, SAE1010, SAE1015, y SAE1018, son excelentes para conformar en frío, ya que tienen un contenido de carbono demasiado bajo, lo que significa que el carbono es uno de los elementos que mayor influencia tienen en la capacidad de conformación.

Estos aceros tienen una resistencia a la tensión mínima de 380 MPa (55 000 lbf/in<sup>2</sup>) y propiedades físicas que pueden mejorarse sustancialmente mediante el trabajo en frío. Si se requieren superficies resistentes al desgaste, estos aceros pueden endurecerse superficialmente. Cuando se requiere un endurecimiento mayor, se emplean los aceros, como el SAE1020, SAE1022 y SAE1025. (tabla 1-1)

Los aceros medios en carbono, como el SAE 1038, también son fáciles de trabajar en frío, aunque no tanto como los aceros de bajo carbono, y su capacidad de conformación disminuye conforme su contenido de carbono aumenta. Tales aceros se utilizan para fabricar piezas de aplicación en la industria automotriz que requieren una resistencia a la tensión mínima de 830 MPa (120 000 lbf/in).

Un contenido de silicio de mas de 0.35% puede aumentar la rapidez de endurecimiento por trabajo y la resistencia al flujo plástico. Un contenido de

manganeso superior al 1.0% también puede incrementar las necesidades de presión. El contenido de azufre debe limitarse al 0.05%. Generalmente no se recomiendan los aceros resultados, pero pueden necesitarse cuando se requieren piezas conformadas en frío y maquinados subsecuentes. Un contenido de fósforo mayor del 0.04% también puede originar mayores necesidades de presión.

EXCELENTE	BUENA	ACEPTABLE
1006	1018	1035
1008	1020	1038
1010	1022	1040
1016	1024	
1017	1033	

TABLA 1-1 FORJABILIDAD EN FRIO DE ACEROS AL CARBONO SEGÚN SAE

### 1.1.2 Aceros aleados

Los aceros aleados, como el SAE 4037, SAE 4118, SAE 8620 y SAE 8740, son adecuados para el conformado en frío y tienen resistencias adecuadas para la mayoría de los componentes automotrices conformados en frío. Para obtener mejores resultados, el contenido de níquel de los aceros aleados debe limitarse aproximadamente al 1.00% el cromo al 0.90% y el molibdeno alrededor del 0.40%. Las limitaciones en el contenido de manganeso dependen del contenido de carbono del acero aleado; varían desde el 1.35% de manganeso en los aceros que contienen hasta 0.12% de carbono, hasta el 0.90% en aceros que contienen hasta 0.30% de carbono. (tabla 1-2)

EXCELENTE	BUENA	ACEPTABLE
3115	3120	2330
5015	3130	3140
5115	4037	4130
	5120	4140
	8620	5140
	8720	8640

TABLA. 1-2 FORJABILIDAD EN FRÍO DE ACEROS ALEADOS SEGÚN SAE

El límite de fluencia y la resistencia a la rotura pueden aumentar considerablemente mediante grandes deformaciones (figura 1-3), mientras que simultáneamente disminuyen el alargamiento de rotura y la estricción. Se aumenta la resistencia y el límite de fluencia mediante la conformación en frío aproximándose así a las características de un material aleado, de manera que vale la pena de pensar en la posibilidad de emplear por ejemplo, aceros no aleados forjados en frío en lugar de aceros aleados.

Las piezas conformadas en frío no deben someterse a un tratamiento en caliente posterior ya que volverían a perder las características de resistencia obtenidas.

En la tabla 1-3 se indican valores obtenidos de las características de resistencia de diferentes aceros en estado recocido y endurecido en frío.

### 1.1.3 Aceros inoxidables

Una alta resistencia y un rápido endurecimiento por trabajo son las características que hacen que los aceros inoxidables sean más difíciles de conformar en frío; sin embargo, algunos tipos endurecen menos rápidamente y son más fáciles de conformar que otros.

ACEROS SEGÚN AISI	RECOCIDO			ENDURECIDO EN FRIO SEGÚN EL GRADO DE RECALCADO		
	Limite de fluencia Kg/mm2	Resistencia a la rotura Kg/mm2	Alargamiento mínimo %	Limite de fluencia Kg/mm2	Resistencia a la rotura Kg/mm2	Alargamiento mínimo %
1010	25	36-40	25	40	50-70	10
1015	28	40-45	20	50	60-70	8
1022	30	42-50	18	55	65-75	7
5015	30	40-50	18	50	60-70	8
5115	34	42-50	18	50	65-75	8
5120	35	43-52	18	55	66-78	8
5140	40	60-75	18	65	75-85	8
<b>304</b>	<b>22</b>	<b>55-70</b>	<b>50</b>	<b>60</b>	<b>80-90</b>	<b>6</b>
1038	35	60-75	16	55	70-80	8
4130	45	60-75	14	60	70-80	10
4137	50	65-75	14	70	80-90	10
4140	50	65-75	14	75	90-100	8

TABLA 1-3 CARACTERÍSTICAS DE. RESISTENCIA DE DIFERENTES ACEROS EN ESTADO RECOCIDO Y  
ENDURECIDO MEDIANTE CONFORMADO EN FRIO

Los aceros inoxidables más utilizados incluyen los tipos auténticos 305 y 316 así como los ferríticos y martensíticos tipo 410 y 430.

El tipo 410 es uno de los aceros resistentes a la corrosión más usados en el conformado.

Los aceros inoxidables que tienen factores más altos de endurecimiento por trabajo en frío y son menos forjables, incluyen los tipos SAE302, SAE304, SAE309, SAE310, SAE316, SAE431 y SAE440C. (tabla 1-4)

EXCELENTE	BUENA	ACEPTABLE
410	12-15	302
430	16-18	304
	18-9LW	316
	305	321
		405
		420
		431
		440
		A 286

FIGURA. 1-4 FORJABILIDAD EN FRIO DE ACEROS INOXIDABLE SEGÚN SAE

## 1.2. Materiales no ferrosos.

Los materiales de partida mas importantes después de los aceros son el cobre y sus aleaciones, tales como el latón y el bronce. Se utilizan según la dureza y resistencia deseadas y según la conductividad eléctrica y térmica. También se emplean para piezas resistentes a la corrosión. El latón tiene un gran campo de aplicación en la industria mecánica de precisión en caso de resistencia excepcionalmente grande a la corrosión y calor. Últimamente se han empleado también el titanio y sus aleaciones así como el circonio y sus aleaciones en el conformado en frío con éxito.

### 1.2.1 Aleaciones de aluminio.

Las aleaciones de aluminio se encuentran entre los materiales más fáciles de conformar. Las aleaciones más utilizadas para el conformado de piezas son la SAE2024, SAE, SAE1100-0, SAE 6053-H13, SAE 3003-0, 6061-0 y SAE 6061-H13 (tabla 1-5)

EXCELENTE	BUENA	ACEPTABLE
1100-0	2017-H13	2117-T14
2017-0	2024-H13	6053-T6
2024-0	3003-H32	7075-H13
2117-0	5056-H332	
3003-0	6053-H13	
5052-0	6061-H13	

FIGURA. 1-5 FORJABILIDAD DE ALEACIONES DE ALUMINIO SEGÚN SAE

### 1.2.2 Aleaciones de cobre

El cobre tiene una excelente capacidad para el conformado tanto en caliente como en frío. En el conformado en frío soporta las conformaciones máximas debido a su reducido endurecimiento.

EXCELENTE	BUENA	ACEPTABLE
102	150	145
110	162	147
114	172	280
122	182	350
220	187	353
240	314	614
425	544	630

FIGURA. 1-6 FORJABILIDAD DE ALEACIONES DE COBRE SEGÚN SAE

Las aleaciones de cobre como el latón y el bronce, también poseen excelentes propiedades para el conformado en frío ya que puede mejorar considerablemente su dureza y resistencia. El latón con 65 a 70% de cobre y 30 a 35% de zinc es muy usado y se forma con facilidad para perfiles complicados. (tabla 1-6)

### **1.3 Formas, peso y dimensiones de los materiales de partida (10)**

La mayor dimensión del material que se trabaja mediante forjado en frío oscila en general entre 30 y 38 mm.. El diámetro menor que hasta la fecha se ha conformado en frío en máquinas especiales es de 0.6 mm.

### **1.4 Preparación de las superficies (10)**

Los aceros laminados en bruto, debido a la laminación en caliente, tienen una capa oxidada, cuyas características pueden ser diferentes según el tipo del material y el tipo. Generalmente la influencia de esta cascarilla no es desfavorable en el conformado en caliente pero en la fabricación de piezas conformadas en frío, la cascarilla ha de eliminarse por completo, para garantizar, por una parte, una superficie limpia y lisa y por otra parte, para evitar un desgaste prematuro de las herramientas durante la fabricación. El medio más conocido para eliminar la cascarilla es el decapado.

Para decapar aceros se emplean principalmente el ácido clorhídrico y el ácido sulfúrico y en casos especiales, se usan otros ácidos como el ácido nítrico y el ácido fosfórico y en ocasiones mezclas de diferentes ácidos.

#### **1.4.1 Recubrimientos superficiales (10)**

En materiales para la conformación en caliente no suelen usarse los recubrimientos. Si el material se conforma en frío ha de procurarse una lubricación entre la pieza y la herramienta. Ya que en caso contrario puede

presentarse una soldadura en frío. Para ello los lubricantes como la grasa o el aceite no son suficientes, ya que no pueden ser eficaces debido a las altas presiones. Los materiales utilizados para el conformado en frío requieren de lubricantes sólidos, principalmente se les adhiere cal, bórax o fosfato de zinc.

Buenos resultados en la conformación en frío se obtienen mediante capas de fosfato. Actualmente se aplica el proceso llamado fosfatado que consiste en una capa de fosfato adherida, es decir, el alambre se fosfata antes del último estirado y se introduce en la superficie la capa de fosfato mediante un lubricante apropiado.

## **1.5 Ensayos de materiales de partida .(10)**

Los defectos que pueden presentarse en los materiales de partida y su notable influencia sobre la calidad del producto obligan a una verificación de los materiales utilizados antes de trabajarlos. Un método para comprobar la calidad y plasticidad en frío del material es el ensayo de recalcado.

El límite se alcanza cuando se forman grietas por compresión del material formando un ángulo de aproximadamente 45 grados.

En el ensayo que se realizó para el presente trabajo estas se formaron en un recalcado del 60%. Por lo tanto, este material puede utilizarse para recalcos menores, en cambio no sirve para recalcos superiores. Para la realización del ensayo en el presente trabajo se aplicó la norma DIN 1654.

Según DIN 1654: se debe utilizar una probeta con una altura de 1.5 veces el diámetro y ha de poder recalcarse hasta  $0.5 d$  sin formación de grietas. Esta capacidad de recalcado es suficiente para muchos fines. En cambio, en caso de recalcos complicados, o muy severos, es imprescindible una capacidad de recalcado hasta  $0.33 d$ .

Para determinar la capacidad de deformación de un material ha dado buenos resultados el ensayo de recalado con carga constante. Se recalcan probetas de 10 mm. de diámetro y con una altura inicial de 16 mm mediante una fuerza de compresión de 20Mp; la altura obtenida después del recalado se relaciona con la altura inicial, obteniendo así la relación de alturas. En la figura 1-1 Se indican estas relaciones para determinar la capacidad de deformación.

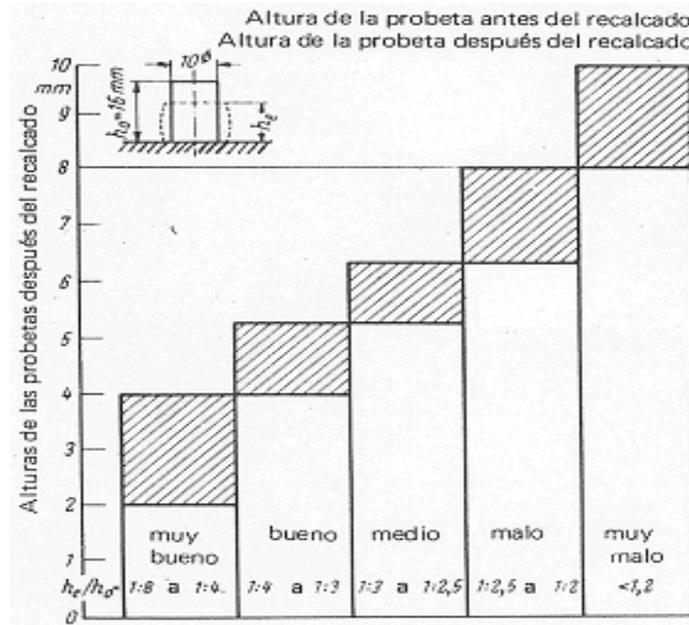


FIGURA. 1-1 CLASIFICACIÓN DEL TRABAJO DE RECALADO OBTENIDO CON UNA CARGA CONSTANTE DE 20MP

### 1.6 Criterios de diseño de las herramientas para el corte de material [9]

Una de las operaciones más importantes del forjado en frío, es el corte del alambre. La importancia de esta operación se debe a que el volumen de la pieza terminado es igual al volumen del trozo de alambre cortado. Puesto que las dimensiones de la pieza y su volumen se corresponden entre sí, se deduce que el trozo de alambre debe cortarse con la mayor exactitud.

Las herramientas de corte consisten en una boquilla o cortador fijo situado en bloque matriz y un cortador móvil insertado en una palanca.

El material avanza a través de la boquilla hasta que toca el tope fijo del material como se ilustra en la figura 1-2.

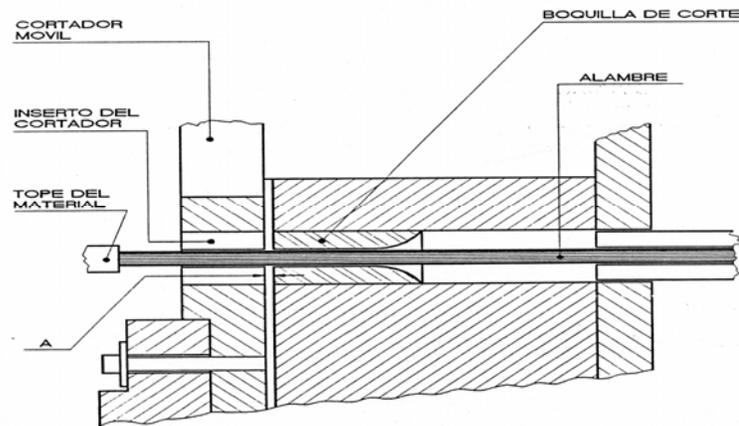
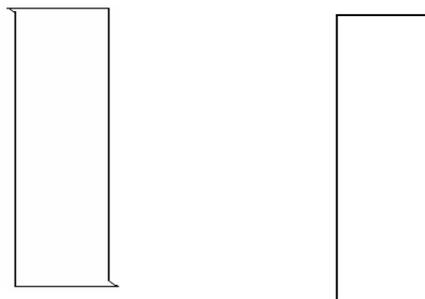


FIGURA. 1-2 ILUSTRACION DE LA OPERACIÓN DE CORTE DE MATERIAL

Una buena calidad de corte es importante para obtener un producto de la mas alta calidad.

El material se debe cortar perpendicularmente al eje. Los cortes inclinados deben evitarse, ya que dan lugar a un deslizamiento y a una flexión lateral.



MALA CALIDAD DEL CORTE

BUENA CALIDAD DEL CORTE

FIGURA. 1-3 CALIDAD EN EL CORTE

Los tramos de material con extremos que tienen una distorsión mínima proporcionan mayor duración en las herramientas, mejor control de la fluencia del metal y mejores condiciones finales en las piezas acabadas.( Figura 1-3)

La calidad de los tramos de material cortados depende de factores como son el tipo de alambre (material y dureza) y diseño de la boquilla y cuchilla.

El diámetro interior de la boquilla debe ser superior aproximadamente en 1 % al diámetro de alambre.

El diámetro interior del cortador debe ser un 0.5 % mayor que el diámetro interior de la boquilla (o 1.5 mayor que el diámetro de alambre).

El juego axial (cota A de la figura 1-12) entre las caras adyacentes del cortador y boquilla varía con el tipo de material a cortar. Como punto de referencia este juego o separación puede ser .020 veces el diámetro del alambre.

Para aceros como el SAE 1010 o SAE 1018 se requieren algo más de separación que los materiales como el SAE 1038, SAE 1041 o acero inoxidable T304 ya que se cortan mejor con menos separación. La calidad de los tramos cortados la determinara la separación entre la boquilla y el cortador.

## **CAPITULO 2**

### **TEORIA Y CONCEPTOS DE LA DEFORMACIÓN PLASTICA.**

En este capitulo se proporcionan los conceptos fundamentales de la teoría plástica de los metales; desde su estructura atómica hasta el mecanismo de la deformación plástica. También se estudian las características y normas de la operaciones de conformado como es el recalado y extrusión con el objetivo de aplicarlos en la manufactura de componentes

## CAPITULO 2

### TEORIA Y CONCEPTOS DE LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA.

#### 2.1 Naturaleza física de la deformación plástica. [16]

La ejecución de un proceso de conformación presupone en el material a conformar, cierta capacidad para variar su forma en proporciones satisfactoriamente grandes bajo el efecto de fuerzas exteriores sin que este pierda su *cohesión*. Esta propiedad se llama *plasticidad* y su estructura cristalina permite el estudio de las leyes de su comportamiento durante el conformado en los metales.

##### 2.1.1 Estructura atómica.

Existen cuatro tipos básicos de enlaces que mantienen a los átomos unidos. Estos son el iónico (llamado también electrovalente, el covalente (con electrones compartidos polares o no polares), el metálico y los enlaces formados por las fuerzas de Van Der Waals.

Todos los metales tienen una estructura cristalina y un arreglo geométrico definido de átomos o moléculas. El enlace metálico se forma entre átomos metálicos cuando algunos electrones de la capa de valencia se separan de su trayectoria orbital y existen en estado libre en forma de nube o gas. Estos electrones rodean a los átomos en un estado de alta movilidad, mientras que se combinan para formar enlaces (figura 2-1). Debido a esto, la fuerza de enlace puede variar, haciendo posible que ocurra deformación sin ruptura y que haya una buena conductividad térmica y eléctrica por el fácil movimiento de los electrones de un átomo al siguiente. Este tipo de enlaces hace posible que existan algunas de las características útiles de los metales como la *maleabilidad* y *ductilidad*.

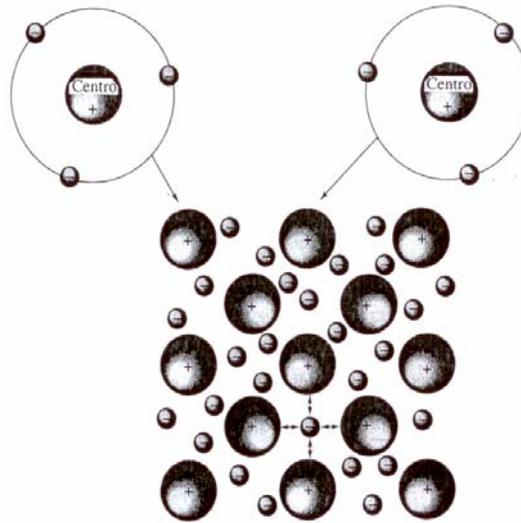


FIGURA 2-1 EL ENLACE METÁLICO.

### 2.1.2 Estructura de los metales.

Un cuerpo sólido no es más que una acumulación de materia de forma determinada que ocupa un lugar en el espacio. Todo cuerpo está formado por partes pequeñas que lo constituyen y que a su vez constan de otros menores. Para el estudio del *mecanismo de la deformación plástica*, basta con aceptar el átomo como la parte constituyente más pequeña de un cuerpo sólido.

Cuando los metales se encuentran en estado líquido, sus átomos se hallan distribuidos irregularmente y solo a medida que el material se va solidificando, a partir de ciertos puntos, estos pasan a ocupar una posición geométrica determinada formando las llamadas *estructuras cristalinas*.

El tipo de estructura depende del material y de las condiciones externas bajo las cuales se encuentra.

La plasticidad de los metales se debe a que las series de átomos dentro de cada uno de los cristales pueden desplazarse entre sí al sobrepasar una determinada tensión límite, sin romper por ello la *cohesión* interna. Estos

deslizamientos se realizan en planos cristalográficos preferentes y son posibles gracias a los defectos de la estructura reticular atómica denominados desplazamientos.

Los materiales metálicos tienen *estructura cristalina*. Al actuar fuerzas exteriores sobre estas estructuras cristalinas con la consiguiente conformación plástica, se reconoce en la micrografía el inicio de la conformación por las bandas de los granos que en cada uno de ellos tienen una dirección determinada en función de la posición de la red espacial. En la primera fase de la conformación las pocas líneas de deslizamiento son rectas. Al aumentar la conformación estas son más frecuentes y curvas. Luego los granos se deforman tomando finalmente la forma de bandas estrechas. (Fig. 2-2)

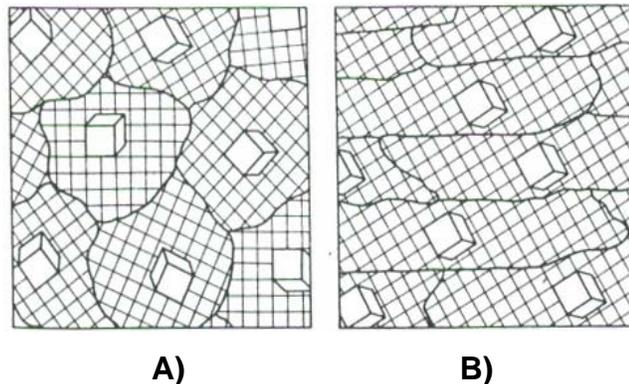


FIG. 2-2 A) METAL NO CONFORMADO (CARACTERISTICAS MECANICAS IGUALES EN TODAS LAS DIRECCIONES)  
 B) METAL CONFORMADO EN FRIO (CARACTERISTICAS MECANICAS DIFERENTES EN LA DIRECCION DE DESLIZAMIENTO Y PERPENDICULARES A ELLA SEGÚN KAUCSOR)

Si se trazan líneas imaginarias para unir los centros de los átomos, esta recibe el nombre de *red cristalina*. (Fig. 2-3)

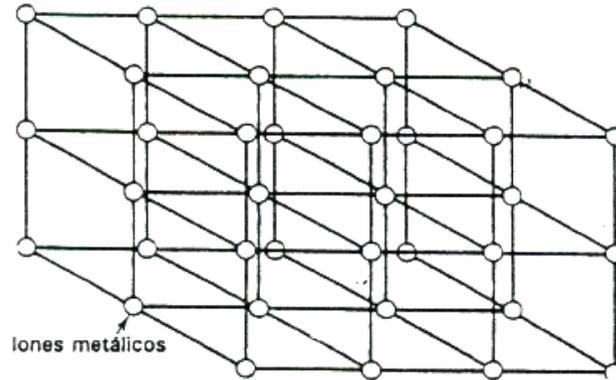


FIGURA 2-3 RED CRISTALINA DE LOS ÁTOMOS EN LOS SÓLIDOS.

Se puede describir una red cristalina como una formación repetitiva de *bloques unitarios* en toda la estructura. A estos bloques se les llaman *estructuras unitarias*. Los metales se solidifican en 14 estructuras cristalinas conocidas (Tabla 2-1), pero la mayoría de los metales de importancia en *manufactura* se solidifican solo en 3 tipos de estructuras cristalinas (Fig. 2-4)

Estas son la estructura *cúbica centrada en el cuerpo (CC)*, la *cúbica centrada en las caras (CCCa)* y la *hexagonal compacta (HC)*.

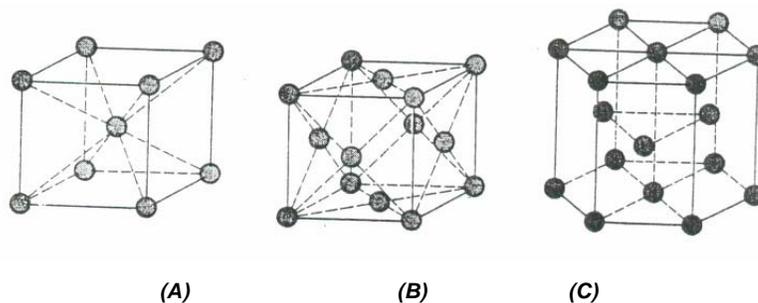


FIGURA 2-4. TRES CELDAS UNITARIAS COMUNES DE LA RED CRISTALINA: A) CUBICA CENTRADA EN EL CUERPO, B) CÚBICA CENTRADA EN LAS CARAS Y C) HEXAGONAL COMPACTA

Dos estructuras comunes se verían como las de la (Fig. 2-5)



En enlace metálico, la maleabilidad máxima y otras propiedades necesarias, son mejores cuando los átomos están estrechamente distribuidos como en las estructuras cúbicas centradas en el cuerpo las cuales forman un cubo con un átomo en su centro. La estructura cúbica centrada en las caras es aun superior para la deformación.

La estructura unitaria hexagonal compacta tiene algunos planos entre los cuales el espacio es muy reducido, pero en otra dirección los átomos están separados por distancias aun mayores que en la CCC y la CCCa, ocasionando que estos metales tengan una conformación deficiente.

### **2.1.3 Mecanismo de la deformación plástica**

Las fuerzas exteriores y momentos producen en una sección determinada *fuerzas internas*. Estas no son más que reacciones y su valor se da comúnmente referido a la unidad de área. El cociente fuerza sobre área recibe el nombre de *tensión*.

Para la descripción de estado tensional en un corte se descompone esta tensión en dos componentes (Fig.2 .6.): una perpendicular y la otra paralela al plano de corte.

La componente perpendicular recibe el nombre de *tensión normal* ( $\sigma$ ), mientras que la paralela al plano es la llamada *tensión tangencial* ( $\tau$ ). Para diferenciar una tensión normal de compresión de una de tracción, se emplearan los signos p y  $\sigma$ , es decir, en este estudio emplearemos tres signos para caracterizar tensiones:

$\sigma$ - tensión normal a tracción

p- tensión normal a compresión

$\tau$  - tensión tangencial.

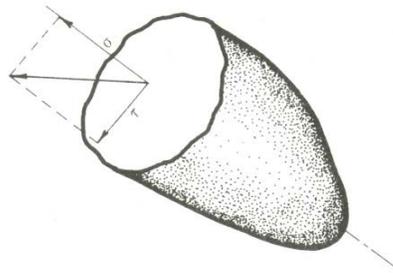


FIGURA 2-6. CORTE DE UN CUERPO Y DESCOMPOSICIÓN DE LA TENSIÓN ACTUANTE EN LA SUPERFICIE DE CORTE EN LAS COMPONENTES  $\sigma$  (PERPENDICULAR) Y  $\tau$  (TANGENCIAL).

Una variación elástica de la forma puede ser producida tanto por una *tensión normal* como por una *tangencial* y su efecto será una variación de la *distancia interatómica* en las estructuras cristalinas en la dirección normal y un *desplazamiento* de los átomos en la dirección de la tensión tangencial. La variación elástica de la forma se caracteriza por ser temporal, y sus efectos desaparecen una vez retirada la fuerza que los ocasionó.

Una *variación plástica* de la forma es producida solamente bajo el efecto de *tensiones tangenciales* y a partir de una magnitud determinada. Esta ocurre debido al deslizamiento de grupos atómicos o estructuras cristalinas completos en una determinada dirección de deslizamiento.

Las direcciones de deslizamiento se encuentran a su vez sobre planos de deslizamiento cuya posición esta determinada por el tipo de estructura cristalina del metal.

*La deformación plástica* es una de las características más útiles de los metales. El forjado, el estirado, el *conformado*, la *extrusión*, el *laminado*, el

*estampado* y el *prensado* son todas operaciones en las que interviene la deformación plástica. Al aumentar la carga aplicada, los átomos se deslizan unos sobre otros para producir un cambio permanente de forma o romper los enlaces atómicos, dando lugar a una ruptura total. El comportamiento de los cristales de los metales sujetos a carga depende de 5 factores:

- 1- *La separación entre los planos de los átomos.*
- 2- *La resistencia de los enlaces interatómicos.*
- 3- *La densidad de los átomos en los diversos planos.*
- 4- *El tipo de estructura cristalina.*
- 5- *Las irregularidades de la estructura cristalina (sitios vacantes y discontinuidades).*

La deformación plástica tiende a ser mejor a lo largo de los planos de densidad atómica más alta y de máxima separación paralelas. (Fig. 2-7.). Se puede ver en esta figura que mientras los átomos, sean más densos o estén mas estrechamente distribuidos, mas oportunidad habrá para que se dé el desplazamiento a lo largo de planos o hileras de átomos.

Cada átomo se desplaza, uno a la vez, y el proceso de deslizamiento es progresivo.

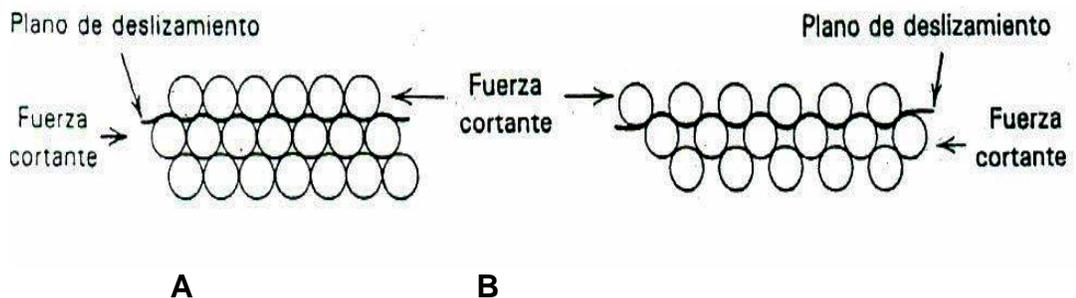


FIGURA 2-7. LAS HILERAS DE ÁTOMOS PUEDEN DESLIZARSE A LO LARGO DE PLANOS DE DESLIZAMIENTO COMO SE ILUSTRA (NEELY / METALLURGY, 2ª ED, 1984)

Las imperfecciones de los metales, como los lugares vacantes (espacios en los que no hay átomos), las dislocaciones o distorsiones de las estructuras espaciales y los átomos de impurezas son los que ocasionan el fenómeno del desplazamiento que permite lograr la deformación permanente de los metales sin ruptura (Fig. 2-8)

Cuando existe un lugar vacío, los átomos se mueven uno a la vez, desplazando el hueco o la dislocación a lo largo de la estructura cristalina hasta que no hay ya más espacio para moverse. Cuando esto ocurre, en todos los granos resulta el endurecimiento por trabajo, con el cual el material ya no es plástico y se vuelve más frágil. Si aumenta la carga más allá de la resistencia máxima del material cuando ya no es plástico, el resultado es que se vuelve quebradizo.

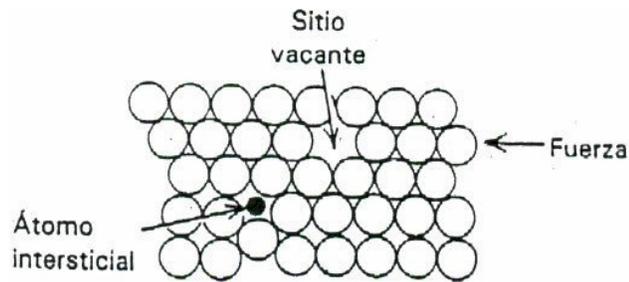


FIGURA 2-8. LAS HILERAS DE ATOMOS SE MUEVEN, UN ATOMO A LA VEZ, PARA LLENAR UN HUECO O ESPACIO CREADO POR ATOMOS DISLOCADOS. (NEELY/ METALURGY, 2da ED. 1984)

### 2.1.4 Proceso ideal de deslizamiento

Una idea cualitativa sobre el desarrollo de la variación de forma se muestra en la figura 2-9, que representa el comportamiento de dos planos paralelos bajo la acción de una fuerza tangencial.

La figura 2-9 *a* representa la estructura cristalina sin cargas exteriores. Aceptaremos que las filas de átomos sobre los planos paralelos representan direcciones de deslizamiento. En la figura 2-9 *b* se ve que los

átomos de la fila superior varían su posición respecto a los de la fila inferior.

A la variación del lugar de los átomos corresponde una tensión tangencial de una magnitud determinada; mientras que el valor de esa magnitud sea menor que la tensión tangencial necesaria para el flujo plástico, tendremos que  $n > m$  y al retirar la carga los átomos volverán a su posición original por la influencia que ejercen las fuerzas que determinan su ordenamiento. Se trata por lo tanto de una variación de forma temporal o elástica.

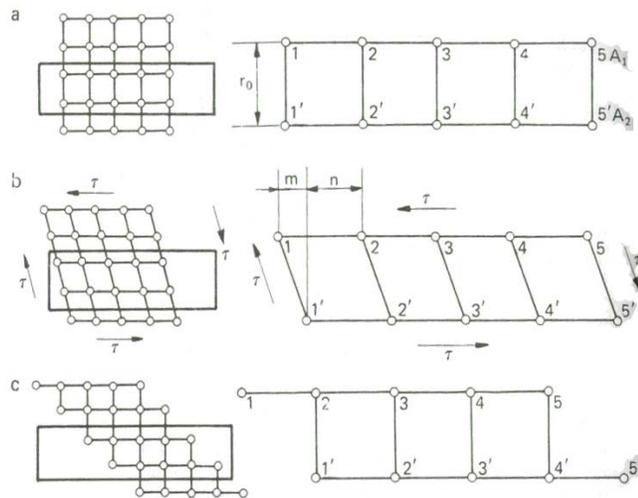


FIGURA 2-9 REPRESENTACIÓN SIMPLIFICADA DE UNA ESTRUCTURA CRISTALINA:

a)- sin carga; b)- sometido a una tensión tangencial que no ha llegado al valor necesario para superar el límite elástico; c)- nueva posición de equilibrio de la estructura cristalina luego de la deformación plástica

Al alcanzar ( $\tau$ ) un valor límite que llamaremos  $\tau_f$  se volverá  $m > n$ , los átomos serán separados de su esfera de acción inicial y pasaran a una posición vecina, posición que, a pesar de ser nueva es también estable por no alterar el patrón de ordenamiento, lo que quiere decir que la desaparición de la tensión que provocó el cambio de forma no implica un regreso de los átomos a su posición original, habiéndose producido, por lo tanto, un proceso de deslizamiento, proceso primario de la deformación permanente o plástica ( Fig. 2-9c)

De lo expresado hasta ahora tenemos que  $\tau_f$  es la tensión tangencial, que al actuar en la dirección de deslizamiento logra un desplazamiento relativo de los planos paralelos igual a la mitad de la longitud de la distancia interatómica, lo que provoca una deformación plástica al pasar los átomos a una nueva posición de equilibrio.

### 2.1.5 Proceso real de deslizamiento.

Si se calculan los valores de tensiones necesarias para lograr el proceso de deslizamiento descrito, sobre la base de las fuerzas que determinan y mantienen la estructura atómica, considerándola uniforme, se llega a valores de 1,000 a 10,000 veces mayores que los realmente necesarios. La causa de esta contradicción son las llamadas *dislocaciones* que son irregularidades, es decir, *discontinuidades en la estructura cristalina*.

En la figura 2-10 se representa un tipo de dislocación. En los alrededores de ella los átomos se encuentran en posiciones menos estables y una tensión mucho menor que la teórica puede provocar el deslizamiento.

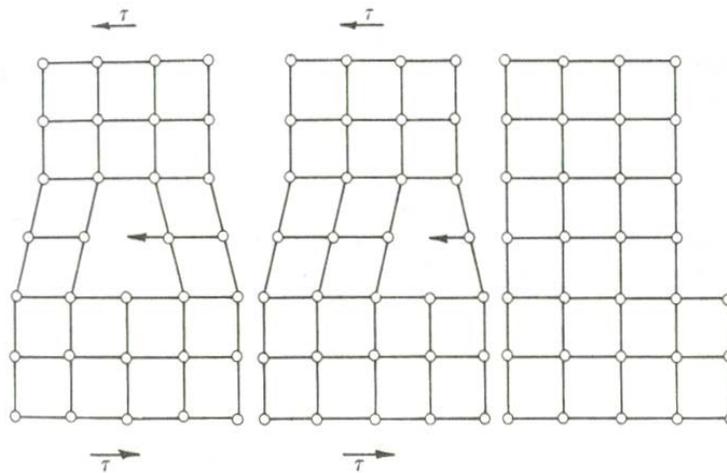


FIGURA 2-10 PRESENCIA DE UNA DISLOCACIÓN EN UNA ESTRUCTURA CRISTALINA Y SU TRASLACIÓN GRADUAL BAJO EL EFECTO DE LA CARGA EXTERIOR

El movimiento real no se produce como en la estructura teórica; toda la fila o plano a un mismo tiempo, sino que los átomos van pasando mediante mecanismos complejos, unos tras otros, a las nuevas posiciones, lo que produce un *desplazamiento relativo* de la dislocación y provoca su desaparición y la aparición de otras nuevas.

El paso progresivo de los átomos a las nuevas posiciones explica él porque la *tensión tangencial* necesaria para provocar la deformación plástica tiene un valor mucho menor que el teórico, que suponía el paso conjunto de todos los átomos sobre el plano de deslizamiento a las nuevas posiciones.

La tensión tangencial  $\tau_f$  necesaria para provocar la deformación permanente no tiene en realidad ningún valor absoluto, sino que depende, principalmente, de la composición, historia previa y temperatura del material, así como de la velocidad con que este se deforma.

## **2.2 Relación entre tensión normal y tangencial en estado tensional lineal. [24]**

Para la representación de principio del mecanismo de deslizamiento se partió de la base que el cuerpo estaba sometido a tensiones tangenciales externas. Solo las *tensiones tangenciales pueden provocar la deformación plástica*. Sin embargo, lo más frecuente es que el cuerpo este sometido a fuerzas normales, a partir de las cuales se derivan las fuerzas o tensiones tangenciales necesarias para el deslizamiento.

Ahora veremos por separado el valor de tensión normal necesario para provocar una deformación plástica en un monocristal y en un policristal.

### 2.2.1 Monocristal.

En la Fig. 2-11 se representa un monocristal. La línea inclinada es un *plano de deslizamiento*; supongamos que representa también una dirección de deslizamiento.

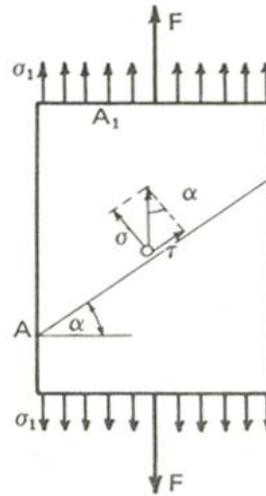


FIGURA 2-11 MONOCRISTAL METALICO SOMETIDO A UN ESTADO TENSIONAL LINEAL. EL PLANO "A" DE INCLINACIÓN  $\alpha$  REPRESENTA UN PLANO DE DESLIZAMIENTO.

Sobre la superficie exterior del cuerpo  $A_1$  actúa la tensión  $\sigma_1$  (normal, a tracción según la notación empleada) o bien la fuerza  $F = \sigma_1 \cdot A_1$ .

Esta fuerza actúa también sobre la superficie de deslizamiento.

Las tensiones normal y tangencial en el plano de deslizamiento, serán las componentes de la fuerza  $F = \sigma_1 \cdot A_1$  en las respectivas direcciones sobre el plano. El valor que nos interesa, el de la *tensión tangencial* sobre el plano será:

$$\tau = \frac{F \cdot \text{sen} \alpha}{A} \quad \text{o} \quad \frac{\sigma_1 \cdot A \text{sen} \alpha_1}{A}$$

$$\frac{A_1}{A} = \cos \alpha, \text{ luego.}$$

$$\tau = \sigma_1 \cdot \text{sen} \alpha \cdot \cos \alpha$$

que puede escribirse empleando el ángulo doble como:

$$\tau = \frac{\sigma_1}{2} \text{sen} 2\alpha \quad \text{EC.}(2-1)$$

El proceso de deslizamiento se iniciara cuando  $\tau$  alcance el valor de  $\tau_f$ .

De la ecuación (1) se deduce que el valor de  $\tau$  depende tanto de la magnitud de la tensión *normal exterior* como del *ángulo  $\alpha$  que su dirección forma con el plano de deslizamiento*, que como ya sabemos tiene una posición fija determinada por el tipo de estructura.

La función  $\sigma_1 = f(\alpha)$  para  $\tau = \tau_f = \text{constante}$ ,  $\sigma_1 = \frac{2\tau_f}{\text{sen} 2\alpha}$

Esta representada en la figura 1.6 es fácil notar que ella presenta un mínimo para  $\alpha = 45^\circ$ .

O sea,  $\text{sen} 2(45^\circ) = \text{sen} 90^\circ = 1$

Siendo entonces:

$$\sigma_{1 \text{ min}} = 2 \tau_f$$

$$\tau_f = \frac{\sigma_1}{2} \quad \text{EC.}(2-2)$$

Como se ve la anisotropía del monocristal, entiéndase él termino como no-presentación de las mismas propiedades en todas las direcciones, hace que el valor normal de la tensión exterior que produce la deformación plástica no tenga un valor absoluto para un material bajo condiciones determinadas, sino que el mismo depende del ángulo que su dirección forma con la dirección de deslizamiento, tomando su valor mínimo  $\sigma_{1 \text{ min.}} = 2\tau_f$ , en el caso más favorable cuando el ángulo nombrado vale  $45^\circ$

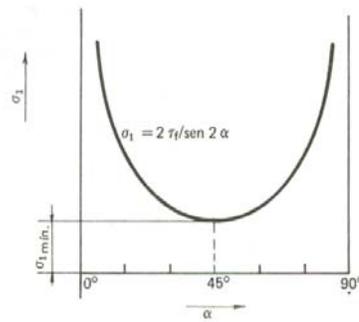


FIGURA 2-12 VARIACIÓN DE LA TENSIÓN NORMAL EXTERIOR NECESARIA PARA PROVOCAR LA DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN UN MONOCRISTAL EN FUNCIÓN DE SU INCLINACIÓN CON RESPECTO AL PLANO DE DESLIZAMIENTO.

### 2.2.2 Policristal. Concepto de resistencia a la conformación $k_f$ .

En un cuerpo metálico, policristalino dado su elevado número de cristales, siempre se encuentran algunos de ellos, cuyas direcciones de deslizamiento forman un ángulo de  $45^\circ$  con la dirección de la tensión normal exterior. Esto hace que pueda afirmarse, con suficiente exactitud que el estado plástico de un policristal comienza cuando la tensión exterior  $\sigma_1$  alcanza un valor  $\sigma_1 = 2\tau_f$ .

De lo visto hasta ahora surge la primera definición importante de esta materia. Se da el nombre de *resistencia a la conformación  $k_f$*  de un material a aquella tensión normal que en el estado tensional lineal aplicada a un policristal del material, produce una variación permanente de su forma en magnitud apreciable.

La ecuación 2-2 queda por lo tanto

$$K_f = 2 \tau_f. \quad \text{EC. (2-3)}$$

## 2.3 Relaciones geométricas y cinemática. [24]

Para el estudio de la deformación plástica se hace uso de una serie de conceptos y relaciones fundamentales las cuales se derivan de magnitudes ó de magnitudes referidas a intervalos de tiempo, estas son:

- Invariabilidad del volumen*
- Grado de la conformación ( $\varphi$ )*
- Velocidad de la conformación*

### 2.3.1 Invariabilidad del volumen.

La principal característica de la conformación plástica es un cambio permanente de forma mientras la masa de la pieza permanece constante.

Con aproximación suficiente para nuestros fines de investigación, podemos aceptar también que el volumen permanece constante durante el proceso de conformado.

Ya que la deformación tiene lugar, como ya se mencionó, principalmente por deslizamientos en los planos de deslizamiento cristalinos, que no están relacionados con ninguna variación de volumen, el volumen de los metales se mantiene invariable en la conformación plástica, cuando esta se realiza en frío.

### 2.3.2 Grado de conformación ( $\varphi$ )

Las características externas de la conformación son las variaciones permanentes de magnitudes de la pieza conformada. Junto con estas variaciones geométricas, ocurren también variaciones de propiedades físicas del material tales como: *resistencia y dureza*, etc.

En cada caso existe la influencia de la variación plástica de la forma que siempre va unida a cambios de propiedades físicas, la mayoría de las

veces deseados por aumentar los valores de dichas propiedades y con ello la *resistencia mecánica* de la pieza. La causa de todos estos cambios es la *energía* suministrada a la pieza, una parte de la cual (la mayor) se transforma en calor y la otra (la menor) provoca la variación de las propiedades antes mencionadas.

Es importante contar con un parámetro que sirva para caracterizar las variaciones de magnitudes de las piezas conformadas, y que se pueda aplicar a todas las formas y magnitudes de piezas.

Este parámetro deberá contener un máximo de información sobre el proceso como: tipo de deformación y su magnitud. El concepto de *elongación unitaria*  $\varepsilon$  definido como  $\varepsilon = \frac{x_1 - x_0}{x_0}$  se emplea generalmente para caracterizar variaciones de forma de longitud.

En la medida que el campo *teórico* y *práctico* de la conformación se ha ido ampliando, se introduce un concepto nuevo; el de *grado de conformación*  $\varphi$ .

*El grado de conformado*  $\varphi$  se define como la suma en un intervalo de las variaciones infinitesimales de magnitudes respecto a la magnitud original, es decir:

$$\varphi_x = \sum_{x=x_0}^{x=x_1} \frac{dx}{x} = \int_{x_0}^{x_1} \frac{dx}{x} = \ln \frac{x_1}{x_0}$$

$$\varphi_x = \ln \frac{x_1}{x_0} \quad \text{Ec. ( 2-4 )}$$

Donde el subíndice 0 representa los valores iniciales y el subíndice 1, los finales de la magnitud.

El grado de conformación  $\phi$  satisface las condiciones al principio enunciadas, y la ventaja de usar este parámetro sobre el valor de  $\epsilon$  (elongación unitaria) se demuestra en los resultados representados en la (Figura 2-13)

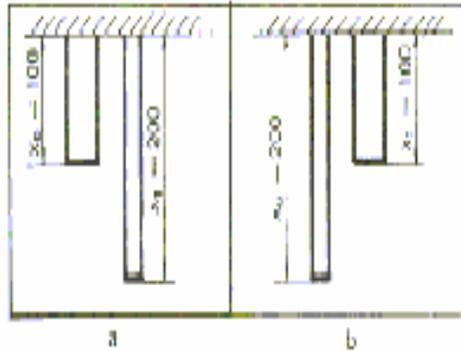


FIGURA 2-13. PROCESOS SENCILLOS DE CONFORMACIÓN: a)- pieza sometida a tracción; b) pieza sometida a compresión.

Los cuerpos de la figura 2-13 son del mismo material y tienen igual volumen. Bajo esta condición, a y b necesitan idéntico valor de energía para variar su forma, ya que b representa solo el regreso a la posición inicial de a. El grado de la conformación debe, por lo tanto, alcanzar el mismo valor y diferente signo en ambos casos. Los valores que se obtienen son:

**a) Prueba de tracción**

**b) Prueba de compresión**

$$\epsilon_x = 1$$

$$\epsilon_x = -0,5$$

$$\phi_x = \ln 2 = 0,69$$

$$\phi = -\ln 2 = -0,69$$

Se ve, como se menciona al principio, que el grado de conformación  $\phi$  ofrece el mismo valor absoluto, y su signo caracteriza la elongación (+) o compresión (-)

Además, este parámetro puede ser utilizado al poder auxiliarse de la invariabilidad del volumen  $V_0 = V_1$ .

$$A_0 x_0 = A_1 x_1$$

$$\frac{A_0}{A_1} = \frac{x_1}{x_0}$$

A pesar de estas ventajas enunciadas, se representan aún las deformaciones por  $\epsilon$  o paralelamente por este parámetro y  $\varphi$  ya que existe entre ellos una relación matemática:

$$\epsilon = \frac{x_1 - x_0}{x_0} = \frac{x_1}{x_0} - 1$$

$$\frac{x_1}{x_0} = \epsilon + 1$$

Y por ser:

$$\varphi_x = \ln \frac{x_1}{x_0}$$

### 2.3.3 Velocidad de conformación

La velocidad de conformación, influye sobre la resistencia que el material opone a la conformación.

La velocidad de conformación en sí no sólo depende del número de carreras o bien de la velocidad de trabajo de la máquina, sino también del

recorrido del punzón. Cuanto más corto sea éste, tanto más rápidamente puede trabajar la máquina sin variación de la velocidad de deformación.

En donde  $V_w$  es la *velocidad de la herramienta* y  $h$  la *altura de la pieza*, figura 2-14, o sea la velocidad a la que se aproximan dos secciones separadas la distancia 1mm. Se expresa más exactamente la unidad en mm/s por cada mm.

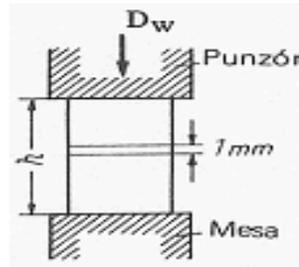


Fig. 2-14 Dibujo demostrativo de la velocidad de deformación según Kienzle.

## 2.4 Resistencia a la conformación $K_f$ . Factores que influyen sobre ella. Concepto de curva de fluencia. [24]

Antes de pasar a nombrar los factores que influyen sobre  $k_f$ , se explicara el concepto de *curva de fluencia* y la forma de obtenerla.

Es conocida la forma en que se obtiene la curva  $\sigma$ -  $\epsilon$  (tensión - deformación) de un material en el ensayo de tracción. Aunque este ensayo es solo una de las múltiples formas de llegar a esta curva, basaremos nuestra explicación sobre él.

En la figura 2-15a tenemos la representación convencional de una curva tensión-deformación. Es sabido que el valor de  $\sigma$  es el cociente de la fuerza  $F$  aplicada a la probeta sobre el área *inicial* de la misma, por lo cual aparentemente, a partir de una deformación determinada, el valor de tensión necesario para seguir deformando la probeta parece disminuir. Si

ploteamos en  $\sigma$  el valor real de la fuerza aplicada sobre el *área instantánea*, desaparece este efecto, obteniendo la curva *b* de la figura 2-15

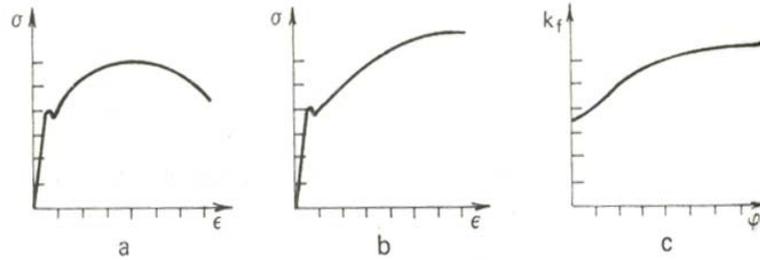


FIGURA 2-15 PASO DE UNA CURVA TENSION-DEFORMACION CONVENCIONAL OBTENIDA EN UN PROCESO DE TRACCION A LA CURVA DE FLUENCIA DEL MATERIAL: a, CURVA CONVENCIONAL; b, CURVA DE TENSIONES REALES; c, CURVA DE TENSIONES REALES UNA VEZ ELIMINADA LA PARTE ELASTICA.

Durante el estudio de deformaciones plásticas apreciables, las deformaciones elásticas representan un valor muy pequeño comparado con aquellas, por lo que se desprecian.

Esto equivale, en el caso de la curva tensión – deformación, a depreciar la parte inicial de la misma y quedarse solo con la parte representada en la figura 2-15c, en la cual se emplean ya los dos conceptos definitivos  $k_f$  y  $\phi_g$ . Esta curva obtenida a partir del ensayo de tensión, representa la *curva plástica del material* esta nos sirve para estudiar cualquier proceso de conformación donde se emplee el material de la misma.

Los factores principales que influyen sobre  $k_f$  son los siguientes:

- material
- grado de conformación

**Material.** La resistencia a la conformación  $k_f$  depende de la composición química del material aumentando, por ejemplo, para aceros el carbono, a

temperaturas menores a la recristalización con el contenido de carbono (figura 2-16).

*En las normas VDI 3200, 3201 y 3202 se indican las curvas de fluencia para los materiales más usuales en la manufactura.*

*Grado de la conformación.* La figura 2-15c representa el comportamiento normal de todos los materiales cuando la temperatura de trabajo es inferior a la de recristalización. En la misma se ve que  $k_f$  aumenta a medida que aumenta el grado de la deformación, es decir, que para continuar deformando un material, hacen falta valores mayores de tensiones. En la figura 2-16 obtenemos una idea cuantitativa de este hecho. Por ejemplo, para un acero de 0,45% C, el endurecimiento en frío, nombre con que corrientemente se describe el fenómeno, es de casi  $40\text{kg/mm}^2$ , por pasar el material de una  $k_f$  aproximadamente igual a 40 a una  $k_f = 80\text{kp/mm}^2$ , cuando el grado de conformación  $\varphi = 1,4$

El endurecimiento en frío se relaciona con las direcciones de deslizamiento de los granos. El proceso de deslizamiento comienza en los cristales con las direcciones más favorables, luego los próximos deben vencer tensiones extras en sus límites con otros granos que tienen otra orientación, hasta que se orientan para poderse deformar. Así a medida que van quedando cristales con direcciones de deslizamiento más alejadas de la óptima, se van haciendo necesarios valores mayores de tensión para que continúe el proceso.

## **2.5 Recalcado**

El recalcado es la operación de forja que consiste en aumentar la sección transversal de un material metálico, (generalmente redondo) aplicando una carga axialmente, teniendo como consecuencia, una disminución de la longitud inicial. Con el recalcado, las fibras del metal siguen el contorno

de la pieza, como se ilustra en la figura (2-18), lo que ocasiona que la pieza sea mas resistente.

El recalado en frío se efectúa insertando un tramo de material, de una longitud previamente calculada, en una matriz fija(Fig2-19). El barreno de la matriz se hace unas pocas centésimas de milímetro mayor que el diámetro exterior del tramo de material.

Un punzón se mueve hacia la matriz y se pone en contacto con la porción del material que sobresale de la matriz.

Al continuar su avance, el punzón recalca el material. Las cavidades en el punzón o en la matriz (o en ambos) determinan la forma del recalque.

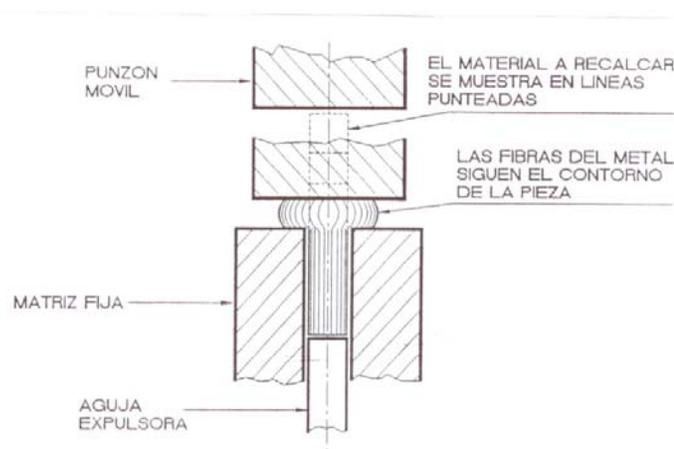


FIGURA 2-18. OPERACION DE RECALCADO (

Algunas piezas se recalcan en el punzón y algunas en la matriz y otras al aire entre el punzón y la matriz y otras al aire entre el punzón y la matriz. (Fig. 2-19).

En el momento del contacto entre punzón y el material, la porción del trozo a recalcar queda fuera de la matriz sin ser soportada ni por la matriz ni por el punzón.

Si esta longitud es demasiado larga, se dobla en lugar de recalcarse uniformemente. La longitud máxima que puede ser recalcada sin doblarse se expresa en múltiplos del diámetro.

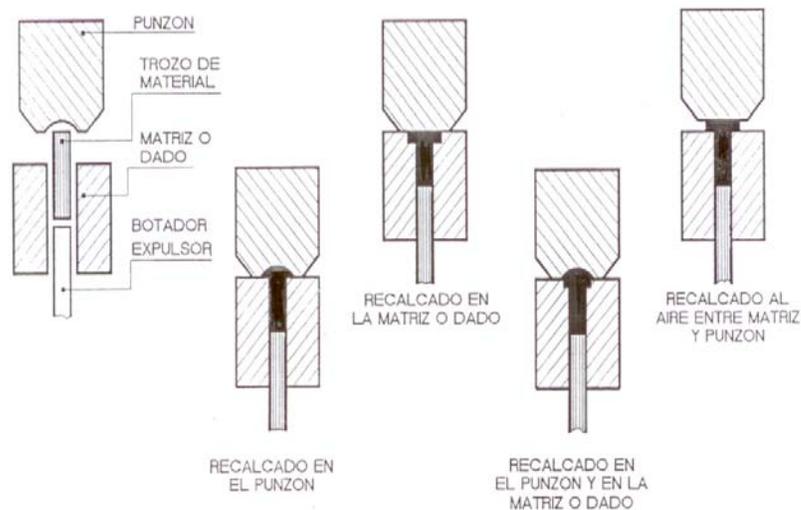


FIG. 2-19 EJEMPLOS DE LAS FORMAS DE RECALCAR LAS PIEZAS.

Como regla general, pueden recalarse hasta 2.25 diámetros de un solo golpe. Si este volumen de materia no es suficiente para formar el recalque requerido, pueden efectuarse dos o mas golpes, los cuales son los que van a realizar las formas previas.

Para calcular la relación de recalado se divide la longitud del material a recalcar entre el diámetro del material o sea:

$$S = h / d$$

$$\text{EC. (2-5)}$$

El primer golpe recalca el diámetro del material a un diámetro mayor y longitud reducida, disminuyendo con ello el número de diámetros sin soportar para el segundo golpe.

Otra regla general es que pueden recalarse aproximadamente hasta 4.5 diámetros en dos golpes sin embargo, cuando se utiliza un punzón deslizante para soportar parte del tramo del material durante el recalado, puede recalarse hasta aproximadamente 6.5 diámetros en dos golpes.

## 2.6 Deformación media, máxima y local

La *deformación media* indica hasta que punto está solicitado el material en su totalidad por la conformación. Si el material soporta la deformación media deseada sin daños, es decir, sin grietas por cizallamiento, depende de la capacidad de deformación del material, o sea en gran parte de su estado de recocido.

La deformación no es constante a lo largo de la zona total del recalado. Es preciso, por lo tanto, tener en cuenta la deformación local en cada uno de los puntos del material recalado. La distribución de la deformación a lo largo de un cuerpo recalado se indica en la figura 2-20. Se recalcó entre dos placas planas un cuerpo de acero compuesto por varias capas.

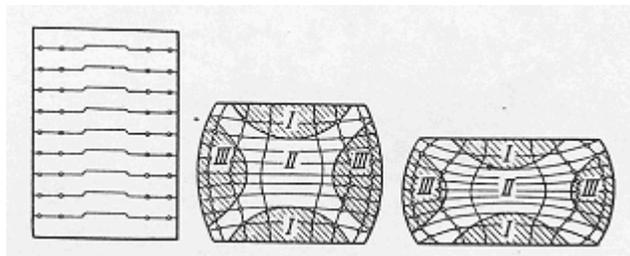


FIG. 2-20. DESPLAZAMIENTO DE MATERIAL EN EL RECALCADO DE CILINDROS DE ACERO

La distribución de las capas en el cuerpo recalcado hace ver claramente que las deformaciones máximas tuvieron lugar en la zona II.

Las zonas de borde libres III quedaron poco afectadas por la deformación. Lo mismo sucede para las zonas I junto con las superficies prensadas.

La fricción de las superficies prensadas evita una fluencia del material en dirección de las zonas de borde. Debido a ello se obtiene la forma de barril del cilindro recalcado.

En todas las probetas utilizadas, el recalcado local presenta un máximo en el centro de la sección disminuyendo hacia los bordes. Sin embargo se observa de nuevo aumento en las esquinas.

En la figura 2-21 se muestra mediante diferentes rayados una escala de grises en varios tonos que representa gráficamente la distribución de la deformación local. Indica la distribución de la deformación máxima local en diferentes formas de piezas obtenidas mediante el recalcado.

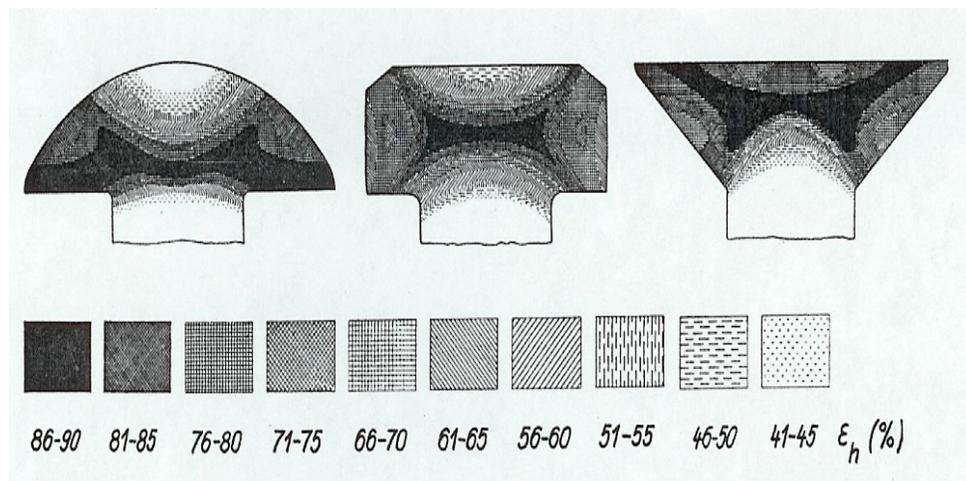


FIG. 2-21 DEFORMACIONES LOCALES EN EL RECALCADO DE PIEZAS CON DIFERENTES FORMAS DE CABEZAS  $\epsilon_h = \Delta h / h_0$

### 2.7 Temperaturas en el recalado

La energía necesaria para la conformación en frío ocasiona un calentamiento de la pieza a conformar. Este calentamiento puede utilizarse para determinar el trabajo de deformación. Este se hizo por ejemplo mediante medición calorimétrica del calentamiento de la pieza a prensar figura 2-24

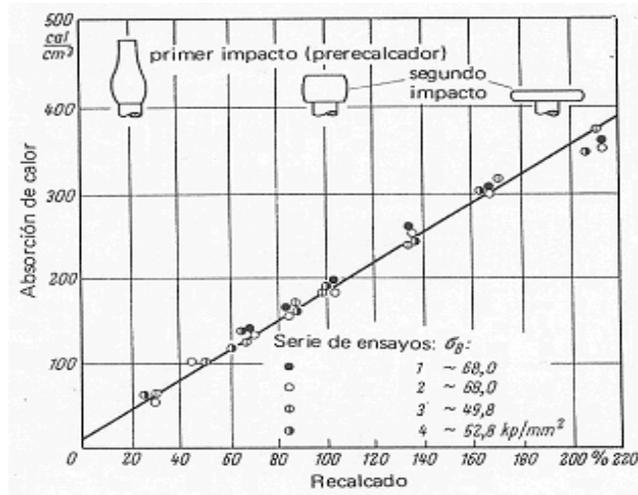


FIG. 2-24 ABSORCIÓN DE CALOR EN EL RECALADO EN FRÍO DE UN ACERO SAE 1041

$$(\text{recalado } \epsilon_h = \frac{h_0 - h_1}{h_0} \bullet 100\%)$$

De esta figura se deduce que el calentamiento aumenta al aumentar la deformación por recalado.

### 2.8 Diagrama de fuerza- recorrido

En el recalado de un material, la fuerza  $F$  a lo largo del camino de conformación  $ha$  sigue un determinado recorrido, que se representa esquemáticamente en la figura 2-26.

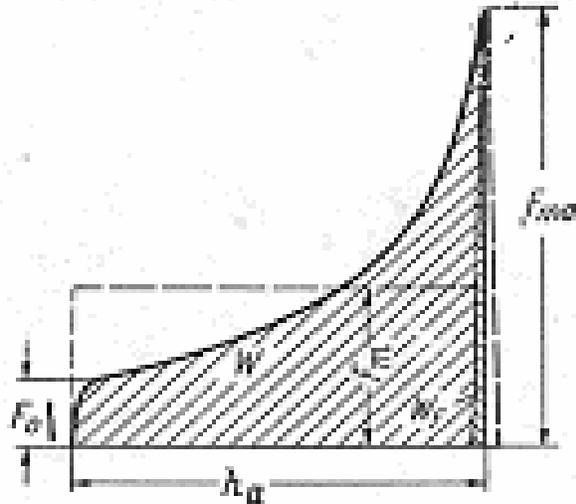


FIG. 2-26. DIAGRAMA DE TRABAJO ESQUEMÁTICO DE UN PROCESO DE RECALCADO  
(SEGÚN MÄKELT.)

La fuerza  $F$  aumenta desde el valor inicial  $F_0$  hasta el valor máximo  $F_{\max}$  al final del proceso del recalcado. A la fuerza  $F_0$  corresponde la sección inicial del material, mientras que la fuerza final  $F_{\max}$  actúa sobre la sección total del material recalcado .

El recorrido de esta curva de fuerzas se determina al principio solamente mediante relaciones geométricas, es decir, por el aumento continuo de la sección inicial  $A_0$  hasta la sección final  $A_{\max}$ .

Según la figura 2-26 la fuerza máxima de recalcado se presenta también en este caso hacia el final del proceso y puede calcularse con siguiente fórmula:

$$F_{\max} = A_{\max} \cdot k_w \text{ [kg]}$$

En donde  $A_{\max}$  es la sección final en  $\text{mm}^2$  y  $k_w$  la resistencia real a la deformación en  $\text{kg}/\text{mm}^2$ .

### 2.9 Estirado y extrusión

Para disminuir la sección transversal de metales cilíndricos mediante el conformado en frío se emplea el estirado y la extrusión, Fig. 2-27.

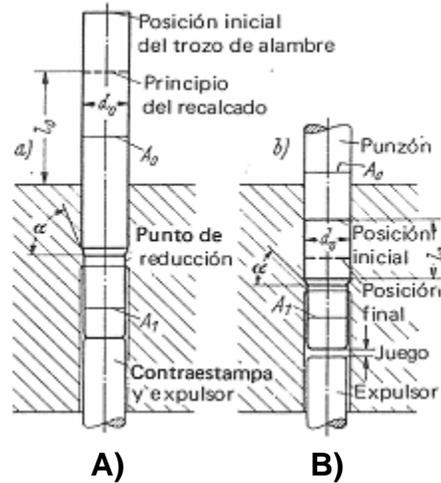


FIG. 2-27 CONFORMACIÓN POR EXTRUSIÓN Y REDUCCIÓN.

A) REDUCCIÓN.

B) EXTRUSIÓN.

En el estirado y extrusión el grado de conformación esta limitado, ya que de otra forma el material se recalca antes de iniciarse la reducción. El porcentaje de la reducción de área en los metales llega hasta el 30% y la disminución logarítmica de sección hasta  $\phi = 0,38$  en un proceso de reducción.

La reducción de área se calcula de la siguiente manera:

$$R. A. = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100 \quad \text{EC. (2-6)}$$

En la extrusión puede alcanzarse disminuciones relativas de sección hasta un 80% en una sola fase de trabajo.

En el estirado no se apoya la parte no conformada, mientras que en la extrusión todo el trozo de material esta dentro de la matriz. Por este motivo en el estirado es posible que se presenten unos dobleces o se flexione el material, mientras en la extrusión no.

### 2.10 Recalcado en una fase de trabajo.

En la figura 2-28 se representa la conformación continua en una fase de trabajo de la longitud a recalcar  $h_0$  hasta obtener la pieza acabada. Es posible realizar un recalcado en una sola fase, con una relación de recalcado de hasta 2.4 sin peligro de flexionarse el material.

Lo anterior debe considerarse como limite superior y que puede alcanzarse si se cumplen todas las condiciones para un recalcado correcto.

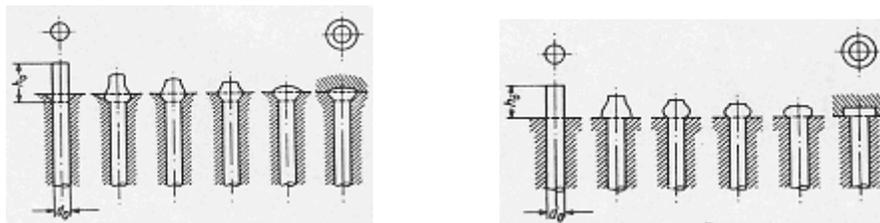


FIG. 2-28. RECALCADO CONTINUO CON UNA RELACIÓN PEQUEÑA DE RECALCADO EN UNA FASE DE TRABAJO

La condición más importante para obtener un excelente recalcado es una *superficie de corte sin defectos perpendicular al eje del material*. Cuando el material tiene una superficie de corte inclinada respecto a su eje, la longitud de recalcado tiende antes a flexionarse hacia un lado al iniciarse el proceso de recalcado.

Por lo tanto la superficie de la herramienta no debe ser demasiado lisa sino presentar un coeficiente de fracción tan alto como lo permitan la

superficie de la herramienta y la relación del proceso de recalado. El endurecimiento que se presenta en la superficie de corte puede tener también influencias negativas en la conformación. Se debe considerar además que una relación de recalado de 2.4 se realice en una sola fase de trabajo solamente en casos excepcionales. Como medida de seguridad será siempre menor hasta un valor de aproximadamente 1,5.

### **2.11 Recalado en varias fases de trabajo.**

Si para la manufactura de una pieza recalada se requiere una relación de recalado mayor a 2,4; el material debe recalarse en varias fases previas a la obtención de su forma definitiva.

En general se pueden obtener productos recalados con una relación máxima de recalado de 4,5 con dos fases previas, sin peligro de flexión del material. Pero también en este caso se precisan condiciones similares a las descritas para el recalado en una sola fase de trabajo para poder admitir esta relación máxima de recalado.

En la figura 2-29 se representa como se realiza en dos fases de trabajo la conformación a partir del trozo de material hasta obtener la pieza acabada. La elaboración de piezas con una relación de recalado mayor que 4,5 requiere, varias fases previas.

En la figura 2-30 se representa la secuencia para obtener una pieza que para su manufactura requiere tres fases de conformación. En este caso, o sea en el recalado previo doble, puede indicarse una relación máxima de recalado de 8 aproximadamente. Relaciones de recalado aún más elevadas requieren más fases de recalado previo, tal como se indica gráficamente en la figura 2-31. En este caso se trata de una pieza que para su obtención requiere cinco fases de conformación.

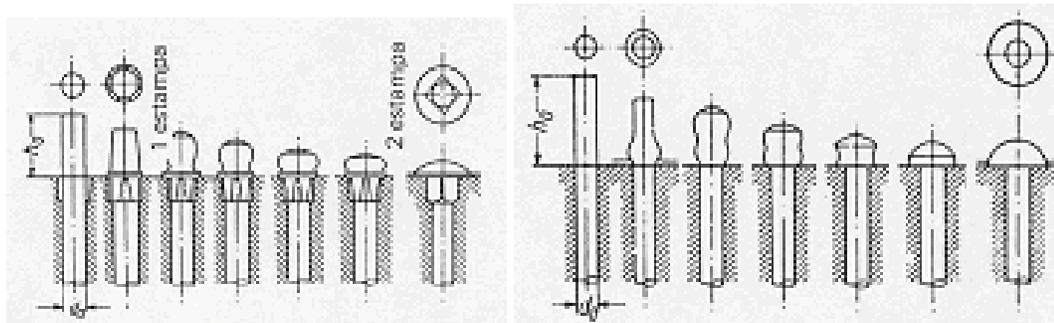


FIG. 2-29.SUCESIVOS RECALCADOS PREVIOS Y DE ACABADO DE PERNOS CON UNA GRAN RELACIÓN DE RECALCADO EN VARIAS FASES DE TRABAJO

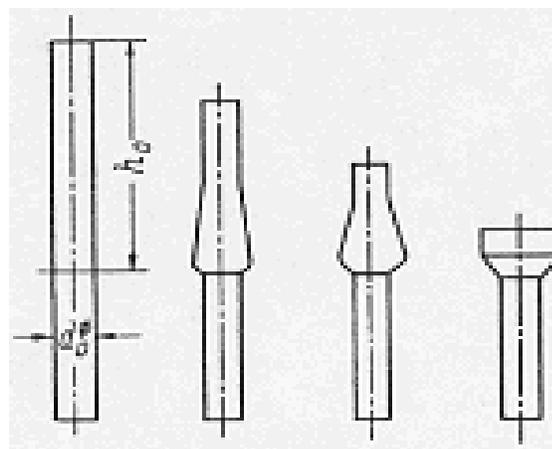


FIG.2-30.FABRICACIÓN DE PIEZAS RECALCADAS EN 3 FASES DE TRABAJO

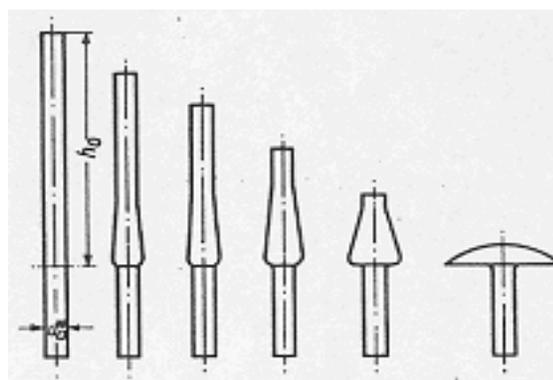


FIG.2-31.FABRICACIÓN DE PIEZAS RECALCADAS CON CABEZA EXCEPCIONALMENTE GRANDE EN 5 FASES

### 2.11.1 Configuración del recalcado previo (estampas rígidas)

Si para fabricar un producto mediante la conformación en frío se requieren varias fases previas de recalcado, es de suma importancia, la forma de cada una de las estampas.

FIG. 2-32

FIG. 2-33

FIG. 2-34

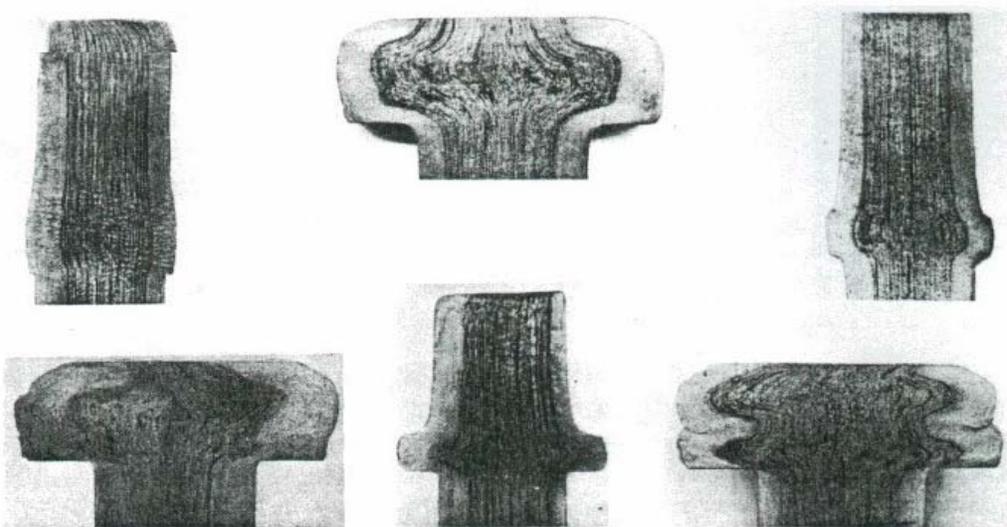


FIG. 2-35

FIG. 2-36

FIG. 2-37

FIGURAS 2-32 a 2-37 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA INFLUENCIA DE LA FORMA DE RECALCADO PREVIO Y DEL DESARROLLO DEL RECALCADO SOBRE EN RECORRIDO DE LAS FIBRAS Y FORMA EXTERIOR DE LAS PIEZAS ACABADAS. MICRIGRAFIA LONGITUDINALES, ATACADAS POR ACIDO x 1.5

Fig. 2-32 Forma correcta del recalcado previo

Fig. 2-33 Recorrido regula de las fibras siguiendo la forma exterior de la pieza acabada

Fig. 2-34 Forma inadecuada del recalcado.

Fig. 2-35 Fluencia menos favorable del material en la pieza acabada

Fig. 2-36 Forma incorrecta del recalcado previo

Fig. 2-37 Recorrido quebradizo de las fibras y formación de grietas en los pliegues de prensado en la pieza recalcada acabada

En primer lugar la influencia de la forma del recalado previo sobre el recorrido de las fibras del material de la pieza acabada es mayor en la conformación en frío que en la conformación en caliente.

Las figuras 2-32 a 2-37 indican la influencia de la forma en el recalado previo único seguido por el recalado de acabado.



FIG.2-38.RECORRIDO FAVORABLE DE LAS FIBRAS POR DESARROLLO CONVENIENTE DE RECALADO EN DISTINTAS PIEZAS. MICROGRAFÍAS LONGITUDINALES, ATACADAS POR ÁCIDO X 1,5.

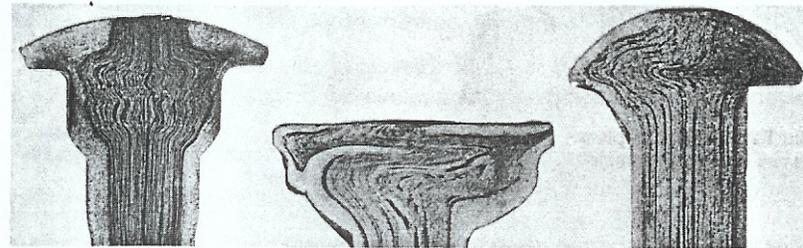


FIG.2-39.PIEZAS RECALCADAS EN FRIO CON UN RECORRIDO DE LAS FIBRAS MENOS FAVORABLE. MICROGRAFÍAS LONGITUDINALES, ATACADAS POR ÁCIDO X 1,5.

En la figura 2-33 se observa una disposición buena de las fibras sin pliegues. El acabado de la pieza se realizó desde la forma de recalado previo según la figura 2-32. El recorrido de las fibras según la Fig. 2-35 ya es más irregular y por lo tanto es peor. Ello es debido al recalado previo correspondiente a la Fig. 2-34.

La pieza de la figura 2-37 cuya forma correspondiente de recalado previo se ve en la figura 2-36 tiene pliegues fuertes en el recorrido de las

fibras y como consecuencia se observan claramente grietas en la cabeza. El recalado previo según la figura 2-36 tiene que considerarse como inservible. Más ejemplos para una buena disposición de las fibras sin pliegues en la cabeza recalada se indican en la figura 2-38, mientras que en la figura 2-39 se indican ejemplos de un recorrido no satisfactorio de las fibras en la cabeza.

Tal pliegue en la pieza recalada acabada puede tener varias causas. En las figuras 2-40 hasta 2-43 se ven tres de las causas mas frecuentes. Se representa la formación escalonada de la forma de prerecalado y luego la formación de la forma definitiva.

En la figura 2-40 el material se dobla hacia un lado en el recalado previo. La forma del recalado previo presenta un pliegue que en el recalado de acabado se hace aun más pronunciado. La longitud libre en el prerecalado era demasiado grande y se sobrepaso el límite de pandeo del material.

Esto no ocurre en el recalado previo según la figura 2-41. El recalado previo es correcto y sin formación de pliegues. Sin embargo, en el recalado de acabado se presenta un pandeo lateral. Debido a ello se forma también un pliegue en la pieza acabada. En este caso el recalado previo fue insuficiente.

En la figura 2-42 se elabora también una forma previa en el recalado previo, sin pliegues. En el siguiente recalado de acabado no se observa ningún pandeo lateral del material. Sin embargo, se forma un pliegue alrededor de la pieza. La forma del prerecalador es inadecuada. Es demasiado ancho en su parte inferior.

En cambio la figura 2-43 Indica un recalcado en que no se forman pliegues ni en la fase previa ni en la fase de acabado. La forma y dimensiones de prerecalcado son correctas. Esta pieza tiene un recorrido de las fibras sin defectos ni pliegues.

Desde las figuras 2-40 a la 2-43 se muestran los resultados obtenidos de la influencia de la forma del recalcado previo sobre la fluencia del material en la conformación en frío de piezas en bruto con una gran relación de recalcado.

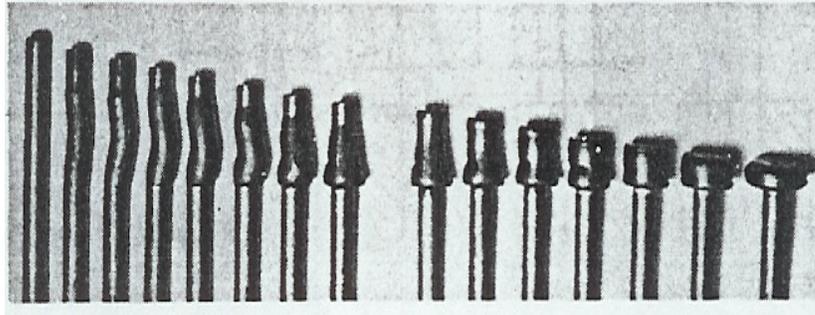


FIG. 2-40. PANDEO DE LA PIEZA EN EL PRERECALCADO DEBIDO A LONGITUD DE RECALCADO DEMASIASADO LARGA

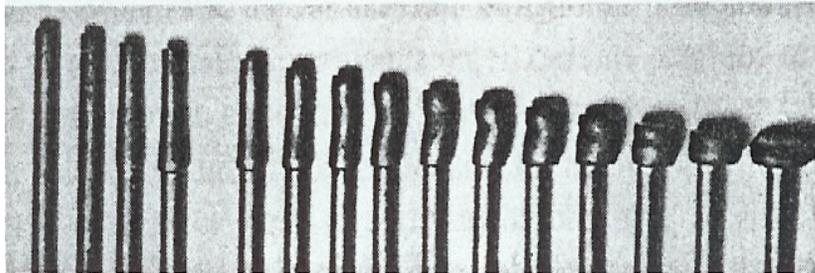


FIG 2-41 BUENA FLUENCIA DEL MATERIAL EN EL PRERECALCADO, PERO FORMACIÓN DE PLIEGUES EN EL RECALCADO DE ACABADO DEBIDO A LA LONGITUD EXCESIVA DE LA PIEZA CILINDRICA PRERECALCADA

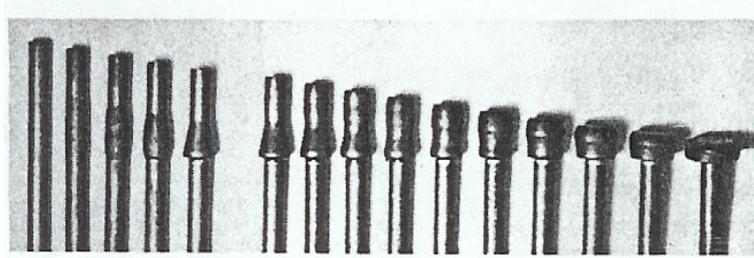


FIGURA 2-42 FLUENCIA UNIFORME DEL MATERIAL EN EL RECALCADO PREVIO Y DE ACABADO;  
FORMACIÓN DE UN LIGERO PLIEGUE ANULAR EN EL RECALCADO DE ACABADO DEBIDO AL ANGULO  
DE CONO DEMASIADO GRANDE.

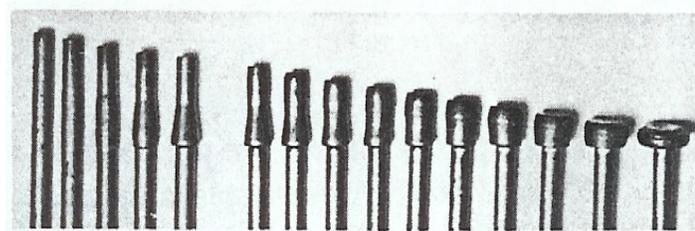


FIGURA 2-43 DESARROLLO IMPECABLE DEL RECALCADO PREVIO Y DE ACABADO.

Estas consideraciones hacen ver claramente la importancia decisiva de la forma de recalado previo para la fabricación de una pieza. Por lo tanto, es conveniente tener normas de validez general respecto a la forma del recalado previo. Ya que la relación de recalado ha de ser lo más elevada posible, el recalado previo ha de estar diseñado en primer lugar de tal forma que pueda admitirse una longitud de recalado lo más grande posible. También en este caso la herramienta ha de ser tal que el material pueda considerarse como empotrado en la herramienta del recalado previo y no sólo comprimido axialmente. En la figura 2-44 se indica cuál es la posición de esta longitud libre de recalado  $b$  según sea la configuración de las herramientas de recalado.

Para realizar un recalado previo impecable, la longitud libre de recalado  $b$  puede ser como máximo  $2.6 \times d_0$ . En caso de longitudes mayores ha de contarse con un pandeo del material. Se observa que este límite es

prácticamente independiente del material. Ni *resistencias* diferentes ni *módulos de elasticidad* de diferentes magnitudes tienen una influencia notable. *Este límite se aplica, tanto para acero como para metales no féreos.*

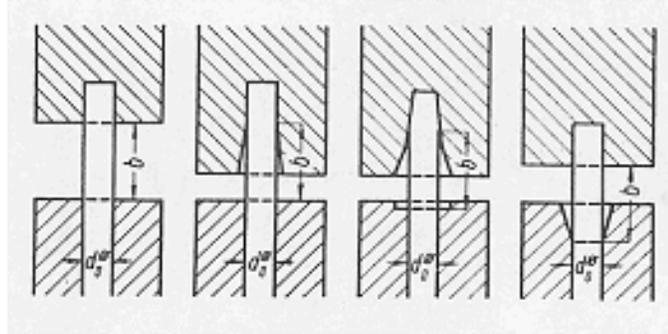


FIG. 2-44. REPRESENTACIÓN ESQUEMATICA DE LA LONGITUD LIBRE DE RECALCADO EN EL PRERECALCADO CON DISTINTAS FORMAS DE HERRAMIENTA

Al empotrar la longitud de recalado en la estampa se da forzosamente el caso que la forma de recalado previo contiene en el extremo superior una pieza cilíndrica cuyo diámetro es aproximadamente el del material, tal como se ve en la figura 2-45. La forma prerrecalcada es, por lo tanto, un cono con punta cilíndrica.

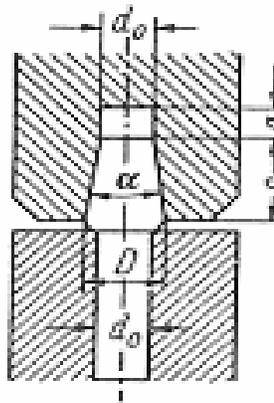


FIG. 2-45. FORMA ADECUADA DEL PUNZÓN DE PRERECALCADO PARA LA FABRICACIÓN DE TORNILLOS EN BRUTO HEXAGONALES EN EL PROCEDIMIENTO A DOBLE COMPRESIÓN (SEGÚN NORMA VDI 3171)

La longitud de esta pieza cilíndrica que permite aún un recalado correcto, depende del ángulo abertura del cono de recalado previo. Aumenta proporcionalmente con el ángulo del cono, tal como indica la tabla 2-2.

Relación de recalado $s = h_0/d_0$	Angulo del cono en grados	Longitud de guía $a$ mm	Longitud de la parte cónica del precalador $c$ mm
2,5	15	$0,6 \cdot d_0$	$1,37 d_0$
3,3	15	$1,0 \cdot d_0$	$1,56 d_0$
3,9	15	$1,4 \cdot d_0$	$1,66 d_0$
4,3	20	$1,7 \cdot d_0$	$1,56 d_0$
4,5	25	$1,9 \cdot d_0$	$1,45 d_0$

TABLA 2-2 DIMENSIONES PARA PRERECALCADORES SEGÚN LA FIGURA 2-37 (NORMA VDI 3171)

En este caso se indica la longitud de la parte cilíndrica  $a$  y la de la parte cónica  $c$  como múltiplo del diámetro del material.

El ángulo del cono depende a su vez de la relación de recalado. Cuanto mayor es la relación de recalado, tanto mayor ha de ser el ángulo del cono. Sin embargo, la magnitud del ángulo del cono está limitada, ya que en caso de un ángulo grande existe el peligro de formarse un pliegue anular en el recorrido de las fibras de la pieza acabada, tal como se ve en la figura 2-42.

En caso de un ángulo del cono de  $25^\circ$ , no tendría que existir este peligro. Para la mayoría de los recalados realizados según el procedimiento de doble compresión es adecuado un ángulo del cono de  $15^\circ$ , que corresponde a una relación de recalado del orden de 4.0. A una relación de recalado 4.3 corresponde un ángulo de  $20^\circ$ , mientras que una relación de recalado de 4.5 requiere un ángulo de  $25^\circ$ .

Estas relaciones hacen ver claramente que la relación de recalcado de 4.5 representa el valor límite admisible en el recalcado previo único y el siguiente recalcado de acabado solamente bajo condiciones favorables y ello aun con un riesgo considerable. El límite seguro para la relación de recalcado con este método de trabajo es 4.3 aproximadamente.

La tabla 2-3 muestra los resultados de los valores obtenidos experimentalmente para la forma de recalcado previo. Se trata de la forma previa de la pieza a elaborar. La herramienta ha de diseñarse según esta forma previa teniendo en cuenta las condiciones de la maquina de conformado.

Relación de recalcos		4,5	4,3	4,1	3,9	3,7	3,5	3,3	3,1	2,9	2,7	2,5	2,3
Angulo del cono $\alpha = 25^\circ$	a	$1,9 \cdot d_0$	$1,7 \cdot d_0$	$1,5 \cdot d_0$	$1,4 \cdot d_0$	$1,2 \cdot d_0$	$1,1 \cdot d_0$	$1,0 \cdot d_0$	$0,8 \cdot d_0$	$0,7 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$
	b	$2,6 \cdot d_0$	$2,6 \cdot d_0$	$2,6 \cdot d_0$	$2,5 \cdot d_0$	$2,5 \cdot d_0$	$2,4 \cdot d_0$	$2,3 \cdot d_0$	$2,3 \cdot d_0$	$2,2 \cdot d_0$	$2,1 \cdot d_0$	$1,9 \cdot d_0$	$1,7 \cdot d_0$
	c	$1,45 \cdot d_0$	$1,45 \cdot d_0$	$1,45 \cdot d_0$	$1,42 \cdot d_0$	$1,42 \cdot d_0$	$1,38 \cdot d_0$	$1,33 \cdot d_0$	$1,33 \cdot d_0$	$1,31 \cdot d_0$	$1,26 \cdot d_0$	$1,17 \cdot d_0$	$1,08 \cdot d_0$
	D	$1,65 \cdot d_0$	$1,65 \cdot d_0$	$1,65 \cdot d_0$	$1,63 \cdot d_0$	$1,63 \cdot d_0$	$1,61 \cdot d_0$	$1,59 \cdot d_0$	$1,59 \cdot d_0$	$1,58 \cdot d_0$	$1,56 \cdot d_0$	$1,52 \cdot d_0$	$1,48 \cdot d_0$
	e	$1,15 \cdot d_0$	$1,15 \cdot d_0$	$1,15 \cdot d_0$	$1,08 \cdot d_0$	$1,08 \cdot d_0$	$1,02 \cdot d_0$	$0,97 \cdot d_0$	$0,97 \cdot d_0$	$0,89 \cdot d_0$	$0,84 \cdot d_0$	$0,73 \cdot d_0$	$0,62 \cdot d_0$
Angulo del cono $\alpha = 20^\circ$	a		$1,7 \cdot d_0$	$1,5 \cdot d_0$	$1,4 \cdot d_0$	$1,2 \cdot d_0$	$1,1 \cdot d_0$	$1,0 \cdot d_0$	$0,8 \cdot d_0$	$0,7 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$
	b		$2,6 \cdot d_0$	$2,6 \cdot d_0$	$2,5 \cdot d_0$	$2,5 \cdot d_0$	$2,4 \cdot d_0$	$2,3 \cdot d_0$	$2,3 \cdot d_0$	$2,2 \cdot d_0$	$2,1 \cdot d_0$	$1,9 \cdot d_0$	$1,7 \cdot d_0$
	c		$1,56 \cdot d_0$	$1,56 \cdot d_0$	$1,53 \cdot d_0$	$1,53 \cdot d_0$	$1,47 \cdot d_0$	$1,42 \cdot d_0$	$1,42 \cdot d_0$	$1,39 \cdot d_0$	$1,36 \cdot d_0$	$1,24 \cdot d_0$	$1,16 \cdot d_0$
	D		$1,55 \cdot d_0$	$1,55 \cdot d_0$	$1,54 \cdot d_0$	$1,54 \cdot d_0$	$1,52 \cdot d_0$	$1,50 \cdot d_0$	$1,50 \cdot d_0$	$1,49 \cdot d_0$	$1,48 \cdot d_0$	$1,44 \cdot d_0$	$1,41 \cdot d_0$
	e		$1,04 \cdot d_0$	$1,04 \cdot d_0$	$0,97 \cdot d_0$	$0,97 \cdot d_0$	$0,93 \cdot d_0$	$0,88 \cdot d_0$	$0,88 \cdot d_0$	$0,81 \cdot d_0$	$0,74 \cdot d_0$	$0,66 \cdot d_0$	$0,54 \cdot d_0$
Angulo del cono $\alpha = 15^\circ$	a				$1,4 \cdot d_0$	$1,2 \cdot d_0$	$1,1 \cdot d_0$	$1,0 \cdot d_0$	$0,8 \cdot d_0$	$0,7 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$
	b				$2,5 \cdot d_0$	$2,5 \cdot d_0$	$2,4 \cdot d_0$	$2,3 \cdot d_0$	$2,3 \cdot d_0$	$2,2 \cdot d_0$	$2,1 \cdot d_0$	$1,9 \cdot d_0$	$1,7 \cdot d_0$
	c				$1,66 \cdot d_0$	$1,66 \cdot d_0$	$1,60 \cdot d_0$	$1,56 \cdot d_0$	$1,56 \cdot d_0$	$1,52 \cdot d_0$	$1,48 \cdot d_0$	$1,37 \cdot d_0$	$1,25 \cdot d_0$
	D				$1,44 \cdot d_0$	$1,44 \cdot d_0$	$1,42 \cdot d_0$	$1,41 \cdot d_0$	$1,41 \cdot d_0$	$1,40 \cdot d_0$	$1,39 \cdot d_0$	$1,36 \cdot d_0$	$1,33 \cdot d_0$
	e				$0,84 \cdot d_0$	$0,84 \cdot d_0$	$0,80 \cdot d_0$	$0,74 \cdot d_0$	$0,74 \cdot d_0$	$0,68 \cdot d_0$	$0,62 \cdot d_0$	$0,53 \cdot d_0$	$0,45 \cdot d_0$
Angulo del cono $\alpha = 10^\circ$	a					$1,0 \cdot d_0$	$1,0 \cdot d_0$	$0,8 \cdot d_0$	$0,7 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$	$0,6 \cdot d_0$
	b					$2,5 \cdot d_0$	$2,3 \cdot d_0$	$2,3 \cdot d_0$	$2,2 \cdot d_0$	$2,1 \cdot d_0$	$1,9 \cdot d_0$	$1,7 \cdot d_0$	$1,7 \cdot d_0$
	c					$1,83 \cdot d_0$	$1,72 \cdot d_0$	$1,72 \cdot d_0$	$1,66 \cdot d_0$	$1,60 \cdot d_0$	$1,49 \cdot d_0$	$1,32 \cdot d_0$	$1,32 \cdot d_0$
	D					$1,32 \cdot d_0$	$1,30 \cdot d_0$	$1,30 \cdot d_0$	$1,29 \cdot d_0$	$1,28 \cdot d_0$	$1,26 \cdot d_0$	$1,23 \cdot d_0$	$1,23 \cdot d_0$
	e					$0,67 \cdot d_0$	$0,58 \cdot d_0$	$0,58 \cdot d_0$	$0,54 \cdot d_0$	$0,50 \cdot d_0$	$0,41 \cdot d_0$	$0,38 \cdot d_0$	$0,38 \cdot d_0$

**TABLA 2-3 VALORES OBTENIDOS Y RECOMENDADOS DE PRERECALCADOS RIJIDOS PARA LAS RELACIONES DE RECALCADO SIGUIENTES**

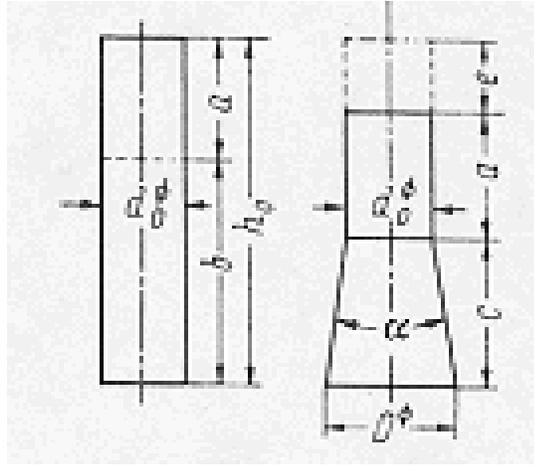


FIGURA 2-46 RELACION ENTRE RECALCADO  $s = h_0 / d_0 \leq 4,5$

### 2.11.2 Formas especiales de recalado previo (Recalado previo elástico)

El prerecalador elástico se utiliza cuando es necesario hacer un recalado previo de forma complicada. Para ello no pueden indicarse reglas generalmente válidas.

Tales formas de recalado previo han de diseñarse en cada caso especial. Una forma especial es la herramienta de recalado previo elástico adecuado para admitir relaciones mayores de recalado. No se trata de una herramienta sencilla tal como lo es el prerecalador rígido. Su estructura es más complicada, según la figura 2-46.

Esta herramienta  $b$  se desliza bajo la presión de un resorte en un casquillo  $c$ . En comunicación con la forma de prerecalado propiamente dicha, que tiene un diseño diferente al del prerecalador rígido, existe un agujero axial en el que se introduce totalmente dentro de la perforación del prerecalador.

Posteriormente avanza la espiga de recalado y recalca el material según la forma de prerecalado de la estampa. Al estar llena esta forma con el material, el prerecalcador retrocede bajo *carga elástica* dentro del casquillo creando un espacio entre el prerecalcador y la matriz para poder realizarse luego el prerecalado libre de la pieza a elaborar.

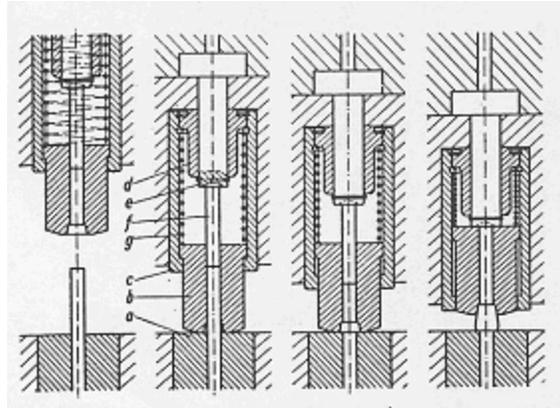


FIG. 2-46 DISEÑO DE UN PRERECALCADOR ELÁSTICO (I.G. KAYSER, NUREMBERG)

- a) MATRIZ
- b) PRERECALCADOR
- c) CASQUILLO DE PRERECALCADOR
- d) CASQUILLO GUÍA
- e) PERNO DE RECALCADO
- f) ESPIGA DE RECALCADO
- g) RESORTE

Ya que la mayor parte de la longitud de recalado del material se introduce dentro de la perforación del prerecalcador, la longitud libre de recalado es muy pequeña. No puede presentarse un pandeo lateral del material.

Contrariamente a lo que ocurre en la parte cilíndrica de un prerecalcador rígido, la perforación en el prerecalcador elástico es más holgada. *No es precisa una tolerancia del agujero tan ajustada como en el prerecalcador rígido.* Por lo tanto puede también admitirse una mayor tolerancia del

diámetro del material al emplear un prerecalador elástico que en caso de utilizar un prerecalador rígido.

Tal como se menciona anteriormente, el prerecalador elástico da una forma de prerecalcado distinta a la que se obtiene mediante el prerecalador rígido La forma es más achatada.

En la figura 2-47 se indica la forma de prerecalcado con directrices aproximadas respecto a sus dimensiones.

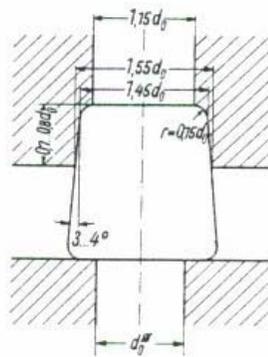


FIG. 2-47 DIRECTRICES PARA LAS FORMAS Y DIMENCIONES DE PRERECALADORES ELASTICOS EN FUNCION DEL DIAMETRO DEL MATERIAL

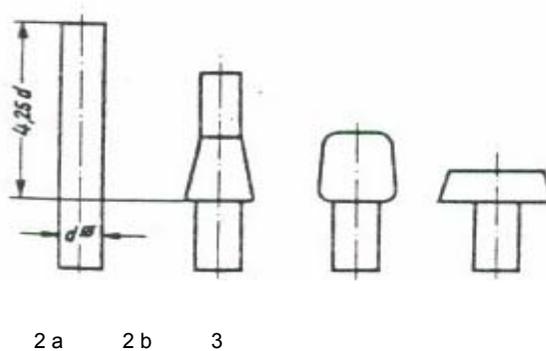


FIG.2-48 FABRICACION DE UN PERNO SEGÚN DISTINTOS PROCEDIMIENTOS

- 1.- CORTE
- 2.- PRERECALCADO
  - a. PRERECALCADO CON PRERECALCADOR RIGIDO
  - b. PRERECALCADO CON PRERECALCADOR ELASTICO
- 3.- RECALCADO DE ACABADO

En la figura 2-48 se ve una comparación entre la forma de una pieza recalada mediante un *prerecalgador rígido* y la de otra pieza recalada mediante un *prerecalgador elástico*.

## **CAPITULO 3**

# **MAQUINAS PARA LA CONFORMACION DE METALES**

En este capitulo se describen las características principales del equipo y maquinaria que se utilizan en la manufactura de componentes conformados en frío

## CAPITULO 3

### MAQUINAS PARA LA CONFORMACION DE METALES

Al elegir el procedimiento de conformación tiene importancia en primer lugar el tipo y el tamaño de las piezas a elaborar. La precisión deseada, las características de los materiales empleados y, por motivos económicos, el numero de piezas que se van a fabricar. En muchos casos la elaboración de un producto es posible según varios procedimientos.

Hoy en día puede distinguirse entre tres métodos básicos de fabricación:

- A) Todas las fases de trabajo se realizan consecutivamente mediante una maquina o bien mediante varias instalaciones estrechamente unidas, es decir, mediante una maquina especial con mando y accionamiento centrales.
  
- B) Solamente alguna de las fases, pueden realizarse mediante una sola maquina o instalación, es decir, una maquina puede tener una herramienta con una o varias fases de conformación.  
Las distintas maquinas e instalaciones pueden unirse entre si mediante dispositivos trasportadores, pero tienen accionamiento individual y mando central.
  
- C) Cada una de las fases de trabajo se realiza mediante una sola maquina.

Según los materiales y las dimensiones de la pieza a elaborar y sobretodo el numero de las piezas a fabricar, se elige uno de los tres tipos de fabricación.

### 3.1 Maquinas para la conformación en frío [4]

Para la conformación en frío, especialmente para el recalado y extrusión, se utilizan prensas accionadas tanto mecánica como hidráulicamente, estas, tanto en construcción horizontal como vertical.

El número de las fases de trabajo necesarias para la fabricación de las piezas determina el empleo de los siguientes tipos de prensas:

- a) Prensas de una fase (prensas de simple efecto),
- b) Prensas de dos fases (prensas de doble efecto),
- c) Prensas de tres fases,
- d) Prensas de cuatro hasta siete fases.

El tipo de maquina que se necesita para un determinado proceso de conformación depende esencialmente de la cantidad de material que se requiere para la formación del volumen recalado, y que se presenta por la relación entre la longitud de recalado y el diámetro del material a emplear. También la forma de las piezas a recalcar puede tener influencia, así como el porcentaje de reducción de la sección transversal del material (extrusión).

Una conformación por recalado impecable en una fase es posible solamente si la longitud del trozo de material a recalcar no sobrepasa el valor igual a 2,3 veces su diámetro; en caso de mayores relaciones de recalado se hace necesaria la intercalación de una o mas fases de recalado previo.

Otras diferencias básicas en el tipo de construcción de la maquina se hallan, en caso del procedimiento usual del recalado en frío, en el diseño de las herramientas de recalcar. Las prensas están equipadas con matrices de recalcar divididas (figura 3-1) o con matrices cerradas (figura 3-2). En ambos casos las estampas de recalado tienen la misma forma (figura 3-3).



FIG 3-1 MATRIZ DE RECALCAR DIVIDIDAS



FIG 3-2 MATRIZ CERRADA



FIG.3-3 ESTAMPAS DE RECALCAR

*Las herramientas divididas* consisten en un par de mordazas cuadradas o redondas una de ellas fija y la otra móvil. Las superficies de trabajo de estas mordazas se hallan en las caras laterales y frontales de las herramientas; los canales cilíndricos de las mordazas están *rectificados* por mitades en ambas herramientas. Las herramientas divididas tienen, además, la ventaja de que las piezas recaladas terminadas pueden expulsarse fácilmente.

Piezas recaladas completamente pulidas, con grandes exigencias respecto a la precisión y calidad de la superficie, sin embargo, pueden fabricarse solamente mediante las prensas en frío que trabajan con *matrices cerradas*. Tal como se menciona ya anteriormente, resulta difícil en este caso la expulsión de las piezas con grandes longitudes de espárrago. Por este motivo las

perforaciones de las matrices se hacen en muchos casos, algo cónicas. Además, las maquinas para la fabricación de piezas conformadas largas requieren de un diseño especial de expulsor (telescópico)

La figura 3-4 muestra un conjunto de herramientas de una prensa en frío con mordazas divididas. El material de partida se introduce desde la parte posterior, entre las mordazas abiertas, contra un tope giratorio que puede ajustarse según la longitud requerida. Luego se corta mediante la mordaza móvil que al mismo tiempo sirve de cuchillas, quedando fijado por las herramientas. Luego se le da la forma deseada y finalmente, después de abrirse las mordazas es expulsado por el material siguiente. En este procedimiento, por lo tanto, se necesita para cada una de las longitudes de espárrago de las piezas un par especial de mordazas.

En este tipo de construcción ha de tenerse, además, en cuenta que la longitud de espárrago de las piezas y con ello la longitud de las mordazas ha de ser, como mínimo, cuatro veces mayor que el diámetro del espárrago para que las herramientas tengan la suficiente resistencia frente a la fuerza de compresión necesaria para el recalado.

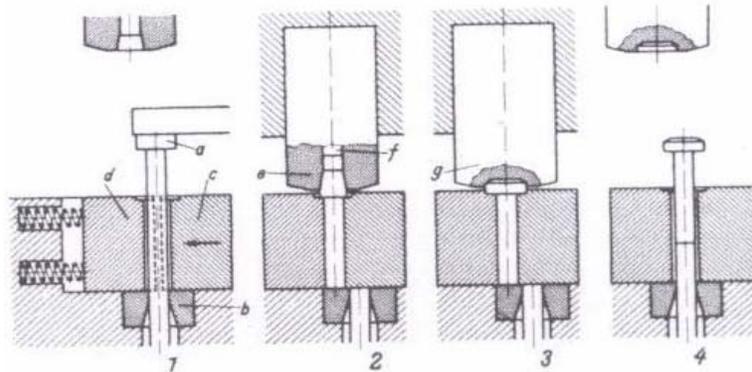
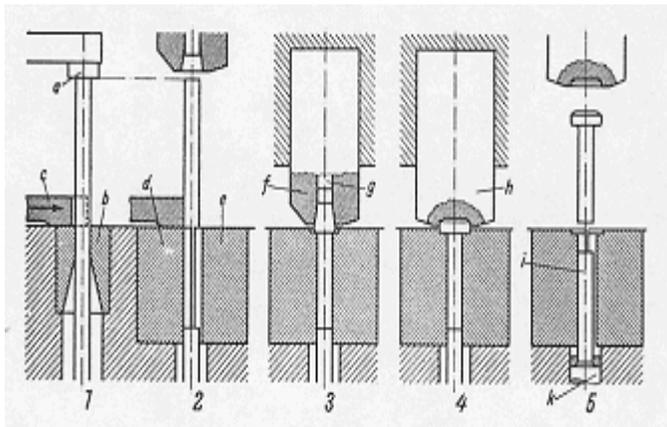


FIG 3-4 ESQUE MA DE TRABAJO DE UNA PRENSA EN FRIO DE DOBLE COMPRESION  
(MAQUINA DE MORDAZA CON CUCHILLA DE MORDAZA)

Las prensas en frío con herramienta divididas y cizalla, cuya forma de trabajo se representa esquemáticamente en la figura 3-5, trabajan también con una mordaza fija y otra móvil.



- 1 Introducción del material y corte
- 2 Transporte del trozo del material a las mordazas
- 3 Introducción del trozo en las mordazas
- 4 Recalado de acabado
- 5 Apertura de las mordazas y expulsión

- a Tope
- b Matriz de cizallamiento
- c Cuchilla
- d Mordaza fija
- e Mordaza móvil
- f Prerecaldador
- g Vástago expulsor
- h Estampa
- i Expulsor
- k Perno de expulsión

FIG. 3-5. ESQUEMA DE TRABAJO DE UNA PRENSA EN FRIÓ DE DOBLE EFECTO (MAQUINA DE MORDAZAS CON CIZALLA).

Se lleva ante las herramientas transversales a la dirección de recalado y luego se introduce en las mordazas abiertas.

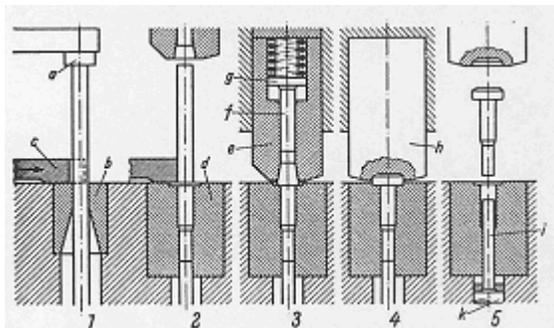


FIG. 3-6 ESQUEMA DE TRABAJO DE UNA PRENSA EN FRIÓ DE DOBLE EFECTO (MAQUINA MATRIZ).

- 1 Introducción del material y corte
- 2 Transporte del trozo del material ante la matriz
- 3 Introducción del trozo en la matriz y prerecalado
- 4 Recalado de acabado
- 5 Expulsión

- a Tope
- b Matriz de cizallamiento
- c Cizalla
- d Matriz (matriz de reducción)
- e Prerecaldador
- f Vástago expulsor
- g Perno expulsor
- h Estampa
- i Expulsor
- k Perno de expulsión

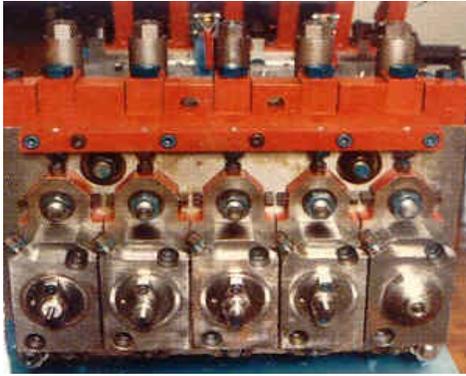
De modo semejante se realiza la alimentación y el corte del material en las prensas en frío con matriz cerrada (figura 3-6).

En este caso las longitudes de espárrago no han de sobrepasar normalmente 8 a 10 veces el valor de su diámetro, mientras que no se de limite inferior. Para la fabricación de componentes automotrices se propone un tipo de prensa en frío que se caracteriza por el diseño especial del transporte de piezas en sus distintas fases de conformado.

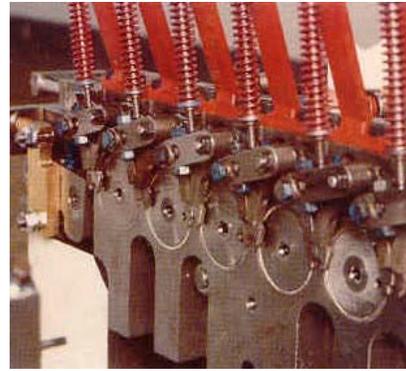
En esta prensa de varias fases con sistema de trasferencia mecánico transversal están dispuestas varias matrices, una al lado de otra en sentido horizontal en el cuerpo de la maquina, con cada vez una estampa frente a las herramientas situadas en el carro de conformado. Todas las matrices están equipadas con expulsor.

Las piezas a conformar se transportan de una herramienta a otra transversalmente a la dirección del recalcado hasta llegar a la última fase de trabajo. Con cada carrera de la maquina se termina una pieza, independientemente de las fases necesarias de modo que las prensas de transporte transversal son especialmente adecuadas para la fabricación de piezas de forma complicada que requieren varias fases de recalcado o bien varias reducciones.

La figura 3-7 muestra la disposición de las herramientas de tal maquina con la que pueden realizarse seis fases de trabajo simultáneamente incluido el corte del alambre.



PUNZONES



MATRICES

FIG. 3-7 DISTRIBUCION DE LAS HERRAMIENTAS EN UNA MAQUINA CONFORMADORA EN FRIO DE VARIAS FASES CON TRANSPORTE TRANSVERSAL

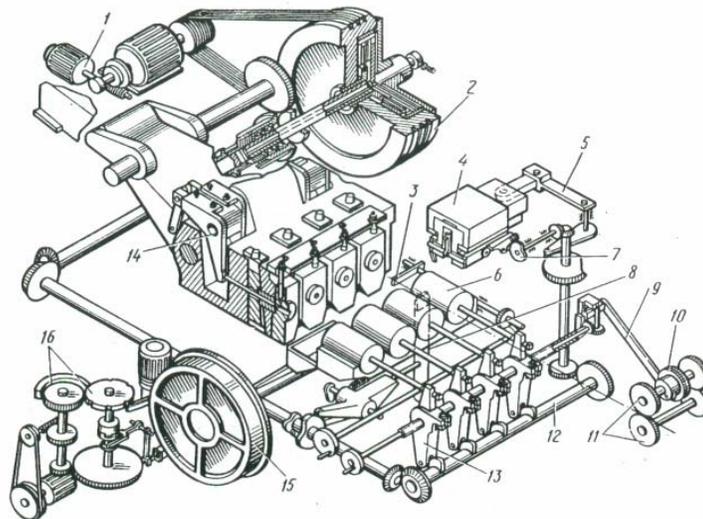


FIG. 3-8 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE UNA PRESNA PARA PERNOS ("BOLTMAKER") (NATIONAL MACHINERY CO., TIFFIN/OHIO).

La construcción básica de estas maquinas especiales que reúnen todas las fases de trabajo para la fabricación de piezas especiales se ven en la figura 3-8.

El corte del alambre, el recalado previo y de acabado de la pieza en bruto, el desbarbado para conseguir la forma definitiva de la pieza, la extrusión del espárrago, el ángulo de la punta y el laminado de la rosca, se ejecutan con la misma maquina simultáneamente, de modo que a cada golpe de la maquina corresponde un producto acabado.

La figura 3-9 muestra una conformadora Boltmaker de tamaño medio desde el lado de introducción del alambre.



FIG. 3-9. VISTA DE LA PRENSA BOLTMAKER DESDE EL LADO DE INTRODUCCIÓN DEL MATERIAL. PRODUCE 250 PIEZAS M10 (3/8") POR MINUTO. (NATIONAL MACHINERY CO., TIFFIN/OHIO).

El proceso de transporte transversal de estas maquinas se realiza primero mediante una uña especial transportadora y luego mediante sujetadores en forma de tijeras (figura 3-10) estos están dispuestos sobre un carro movido por un eje vertical mandado por levas a través de una rotula. Los sujetadores se abren y se cierran mediante levas y muelles de tracción.

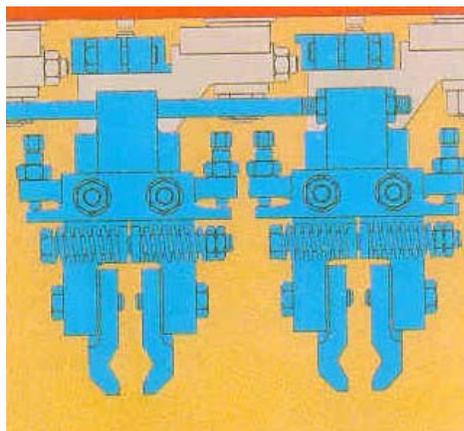


FIG. 3-10. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL DISPOSITIVO DE TRANSPORTE TRANSVERSAL EN UNA PRENSA BOLTMAKER.

### 3.2 Conformadoras horizontales de varias fases. [4]

Hay prensas con una fase de corte de material, dos matrices y tres punzones en las que pueden realizarse operaciones de recalcar, extruir, y desbarbar en distintas secuencias y combinaciones.

La combinación de la extrusión y el recalado permite la fabricación de piezas de forma con considerables diferencias de diámetro. Para ello son adecuadas precisamente estas prensas de triple efecto con dos matrices.

Estas prensas de varias fases se construyen hoy en día con una fase de corte y desde 3 hasta 7 fases de conformación. El rendimiento es muy grande y es, según la fuerza nominal y el tamaño de las piezas, desde 60 hasta 300 piezas/min. La introducción del material de partida en forma de alambre o de barra se realiza mediante rodillos (figura 3-11). Estos se accionan mediante ruedas dentadas a través de una marcha libre que ocasiona el giro por pasos en una dirección.

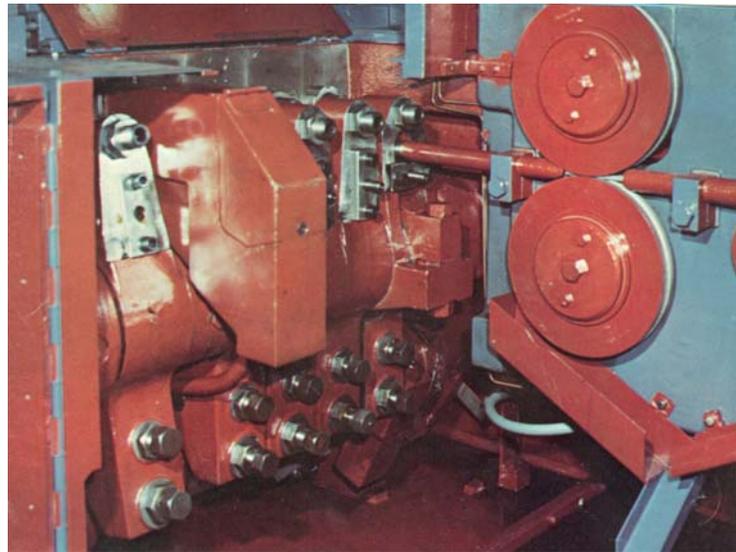


FIG.3-11 RODILLOS DE ALIMENTACION DE ALAMBRE

Su carrera de accionamiento es ajustable un acoplamiento por aire comprimido, unido con una marcha libre, permite la conexión y la desconexión del avance del alambre.

Los rodillos de introducción llevan el alambre por pasos a la estación de cizallamiento. Aquí se corta la longitud necesaria mediante el dispositivo correspondiente.

**¡Error!**

Las piezas de forma se expulsan de las matrices mediante pernos y luego las sujetan las mordazas transportadoras; la carrera de los pernos se ajusta individualmente en función de la pieza de forma, sin intercambiar las levas expulsoras. El momento de funcionamiento de todos los expulsores se ajusta en común. Debido a ello las piezas forjadas no se extraen de las matrices por los punzones que retroceden sino que se introducen en las mordazas transportadoras. Estos expulsores pueden ajustarse también individualmente para cada una de las fases de conformación.



FIG.3-12 MORDAZAS TRANSPORTADORAS CON UNIDADES GIRATORIAS

Para piezas huecas cortas, que exigen en ambos lados frontales una calidad superior de superficie, pueden proveerse mordazas que, en el transporte de una estación a la otra, giran las piezas.(figura 3-12)

Empleando distintos sistemas de mordazas, las prensas de varias fases pueden utilizarse universalmente.

La figura 3-13 muestra el espacio para las herramientas en una prensa de varias fases. El montaje de las herramientas en un conjunto se realizan fuera de la maquina.

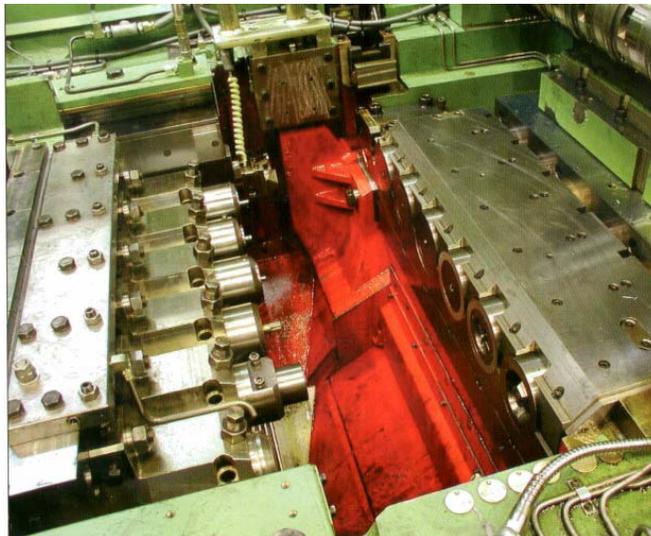


FIG. 3-13 ESPACIO PARA LAS HERRAMIENTAS EN UN ESPACIO DE VARIAS FASES

## **CAPITULO 4**

### **MATRICES PARA EL CONFIORMADO EN FRIO (HERRAMIENTAS)**

## CAPITULO 4

### MATRICES PARA EL CONFIORMADO EN FRIO (HERRAMIENTAS)

#### 4.1 Influencia de las herramientas en la manufactura [10]

La gran capacidad de producción de las modernas conformadoras en frío solo puede aprovecharse totalmente cuando se dispone de herramientas que duran tanto que se evita el cambio frecuente de las misma.

La vida útil de las herramientas influye no solamente en la capacidad de producción de las maquinas, sino también en la exactitud de las medidas y la calidad de la superficie de las piezas terminadas. Junto a los aspectos *técnicos*, que por lo que se refiere a una mayor producción de la maquinaria y mejora en la exactitud de la pieza hacen que sea de suma importancia el análisis de las herramientas.

En el forjado de metales difíciles de trabajar, los costos de herramientas pueden llegar a sobrepasar el 50% del costo total. De estas consideraciones se deduce la necesidad de estudiar el problema de las herramientas bajo dos puntos de vista, tomando medidas para:

- Realizar el mejor diseño de herramientas, para asegurar tanto las características geométricas de las piezas, como la exactitud de sus dimensiones y al mismo tiempo, obtener la mayor duración de las mismas.
- Reducir costos de fabricación de las herramientas.

#### 4.2 Esfuerzos sobre las herramientas

El esfuerzo a que se encuentra sometida una herramienta durante el recalado y extrusión, depende de un gran número de esfuerzos parciales, que generalmente, aparecen simultáneamente. La distribución de estos esfuerzos depende principalmente de las deformaciones en cada una de las fases de

trabajo. Una mayor rapidez en la sucesión de fases de trabajo, una mayor precisión y el empleo de materiales de partida de difícil conformación, son factores que influyen para aumentar las condiciones que deben cumplir las herramientas. Según sus características principales, pueden agruparse en esfuerzos de tipo mecánico y esfuerzos térmicos.

#### **4.2.1 Esfuerzos mecánicos**

Cada uno de los distintos procedimientos de trabajo requiere de las herramientas, características muy distintas. Las fuerzas ocasionadas en la conformación llevan principalmente a un esfuerzo dinámico. Cada una de las herramientas esta expuesta a los distintos esfuerzos de tracción, compresión, flexión y torsión, que pueden tener efecto también simultáneamente.

En el caso del conformado en frío, el esfuerzo es casi siempre por impacto. Por lo tanto, las herramientas deben ser muy tenaces. Además, algunas partes de las herramientas están expuestas al desgaste, de modo que deben cumplir con determinadas características de diseño, estructura, dureza y calidad de superficie.

#### **4.2.2 Esfuerzos Térmicos**

Los esfuerzos térmicos no se ejercen sobre las herramientas únicamente en la conformación en caliente, sino también en grado menor en el conformado en frío. La temperatura de la herramienta en las prensas en frío aumenta al crecer el número de golpes por minuto.

#### **4.2.3 Duración de las herramientas**

El rendimiento de las herramientas es distinto según los diversos procedimientos de trabajo. También cada una de las distintas herramientas de conformación de una maquina tienen una duración distinta.

Los principales factores que influyen sobre la vida útil de las herramientas se indican en la tabla 4-1

Herramienta	Pieza forjada	Material de partida	Modo de trabajo de la maquina	Otras influencias
Material utilizado para la herramienta	Forma y dimensión de la pieza	Resistencia a la deformación	Clase de conformación	Estado de la maquina
Tratamiento térmico	Tolerancias prescritas	Exactitud de medidas	Temperatura de conformación	Montaje de las herramientas
Geometría y forma de la herramienta	Magnitud de la conformación	Estado superficial	Velocidad de trabajo	Lubricante
Calidad de fabricación	Grado de conformación		Refrigeración de la herramienta	

TABLA 4-1 FACTORES DE INFLUENCIA SOBRE LA DURACION DE LAS HERRAMIENTAS DE CONFORMADO EN FRIO

El rendimiento de la herramienta depende en primer lugar de la exactitud de medidas exigidas por el diseño del producto, así como de su forma, dimensiones y de las características del acero utilizado.

Cuanto más restringidas sean las *tolerancias de medida* admisibles y cuanto más difíciles las *formas* a fabricar, tanto mas se reducen los tiempos de duración de las herramientas.

Otra característica cuya influencia puede ser de gran importancia para la duración de las herramientas, es el *estado de las maquinas utilizadas* y el montaje correcto de las herramientas. Además, una elevada resistencia a la deformación del material utilizado, reduce el rendimiento de las herramientas.

Otro factor de mayor importancia es el estado superficial de los materiales de partida utilizados en el procedimiento de la *conformación en frío*.

El rozamiento que existe entre el material y la herramienta, influye aumentando el desgaste de la herramienta, de manera que es necesario resolver el problema de reducir las fuerzas de rozamiento. Por este motivo, los materiales para conformado en frío deben protegerse contra la corrosión, ya que el óxido puede dañar las matrices.

Asimismo, una adecuada lubricación sobre los materiales utilizados, alarga la duración de las herramientas de trabajo en frío. Pero entonces se debe cuidar que no penetre demasiado aceite entre las piezas a recalcar y las herramientas, ya que en dicho caso se impiden un flujo total del material y la formación de cantos vivos.

Las causas de tiempo de duración demasiado cortos, desgaste prematuro o rotura de las herramientas, también pueden hallarse en la propia herramienta. Pueden ser de tipo mecánico o bien debido a una incorrecta elección del material y a un tratamiento térmico equivocado. Así, los errores en el diseño de las herramientas, como por ejemplo, cambios de sección demasiado bruscos, y las grietas de afilado o grietas térmicas son causa de una rotura prematura de la herramienta.

Los sobreesfuerzos o sobrecargas unilaterales también dan lugar, en muchos casos, a que la herramienta quede inservible. Por último, los tratamientos térmicos inadecuados, como por ejemplo temperatura de enfriamiento brusco, o

bien un temple irregular, pueden considerarse como causas de la formación de grietas.

También el *grado de conformación* elegida en cada una de las fases de conformación tiene influencia sobre la duración de las herramientas. Disminuyendo la conformación, es decir el grado de conformación, e intercalando una fase adicional, puede aumentarse en muchos casos la duración de las herramientas.

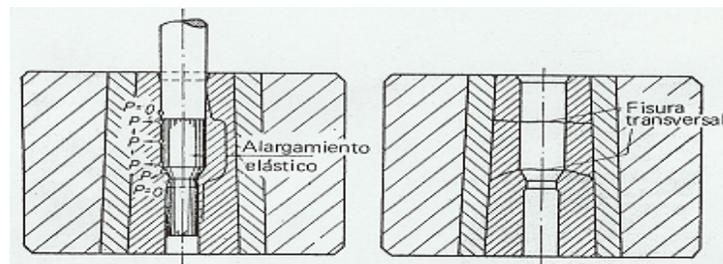


FIG.4-1 ESFUERZO A LA FATIGA (ESQUEMÁTICA) DE UNA MATRIZ DE EXTRUSIONADO (SEGÚN SIEBER)

En caso de una sobrecarga continua aunque relativamente pequeña debido a un grado de conformación demasiado alto, se presentan roturas a la fatiga después de haber alcanzado cantidades mas elevadas de piezas. La figura 4-1 muestra una matriz reduciendo un material y la causa de la rotura.

La sección de la cabeza de la pieza en donde se aplica la fuerza de conformación, ejerce por ejemplo, una alta presión interior sobre la pared interior de una matriz de extrusión que a la altura de la superficie frontal del punzón disminuye sin transición y a la altura del cono de extrusión disminuye hasta llegar a cero.

Esta deformación elástica continua ocasiona, especialmente en los metales sinterizados, una fatiga del material y finalmente fisuras transversales anulares en los puntos de transición bruscos de la línea de dilatación. Tales roturas a la fatiga se presentan principalmente, al efecto de entalla, en el punto de



Existen distintas posibilidades para obtener piezas recaladas en frío con formas cilíndricas como muestra la figura 4-2.

**4.3.2 Agujeros para salida de aire**

Cuando se fabrican piezas que requieren formas con cantos vivos, por ejemplo con uniones a 90° o salientes cuadrados, así como el relleno de perfiles profundos, causa, en general, grandes dificultades ya que el aire no puede escapar y permanece en parte encerrado en la herramienta formando una cámara de aire.

Por lo tanto, en estos casos, ha dado buen resultado el diseño con agujeros de salidas de aire en los punzones de recalcar y las matrices.

Algunos ejemplos de aplicación se indican en las figuras 4-3 y 4-4, figuras, que permiten observar también las distintas disposiciones que pueden tomar los canales de salidas de aire.

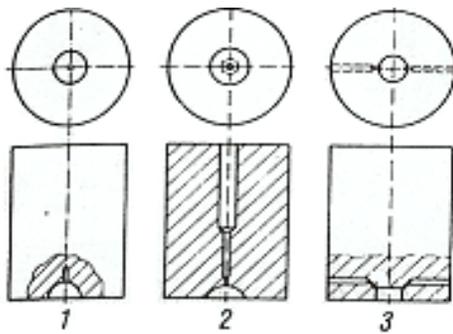


FIG. 4-3 EJEMPLOS DE EJECUCIÓN PARA PUNZONES DE RECALCAR CON CANALES DE PURGA DE AIRE.

- 1 Formas simétricas con agujero de aire cerrado
- 2 Formas de casquete esférico con agujero de aire pasante vertical.
- 3 Forma cilíndrica con agujeros de aire con salida lateral.

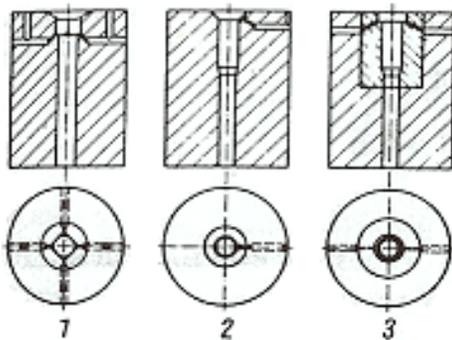


FIG. 4-4 EJEMPLOS DE EJECUCIÓN PARA MATRICES DE RECALCAR CON CANALES DE AIRE.

- 1 Herramientas para cabezas avellanadas con saliente cuadrado
- 2 Matriz de reducción para tornillos avellanados con saliente
- 3 Matriz de reducción con caja para tornillos con cabeza cilíndrica de cantos vivos.

### 4.3.3 Armado de herramientas

En la conformación en frío cada pieza se conforma entre el punzón y la matriz. En este proceso la matriz esta sometida a los esfuerzos interiores que actúan en su parte interna, y el punzón por la cara superficial específica. En los punzones se pueden presentar roturas por fatiga antes, debido a los esfuerzos por flexión adicionales que se presentan siempre en punzones muy largos.

### 4.3.4 Los diseños más usuales de herramientas en el recalado y prensado en frío

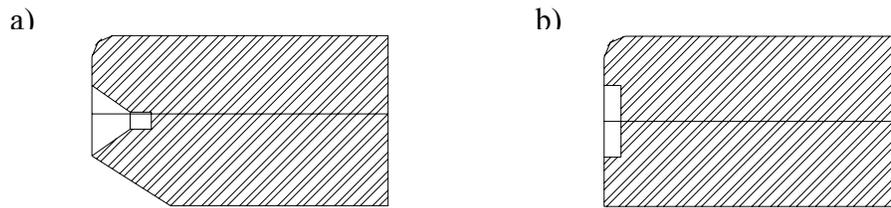


FIG. 4-5 a) PRERECALCADOR

b) PUNZON DE RECALCART

En la figura 4-5 se muestran ejemplos de los punzones de recalcar más usuales para el recalado en frío..

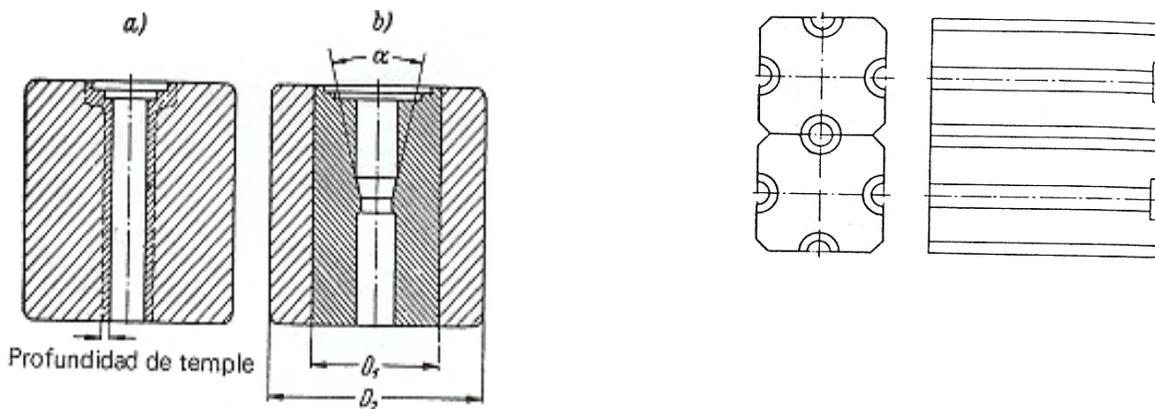


FIG.4.6 MATRICES CERRADAS

FIG. 4-7 MORDAZAS DE RECALCAR DIVIDIDAS

Las figuras 4-6 y 4-7 se muestran las matrices más usuales para el recalado en frío. Se utilizan matrices cerradas y abiertas. Las matrices abiertas, son mordazas cuadradas con canales semicilíndricos en cada lado, cuya dimensión depende del diámetro del material. Este tipo de matrices se utilizan principalmente en la fabricación de piezas muy largas.

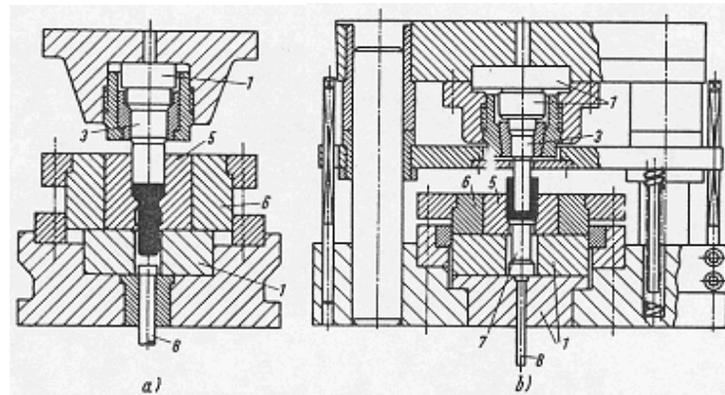


FIG. 4-8 DISTRIBUCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS EN EL EXTRUCIONADO.

- a) Extrusionado hacia adelante macizo
- b) Extrusionado hacia atrás a la copa.
  - 1) Placa de compresión
  - 2)
  - 3) Punzón
  - 4) Mandril
  - 5) Caja de prensado
  - 6) Anillo de apriete (armadura)
  - 7) Contrapunzón
  - 8) Exulsor

La figura 4-8 muestra en el lado derecho una matriz usual para la extrusión hacia atrás, y del lado izquierdo muestra una distribución usual de las herramientas para la extrusión hacia delante. En las matrices de extrusión hacia adelante tanto las paredes internas de la guía del material como el cono de reducción del área están sometidos a grandes esfuerzos y por esta razón se recomiendan determinadas medidas y formas geométricas como se indican en la figura 4-9. En las matrices de extrusión hacia atrás el punzón de prensar está sometido a grandes presiones, de modo que los valores indicados en la figura 4-10 se recomiendan para el diseño.

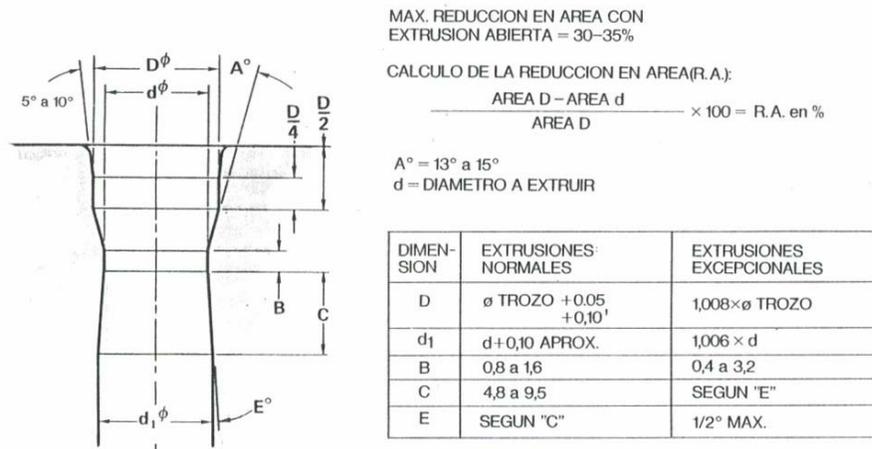
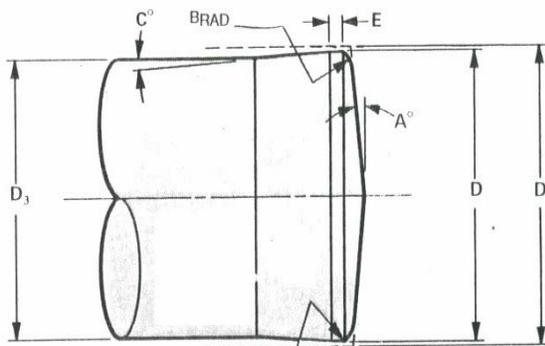


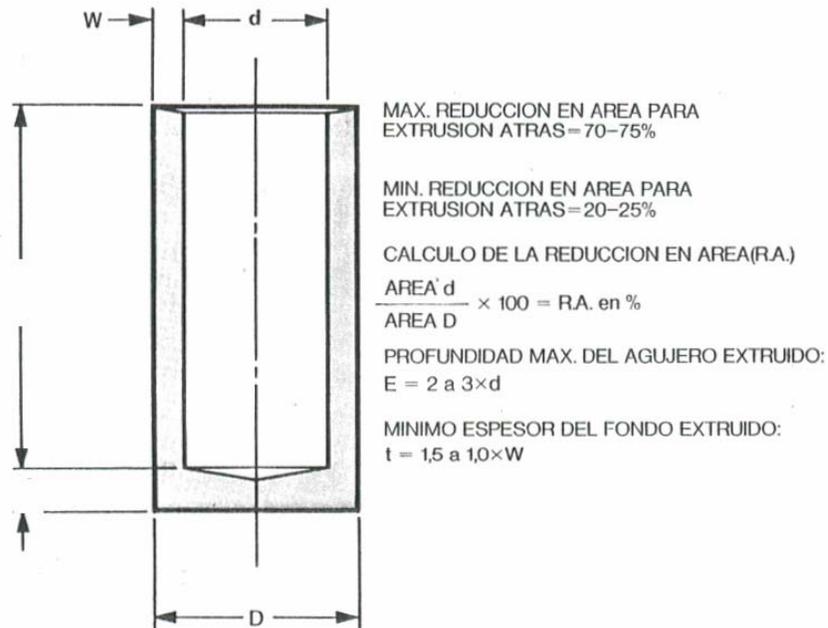
FIG. 4-9 VALORES ORIENTATIVOS PARA EL DISEÑO DE LA CAJA DE PENSADO PARA EXTRUSION HACIA DELANTE



$A^\circ = 6^\circ \text{ a } 15^\circ$   
 $B = 0,50 \text{ a } 1,50$   
 $C^\circ = 3^\circ \text{ a } 5^\circ$   
 $D = \phi$  AGUJERO EXTRUIDO  
 $D_2 = D + 0,25/0,30$   
 $D_3 = D - 0,20/0,25$   
 $E = 0,8 \text{ a } 1,6$

FIG. 4-10 VALORES RECOMENDADOS PARA EL DISEÑO DEL PUNZON DE PENSADO EN EL EXTRUSIONADO HACIA ATRÁS

En los punzones para extrusión hacia atrás, una rotura por fatiga, debida al esfuerzo de flexión, que siempre existe en los punzones más largos, se presenta más pronto cuando la relación entre la profundidad del agujero y su diámetro ( $h/d$ ) siendo  $h$  la profundidad del agujero y  $d$  el diámetro interior del agujero sobrepasa ciertos limites.



4-11 VALORES LIMITES PARA LA EXTRUSION HACIA ATRAS

## 4.4 Manufactura de las herramientas [10]

### 4.4.1 Fabricación con arranque de viruta

La proceso mas conocido y usual para la fabricación de las herramientas es mediante el proceso con arranque de viruta como torneado, cepillado, perforado fresado, rectificado y electro erosionado.

El método mas sencillo para la fabricación de *matrices* redondas, es cortar la barra de acero a una longitud de acuerdo a las dimensiones finales de la matriz, torneare el diámetro exterior dándole una dimensión ligeramente mayor a la dimensión de acabado con el fin de rectificar después del tratamiento térmico debido a que se presentan deformaciones durante el temple, mismas que se eliminaran con el rectificado final. Posteriormente se perfora con un diámetro menor al diámetro definitivo requerido después del templado y revenido mediante rectificado.

Al utilizar aceros de temple al agua, se debe considerar que la superficie interna sufre deformaciones en el temple, ocasionando variaciones en su diámetro. Sin embargo, en muchos casos se observa lo contrario; de modo que, para evitar desperdicios, el diámetro mínimo del agujero ha de elegirse, por lo menos, tan grande como la variación máxima de diámetro que puede producirse en el temple.

Para los punzones de recalcar redondos, se corta también la longitud deseada partiendo de barras redondas, obteniendo la pieza en bruto en el torno. En la fase siguiente de trabajo se realiza el perfil del punzón.

#### **4.4.2. Medidas para economizar acero para herramientas**

Se hablo ya anteriormente de la posibilidad de economizar acero para herramientas de alta calidad, utilizando camisas o envolturas de acero para herramientas no aleado o bien acero para temple y revenido de baja aleación. Estas medidas de ahorro han dado buen resultado sobretodo en las herramientas para trabajo en caliente. Las figuras 4-12 y 4-13 muestran como ejemplos herramientas para el recalado de tornillos hexagonales y tirafondos, construidas bien como herramientas macizas o bien como herramientas armadas con envolturas ensambladas en prensa.

#### **4.4.3. Fabricación de herramientas mediante conformación**

En el desarrollo de la fabricación es característico que se utilice cada vez más la conformación sin arranque de viruta en lugar del mecanizado de los perfiles de herramientas con arranque de viruta. Sobre todo, en la fabricación de las herramientas para la fabricación en serie de piezas de forma, para la que se necesita un gran numero de herramientas siempre iguales, el estampado o troquelado de las formas ha dado muy buenos resultados.

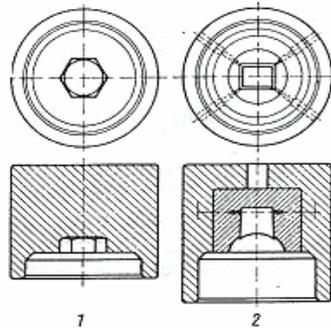


FIG. 4-12 FORMA DE PUNZONES PARA RECALCAR  
PARA PRENSAS DE FRICCIÓN.

1 Herramienta maciza

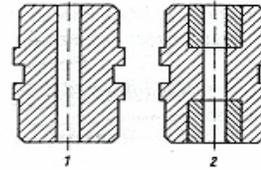


FIG. 4-13 FORMAS DE MATRICES DE  
RECALCAR PARA PRENSAS DE  
FRICCIÓN.

Este procedimiento, que es aplicable tanto para la fabricación de punzones para recalcar como para el estampado de las matrices, y en las formas de las herramientas se estampan en caliente o en frío, no solo ofrecen ventajas económicas, ya que con ello se ahorran gran parte del mecanizado con arranque de viruta, sino que se obtiene también una mayor duración de las herramientas porque las herramientas fabricadas sin arranque de viruta ofrecen una estructura mas compacta y un recorrido de las formas mas ventajoso que la herramientas formadas con arranque de viruta.

#### 4.4.3.1. Prensado en caliente

Este procedimiento, previamente se trabaja el acero por arranque de viruta para calentarlo seguidamente a la temperatura de forjado, de acuerdo a su composición. Luego se le envuelve con un aro de bandaje frío o bien se le coloca un dispositivo adecuado y se obtiene la forma adecuada prensando lentamente a una velocidad de unos 5 hasta 10 mm/s.

En la fabricación del punzón, que ha de ser acero resistente al revenido, altamente aleado, ha de tenerse en cuenta también la contracción de la herramienta que es el orden del 1,3 hasta 1,6 %, que ha de sumarse a los valores de contracción usuales en las herramientas para trabajo en caliente.

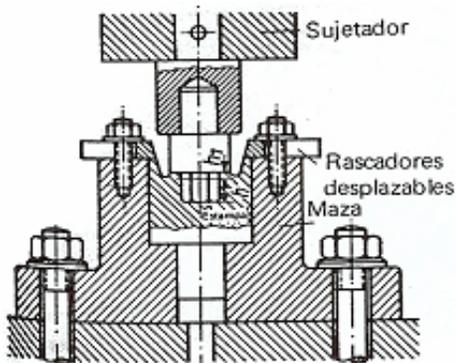


FIG. 4-14 ESTAMPADO EN CALIENTE DE UN PUNZÓN DE RECALCAR PARA CABEZAS HEXAGONALES.

La figura 4-14 muestra, como ejemplo, la fabricación de un punzón para recalcar mediante prensado en caliente sobre una prensa de husillo.

Un cuidado especial requiere el calentamiento de las herramientas en bruto. Debe tenerse en cuenta también que el acero de las herramientas se descarbura o forma cascarilla con facilidad durante el calentamiento o el prensado, a no ser que se tomen medidas adecuadas.

En una herramienta fabricada según este procedimiento, el perfil no requiere ya más que un pulido final. El acabado de la forma exterior de la herramienta se obtiene mediante arranque de virutas.

#### 4.4.3.2. Prensado en frío.

Este procedimiento es adecuado tanto para herramientas de recalcar y prensar en frío como para herramientas de trabajo en caliente. En determinados casos es apropiado también el prensado semicaliente a una temperatura de 500°C aproximadamente.

Para realizar el prensado en frío de las herramientas se utiliza un *dispositivo especial* (figura 4-15) cuya parte superior sirve para guiar el punzón de conformado, y en la parte inferior esta colocado un anillo de centrado intercambiable que se adapta a las distintas dimensiones de las herramientas.

Este dispositivo puede contar también con guías de columna para garantizar una posición exacta y centrada de las herramientas y evitar una inclinación durante el proceso de troquelado.

El diámetro interior de los dados es algo menor que el diámetro definitivo de las herramientas para compensar el movimiento elástico de estas después de ser expulsado del dispositivo de prensado. Esta medida por defecto depende del desplazamiento de material que se produce en el troquelado; es de unos 0,05 mm en perfiles pequeños y de unos 0,2 mm en perfiles mayores.

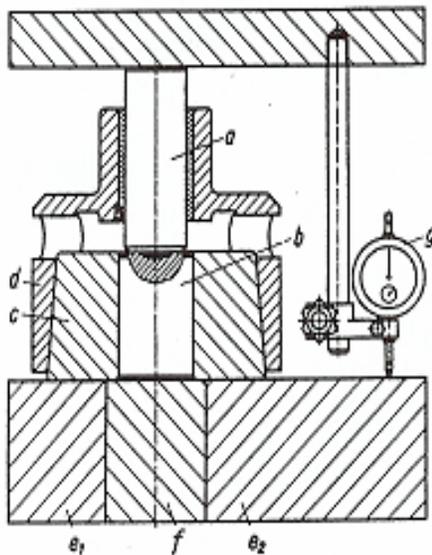


FIG. 4-15 DISPOSITIVO PARA EL ESTAMPADO DE HERRAMIENTAS PARA RECALCAR EN FRÍO.

- a) Estampado u troquel
- b) Herramienta de recalcar
- c) Aro de centrado
- d) Campana de guía
- e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>) Apoyos fijos
- f) Pieza intermedia de base desmontable

*El modo de trabajo* de tal dispositivo se ve en la figura 4-16 tomado como ejemplo un punzón de estampado. Ha de vigilarse que la cara frontal de la herramienta en bruto coincida, a ser posible, con el canto superior de la matriz, ya que con una herramienta a mayor altura se formaría un bordón en el proceso de estampado, que dificultaría la expulsión subsiguiente. Esta última fase de trabajo no ha de realizarse, ha ser posible, con la estampa, sino con punzón de expulsión.

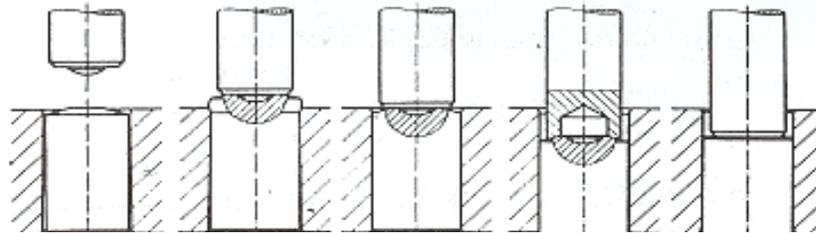


FIG. 4-16 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL ESTAMPADO EN FRIÓ DE UN PUNZÓN DE RECALCAR.

1 Colocación del dispositivo

2 Estampado de la forma de recalcaro:

a Formación de un rebordo al sobrepasar la herramienta en bruto el anillo de centrado

b Forma uniforme de la herramienta al quedar al nivel la cara frontal de la pieza en bruto con el anillo de centrado

3 Expulsión del punzón para recalcar estampado:

a presionando en dirección de estampado

b Presionando en dirección opuesta

La velocidad de conformación tiene que ser lo mas baja posible. Según la forma y las dimensiones de la pieza a recalcar y según el acero de herramienta utilizado, la velocidad de estampado tienen que mantenerse entre 0,1 y 10 mm/min. Aproximadamente; una velocidad media de unos 3 mm/min es en general la más adecuada. Esto debe de tenerse en cuenta en la elección de la prensa de estampar.

#### 4.4.4. Fabricación de herramientas mediante electro erosión.

En el erosionado térmico del material a elaborar se quita localmente mediante intercambio de carga entre el material y un medio actuante. Para la fabricación de herramientas ha tenido mayor aplicación en la práctica el troquelado erosivo por chispa; otros procedimientos se aplican solamente en casos especiales.

La gran ventaja de la erosión por chispas se halla en el hecho de que

- la mecanización se realiza en la pieza ya templada; por lo tanto se evitan deformaciones y grietas de temple,
- se trabaja sin contacto;
- el electrodo de herramienta es de un material que se trabaja bien, tal como el cobre, grafito, etc.

- En caso de la elaboración de formas interiores los electrodos de herramientas se fabrican mediante la mecanización externa mas sencilla,
- Se obtienen tiempos de mecanización más cortos y costos de fabricación mas reducidos.

#### **4.5. Materiales para herramientas [8] [10]**

Como materiales se emplean hoy en día aceros y materiales de carburo de tungsteno. Los aceros deben presentar, en primer lugar, una gran *tenacidad* así como resistencia al desgaste.

Además, los aceros empleados no deben presentar ningún defecto, no contener segregaciones, inclusiones de escoria ni rechupes; estos darían lugar a grietas causando la rotura permanente de la herramienta. Deben tener un determinado grado de pureza; su contenido de elementos de aleación no deseadas e impurezas debe de ser mínimo.

##### **4.5.1. Criterios para la elección del acero**

Para la elección del acero de herramientas adecuado se puede partir de varios puntos de vista, que no son solamente de tipo puramente técnico sino también económico. En este sentido tiene importancia por ejemplo el *número de piezas* a conformar.

La elección del acero depende, además, del *material de partida a elaborar*; en la conformación de los aceros aleados las exigencias con relación a la herramienta son mayores que en los casos de fabricar aceros sin alear, o metales no ferrosos.

También el *procedimiento de conformación* aplicado y el *modo de trabajo de la maquina* tiene influencia sobre la determinación del acero de herramientas apropiado; en este caso juegan un importante papel, en primer lugar, la

temperatura de conformación, el tipo de conformación principal que se presenta, la magnitud de la conformación y la velocidad de conformación.

Además, tiene que tenerse en cuenta la forma de *la herramienta*; las herramientas planas cuya superficie no debe de rellenarse, requiere otro tipo de acero que las herramientas profundas para las cuales a de exigirse una tenacidad mucho mayor.

También la exactitud de medidas de las piezas acabadas puede influir sobre la elección del acero; en la fabricación de piezas de alta calidad con tolerancias estrechas es necesario establecer mayores exigencias respecto a la resistencia al desgaste del acero de herramientas que en la fabricación de piezas en masa en bruto.

#### **4.5.2. Aceros de herramientas para la conformación en frío.**

Las herramientas necesarias para el conformado en frío pueden fabricarse con aceros sin alear o con aceros aleados (aceros para trabajo en frío).

En esto hay que distinguir entre aceros de temple superficial y de temple total. Con aceros de temple superficial (temple al agua, temple al chorro de agua) se obtienen herramientas con alta resistencia al desgaste y cierta tenacidad, pero escasa resistencia a la compresión.

En la tabla 4-1 se indican los aceros mas usuales de temple total para la conformación en frío; se distinguen por su tenacidad y su resistencia a la compresión y el desgaste.

Los aceros rápidos y los aceros al cromo del 12% son aceros al temple total para las dimensiones que entran en cuenta en este caso y presentan las máximas resistencias a la compresión y al desgaste para valores de dureza mas elevados.

## 4.6. Tratamientos térmicos de las herramientas

El rendimiento de un acero de herramienta solo se puede aprovechar completamente con un tratamiento térmico adecuado

### 4.6.1. Recocido

Ha dado buenos resultados someter a un tratamiento de recocido los aceros de las herramientas antes de su fabricación, así como las herramientas antes del temple. Para ello las piezas se calientan lenta y totalmente en ambiente hermético; el calentamiento ha de llevarse a cabo tanto más lentamente cuando mayor sea el contenido de elementos de aleación del acero.

### 4.6.2. Temple

Se recomienda, que debido a la conductividad térmica de los aceros para herramientas, calentarse lo mas lentamente posible cuando mas elementos de aleación tenga el acero.

Un calentamiento demasiado rápido da lugar, por lo tanto, especialmente en los aceros de mayor aleación, a un fuerte deformación y favorece la formación de tensiones y con ello de grietas de tensión. Por lo tanto, para lograr un calentamiento total y uniforme, las herramientas deben calentarse lentamente en una *cámara de precalentamiento* que esta por debajo de la temperatura de temple entre 400 y 600°C. También el calentamiento para el temple debe evitarse una *descarburación* o la *formación de cascarilla* en la superficie de la herramienta. Cuando se templan las herramientas, se deben mover durante unos 2 a 4 minutos en el baño de aceite, después se dejan en el mismo para que sigan enfriándose. El mismo procedimiento debe utilizarse en aceros de trabajo en frío, que se templan en aceite. En los aceros *templados al agua*, sin embargo, se obtiene con este procedimiento de trabajo un temple insuficiente e irregular en las superficie de trabajo. Por este motivo las superficies de trabajo

de los punzones de recalcar se enfrían mediante un fuerte chorro de agua (figura 4-17)

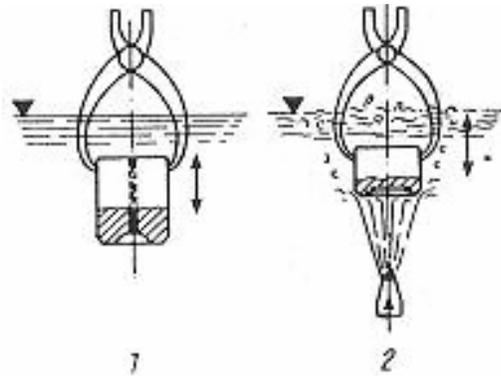


FIG. 4-17 TEMPLE DE PUNZONES PARA RECALCAR EN FRÍO.

- 1 Enfriado brusco de punzones en aceite
- 2 Enfriado brusco por chorro de agua.

En la figura 4-18 se indican tres formas sencillas de un dispositivo mediante el cual se enfrían las herramientas no en su totalidad, sino solo en las superficies de trabajo.

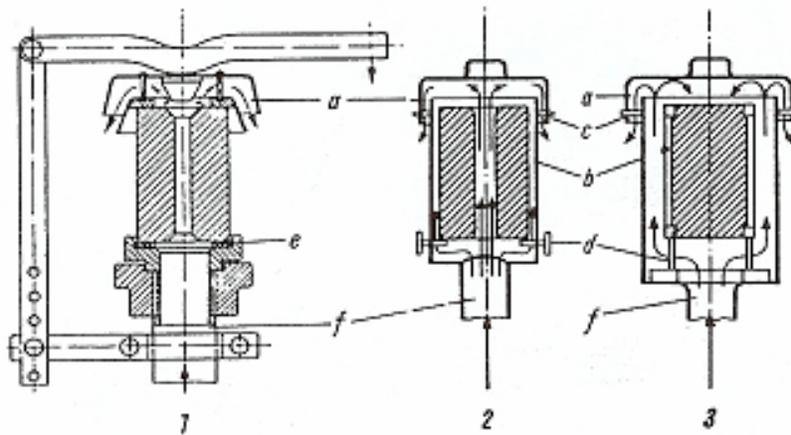


FIG. 4-18. DISPOSITIVO DE CHORRO PARA SENCILLO PARA EL TEMPLE DE MATRICES DE RECALCAR EN FRÍO Y MORDAZAS

- 1 Enfriado brusco del agujero de taladro
- 2 Enfriado brusco del agujero de taladro y enfriado parcial de la zona exterior
- 3 Enfriado brusco de las superficies exteriores de la mordaza

- a. Tapa
- b. Envoltente de chapa
- c. Bloqueo
- d. Pasadores de apoyo
- e. Junta de amianto

ACERO SEGÚN AISI	DUREZA DE TEMPLE Y REVENIDO (HRC)	CONFORMACIÓN EN CALIENTE (GRADOS C)
T1	59-62	1170-1000
M2	59-62	1150-1050
D2	58-62	1095-1010
O1	58-60	1065-980
S1	55-59	1120-1010
H13	48-52	1195-1040

TABLA. 4-2 ACEROS Y DUREZAS UTILIZADOS PARA LA FABRICACION DE HERRAMIENTAS PARA EL CONFORMADO EN FRIO

En la tabla 4-2 se indican valores de dureza que se obtienen con un tratamiento térmico correcto de la herramienta. En general, la dureza superficial que puede alcanzarse, aumenta algo al ser mayor la temperatura del temple.

Igualmente se obtiene con dimensiones menores una mayor dureza que en las herramientas de mayor tamaño.

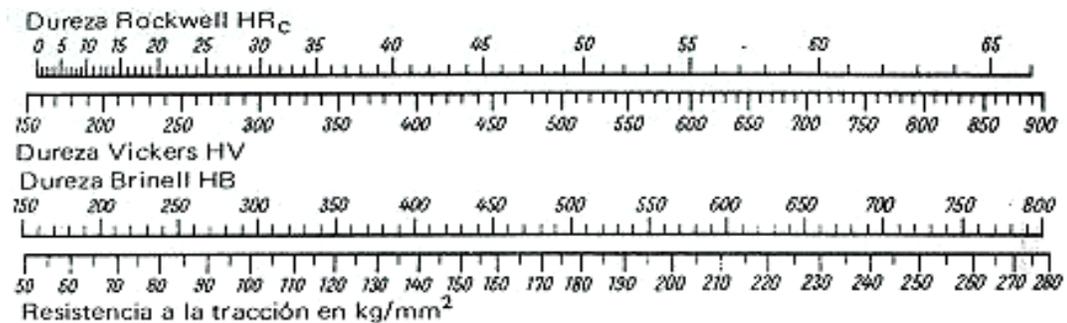


FIG. 4-19 ESCALA PARA EL CÁLCULO DE LA DUREZA VICKERS, BRINELL, ROCKWELL C Y DE LA TRACCIÓN EN ACEROS DE HERRAMIENTAS LA DUREZA VICKERS COINCIDE EN LA ZONA DE HASTA 400HV APROXIMADAMENTE CON LA DUREZA BRINELL.

Los valores de dureza correspondientes a los aceros de gran capacidad de temple, se indican en general, mediante la dureza de Rockwell C. La equivalencia con las demás escalas se obtiene fácilmente con ayuda de la escala indicada en la figura 4-19.

Los valores correspondientes para la dureza Rockwell, C Vickers Brinell y la resistencia a la atracción se han situado verticalmente uno debajo de otro.

#### **4.6.3. Revenido**

Mediante el revenido se aumenta la tenacidad y la elasticidad de las herramientas, disminuyéndose simultáneamente la dureza. Este tratamiento se debe realizar inmediatamente a continuación del temple, para que las tensiones debidas al enfriamiento brusco, que solo desaparecen lentamente, se elimine lo mas rápidamente posible mediante el revenido. Además, es conveniente no dejar enfriar totalmente las herramientas después del temple sino sacarla del baño de temple lo suficientemente calientes aun para que agua o el *aceite todavía* se evaporicen.

En el revenido se debe cuidar también que el calentamiento se *realice con suficiente lentitud*, ya que los aceros de las herramientas templados, sobre todo aceros aleados, son muy sensibles a un calentamiento demasiado rápido.

#### **4.6.4. Dureza de montaje de las herramientas**

La dureza o la resistencia que se obtiene con el revenido de las piezas depende, entre otras cosas, de la forma de las piezas a conformar así como del tipo del material empleado.

En *herramientas de trabajo en frío*, la dureza de montaje oscila entre unos 54 y 64 Rc. Las piezas pequeñas se hallan en el límite superior y las piezas mayores en el límite inferior.

#### **4.7 Tratamiento posterior de la superficie de la herramienta**

Actualmente, se ha demostrado que mejorando las características de las superficies de las herramientas es posible aumentar la vida útil de las mismas.

Por este motivo, es importante obtener superficies de trabajo de las herramientas lo más lisas posibles, ya que con ello la fuerza y el trabajo necesarios para la conformación es notablemente menor que con herramientas con superficie rugosa. Además el material puede fluir más fácilmente

#### **4.7.1. Pulido**

Por los motivos indicados, las herramientas para la conformación en frío, se pulen después del tratamiento térmico y del rectificado. En este caso, es recomendable asegurar, que todas las superficies de la herramienta a lo largo de las que fluye el material durante la conformación, obtengan la calidad superficial máxima posible. Aparte del menor desgaste, las herramientas tratadas de esta forma tienen también una mayor duración. Además las piezas conformadas presentan una superficie más lisa.

#### **4.7.2. Cromado duro**

Para alcanzar todavía un mayor rendimiento de las herramientas, se ha logrado aumentar la resistencia al desgaste de las superficies de trabajo, mediante el cromado duro.

Además de una resistencia al desgaste, las herramientas con este tratamiento tienen una buena capacidad de deslizamiento, dando lugar a un rozamiento pequeño; con ello se favorece la fluencia del material y, en parte, se disminuye también la fuerza necesaria para la conformación.

En las *herramientas de recalcar* en frío el cromado duro ha dado buenos resultados principalmente en todos aquellos casos que existen grandes esfuerzos de desgaste. En este caso pueden obtenerse aumentos de rendimiento que llegan hasta el triple y el cuádruplo. El cromado duro puede realizarse con todos los aceros.

El material de base debe revenirse a una dureza que quede unas 4 a 6 unidades Rc. más baja que cuando se utiliza una herramienta de dicha clase no

cromada. Las capas de cromo duro no deben depositarse con una dureza muy grande; más bien corresponde a una dureza Vickers de 750 a 800 HV, correspondientes a una dureza Rockwell de aproximadamente 62 a 63 HRc.

#### **4.7.3. Revestimiento de carburo de titanio**

El carburo de titanio tiene una dureza de unos 3800 HV, un reducido coeficiente de rozamiento y una tendencia muy pequeña a la soldadura en frío. Debido a su dureza muy elevada, el carburo de titanio es relativamente frágil; por este motivo el material de base tiene que llevar la capa y tendría que tener una dureza  $R_c > 60$ . El espesor de la capa depende del material de base y es de unos 5 a 20 micrones.

#### **4.8. Herramientas de carburo de tungsteno. [10]**

Como consecuencia del progreso en la fabricación y el empleo de metales sinterizados, desde hace tiempo se utilizan metales sinterizados como material de partida para la fabricación de herramientas para recalcar y extruir. Sin embargo han sido necesarios largos trabajos de estudio y desarrollo para obtener las condiciones necesarias y determinar las características que debía tener el material.

##### **4.8.1. Características y composición del carburo de tungsteno**

Al empleo del carburo de tungsteno en el campo de las herramientas de conformar se oponía, en primer lugar, la dificultad de que las clases de metal duro conocidas antes presentaban una gran dureza, pero no la suficiente tenacidad, por lo que, sometidas a esfuerzos de impacto, se rompían fácilmente. Solo en estos últimos años se ha logrado fabricar metales sinterizados que resisten también los grandes esfuerzos del recalado y prensado.

Se utiliza distintas clases de metales sinterizados constituidas a base de carburo de wolframio y cobalto, y que según los esfuerzos existentes, presentan una tenacidad y resistencia a la rotura suficientes.

La composición aproximada y las características de estos materiales sinterizados se indican en la tabla 4.2. Las aleaciones más duras se utilizan sobretodo para guarniciones de herramientas de reducción, en las que no existe un esfuerzo directo de impacto.

Tipo		composición		Dureza HV30 kp/mm <sup>3</sup>	Resistencia A la flexión Kp/mm <sup>3</sup>	Densidad g/cm <sup>3</sup>
		WC	Co			
Nuevo	Antiguo	%	%			
GT05	-	94	6	1600	150	14,8
GT10	G1	94	6	1550	170	14,8
GT15	G15	91	9	1450	190	14,6
GT20	G2	88	12	1300	210	14,3
GT30	G3	85	15	1200	240	14,0
GT40	G4	80	20	1100	260	13,5
GT50	G5	75	25	1000	270	13,1
GT60	G6	70	30	900	280	12,8

TABLA 4-3 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS TIPOS DE CARBURO DE TUNGSTENO WIDIA (VALORES APROXIMADOS).

Los tipos medios de aleaciones algo mas tenaces se utilizan para herramientas de recalcar, las cuales, por un lado, se encuentran sometidas a esfuerzos de impacto, por ejemplo punzones y matrices de recalcar de formas sencillas.

La aleación mas blanda y tenaz se utiliza para guarniciones mayores y para herramientas de formas complicadas, por lo que para una suficiente resistencia al desgaste deben ser relativamente insensibles a los esfuerzos de impacto.

Aunque la resistencia al desgaste del carburo de tungsteno disminuye al disminuir la dureza, no obstante, en los tipos de mayor tenacidad presenta un valor todavía bastante elevado.

En el recalado y prensado en frío las matrices y punzones de recalcar, se fabrican de carburo de tungsteno. También pueden revestirse con carburo de tungsteno las demás herramientas, por ejemplo las matrices de corte y las cizallas así como los rodillos de introducción, los dedos de avance y los pernos de expulsión.

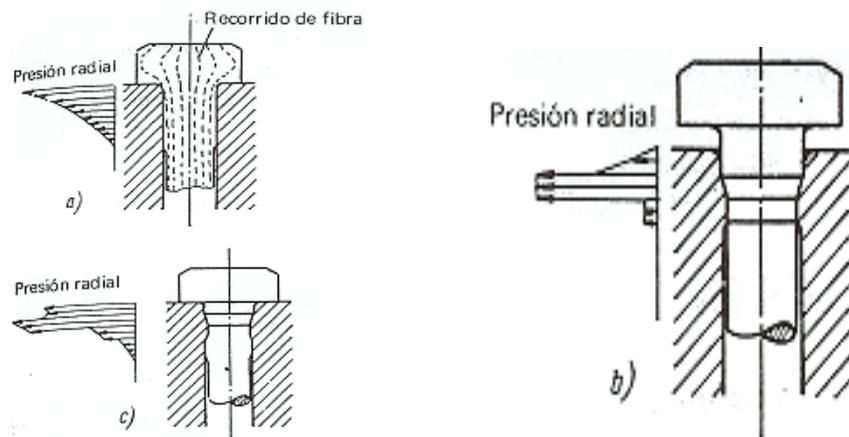


FIG. 4-20. PRESIONES RADIALES EN EL PENSADO DE CABEZAS Y EN LA REDUCCIÓN (SEGÚN ESCHLER)

- a) Prensado
- b) Reducción
- c) Prensado de cabezas mediante reducción.

En el recalado puro (figura 4-20) se forman presiones radiales debidas a la introducción forzada de material en los agujeros de la matriz, que penetran en esta una longitud que corresponde aproximadamente al diámetro del espárrago.

En la reducción el esfuerzo principal se presenta en el cono de reducción. Simultáneamente se presenta antes en el cono una pequeña fuerza radial que se deriva a la resistencia a la reducción y de da el consiguiente recalado del perno.

Otra fuerza radial relativamente pequeña se presenta en la parte cilíndrica de la matriz, que es debida a la recuperación del material después de la reducción.

La figura 4-20 muestra para la fase final del recalado de reducción estas dos fuerzas. Se puede observar que la presión en la parte cilíndrica, en el cono y en la parte de reducción aumenta considerablemente, debido al recalado de la cabeza.

**CAPITULO 5**

**RESULTADOS DEL DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA  
MANUFACTURA DE BIRLOS AUTOMOTRICES DE ACERO  
INOXIDABLE TIPO 304 MEDIANTE EL PROCESO DE  
CONFORMADO EN FRIO**

EN ESTE CAPITULO SE PRESENTA UNA APLICACION PRACTICA DEL CONFORMADO EN FRIO. SE HACE EL ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CONFORMACIÓN EN FRIO DE BIRLOS DE ACERO INOXIDABLE TIPO 304, DE USO AUTOMOTRIZ. SE APLICAN LOS CRITERIOS DE DISEÑO PARA LAS HERRAMIENTAS DE RECALCADO Y EXTRUSION.

SE REALIZAN ENSAYOS DE DUREZA TANTO DEL MATERIAL INICIAL, COMO DEL BIRLO CONFORMADO. FINALMENTE SE HACE UN ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS.

## CAPITULO 5

### RESULTADOS DEL DISEÑO DE HERRAMIENTAS PARA LA MANUFACTURA DE BIRLOS AUTOMOTRICES DE ACERO INOXIDABLE TIPO 304 MEDIANTE EL PROCESO DE CONFORMADO EN FRIO

En este capítulo se presenta el procedimiento y desarrollo del trabajo realizado para la manufactura de birlos de acero inoxidable tipo 304 mediante el proceso de conformado en frío, aplicando los conceptos teóricos de los capítulos precedentes. Las especificaciones del birlo se muestran en la figura 5-1.

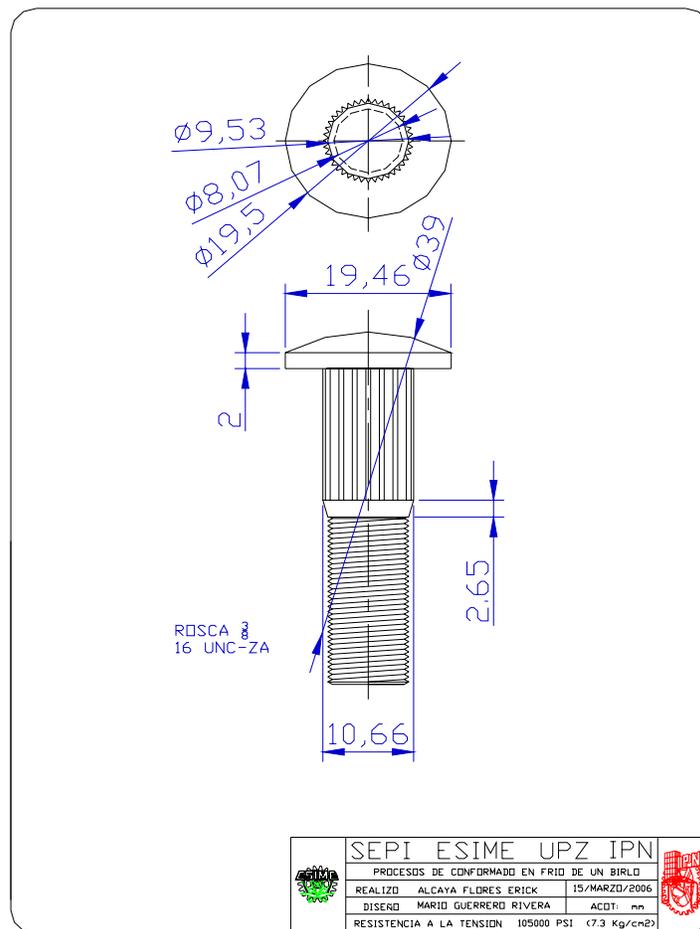


FIGURA 5.1 BIRLO AUTOMOTRIZ DE ACERO INOXIDABLE TIPO 304

En las primeras pruebas experimentales del conformado de los birlos, se utilizaron las instalaciones y equipo que se encuentran en el Laboratorio de Forja y Tratamientos Térmicos de ESIME-UPA, utilizando materiales dúctiles como el aluminio y el cobre.

Posteriormente, para realizar el ensayo de conformado de los birlos con acero inoxidable tipo 304, fue necesario utilizar maquinas de mayor capacidad, y de esta manera fue posible realizar el trabajo experimental, del cual se indican las distintas etapas:

- 1- Planteamiento del problema.
- 2- Analizar la factibilidad para fabricar mediante el conformado en frío los birlos
- 3- Realizar memoria de calculo para determinar los distintos parámetros de forja, como son:
  - a) Reducciones de área y grado de conformación.
  - b) Relación de recalado y grado de conformación.
  - c) Forma y dimensiones del recalado previo (en caso necesario)
  - d) Numero de fases necesarias para el conformado final . (incluyendo el diámetro inicial del material)
- 4- Diseñar la secuencia de las fases previas al conformado final.
- 5- Diseñar los punzones y matrices para el conformado en frío
- 6- Fabricar de las matrices para el conformado.
- 7- Fabricación de los birlos de acuerdo a la secuencia de fases previamente diseñada
- 8.-Realizar ensayos de dureza del material inicial y del producto conformado.
- 9- Analizar y comparar los resultado obtenidos del conformado.
- 10- Conclusiones.

### 5.1 Planteamiento del problema

Diseñar una secuencia de fases de conformado en frío para fabricar birlos de acero inoxidable tipo 304. Posteriormente diseñar las herramientas para fabricar los birlos. Por ultimo, obtener por medio de mediciones de dureza, la distribución de las tensiones, en cada una de las distintas secciones que componen del birlo.

### 5.2 Análisis de factibilidad para la manufactura de los birlos.

Las características del acero inoxidable T-304 son las siguientes:

-alambre con un diámetro de 9.27 mm +/- 0.05 con lubricante MOLYTECHCOTE y con una resistencia a la tensión de 75 kg/mm<sup>2</sup>.

Con la siguiente composición química:

C	Ni	Cr	Fe	Otros
0,04	9.0	18.0	Balance	0.01

En esta segunda etapa de investigación, se aplicó el método práctico según la norma DIN 1654 para comprobar la capacidad de deformación del acero. Los resultados obtenidos se muestran en las figuras 5-2 y 5-3.

De acuerdo a estos resultados, se tomo la decisión de utilizar el acero que se muestra en la figura 5-3 ya que, como se puede observar, no se presentan grietas visibles al realizar las pruebas del recalado. Posteriormente, se hicieron varios bosquejos y cálculos previos para determinar el diseño de la secuencia final del conformado, para determinar en primer lugar, los parámetros de forja y después la factibilidad de manufactura mediante el conformado en frío.

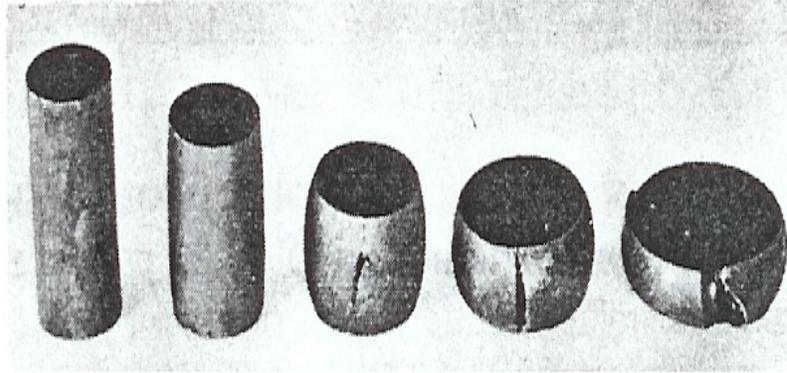


FIGURA 5-2 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE RECALCADO DE UN ACERO INOXIDABLE TIPO 304.  
MATERIAL CON UNA RESISTENCIA A LA TENSION DE 75 Kg/m.m2  
MALA CALIDAD DESPUÉS DEL RECALCADO .RECALCADO: 0,20, 40,60,80

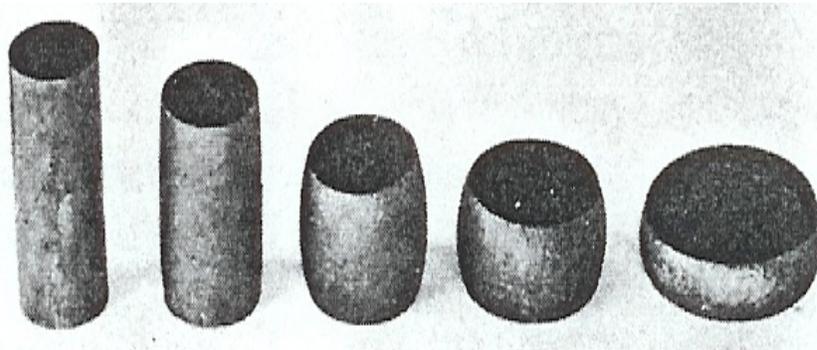


FIGURA 5-3 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE RECALCADO DE UN ACERO INOXIDABLE TIPO 304  
MATERIAL CON UNA RESISTENCIA A LA TENSION DE 75Kg./m.m2  
BUENA CALIDAD DESPUÉS DEL RECALCADO. RECALCADO 0,20, 40, 60, 80

### 5.3 Memoria de calculo para determinar los parámetros de forja

El primer paso necesario para determinar los parámetros de forja, es calcular el volumen de cada una de las secciones de las que esta compuesto el birlo, de acuerdo a las distintas formas geométricas del mismo.

Para determinar tanto los parámetros de forja, como el diseño de las fases previas, se considera que la suma de todos los volúmenes de los cuerpos geométricos de que esta compuesto el producto final; que en nuestro caso es el del birlo, debe ser igual al del volumen del tramo de material inicial.

**5.3.1 Calculo de volúmenes de la pieza**

1)	<p>C1=19.5 mm. h1=2.6 mm. r1=19.5 mm.</p>	<p><math>V1= \pi h1 \left( \frac{c1^2}{8} + \frac{h1^2}{6} \right)</math>  <math>V1= \pi h1 \left( \frac{19.5^2}{8} + \frac{2.6^2}{6} \right)</math>  <math>V1= 397.03 \text{ mm}^3</math></p>
2)	<p>C1= 19.5 mm. h2= 2.0 mm.</p>	<p><math>V2= \frac{\pi}{4} c1^2 h2</math>  <math>V2= \frac{\pi}{4} (19.5)^2 (2.0)</math>  <math>V2= 597.29 \text{ mm}^3</math></p>
3	<p>C2= 9.78 mm. h3= 16.51 mm</p>	<p><math>V3= \frac{\pi}{4} C2^2 h3</math>  <math>V3= \frac{\pi}{4} (9.78)^2 (16.51) \text{ mm}</math>  <math>V3= 1240.26 \text{ mm}^3</math></p>
4)	<p>C2=9.78 mm C3= 8.40 mm h4= 2.65 mm</p>	<p><math>V4= \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{C2 + C3}{2} \right)^2 h4 \right]</math>  <math>V4= \frac{\pi}{4} \left[ \left( \frac{9.78 + 8.40}{2} \right)^2 (2.65) \right]</math>  <math>V4= 171.59 \text{ mm}^3</math></p>
5)	<p>C3= 8.40 mm h5= 19.1 mm</p>	<p><math>v5= \frac{\pi}{4} C3^2 h5</math>  <math>v5= \frac{\pi}{4} (8.40)^2 (19.1) \text{ mm}</math>  <math>v5= 1058.48 \text{ mm}^3.</math></p>
6)	<p><math>V6= V4+V5</math>  <math>V6= 171.59 \text{ mm}^3+1058.48 \text{ mm}^3</math>  <math>V6= 1230.07 \text{ mm}^3</math></p>	

7)	$V7 = \frac{\pi}{4} C^2 h_6$ $V7 = 69.25 \text{ mm}^3$
8)	$V8 = (V7 + V8) - V7$ $V8 = 994.32 \text{ mm}^3 - 69.25 \text{ mm}^3$ $V8 = 925.07 \text{ mm}^3$
9)	$V9 = V3 + V6$ $V9 = V3 + V4 + V5$ $V9 = 1240.26 \text{ mm}^3 + 1230.07 \text{ mm}^3$ $V9 = 1240.26 \text{ mm}^3 + 171.59 \text{ mm}^3 + 1058.48 \text{ mm}^3$ $V9 = 2470.33 \text{ mm}^3$

TABLA 5-1 RESULTADOS DE LOS CALCULOS DE LOS VOLUMENES DEL BIRLO .

**5.3.2 Calculo de reducción de área y grado de conformación.**

Considerando las características de las formas geométricas del birlo, la primera propuesta que se hizo fue la de partir de un material se sección circular con un diámetro de 9,78mm. Efectuando el calculo de reducción de área del diámetro propuesto, al del diámetro de 8,43mm se determino que la extrusión se podía realizar con una sola matriz.

Aplicando la fórmula 2-4 y tomando los valores de los volúmenes se tiene:

grado de conformación  $\phi = \ln x_1 / x_0 = \ln 19.1 / 18.15 = \ln 1.052 = 0.051$

a) La reducción de área se calcula aplicando la fórmula 2-6

$R.A = A_0 - A_1 / A_0 \times 100 = 67.78 \text{ mm}^2 - 55.81 \text{ mm}^2 / 67.78 \text{ mm}^2 \times 100 = 17\%$

### 5.3.3 Cálculo de la relación de recalado y grado de conformación

Habiendo obtenido los resultados de la reducción de área, y partiendo de un material de 9,78mm de diámetro, se realizó el cálculo para determinar la relación de recalado y el grado de conformación .

De acuerdo a los parámetros obtenidos, se determinó, que si era factible realizar el conformado del birlo, en una sola matriz. Sin embargo, cuando se realizaron los ensayos de conformado previos, se rompieron las matrices. Este resultado negativo, ocasionó que el conformado del birlo se realizara en dos fases de conformado distintas, o sea en dos matrices diferentes.

Aplicando la fórmula 2-4 y tomando los valores de los volúmenes, se tiene:

$$\text{grado de conformado } \varphi = \ln x_1 / x_0 = \ln 4.6 \text{ mm} / 14.73 \text{ mm} = -1.16$$

El signo (-) caracteriza que se efectuó una compresión.

a) La relación de recalado se calcula:

$$s = x_0 / d = 14.73 \text{ mm} / 9.27 \text{ mm} = 1.58$$

### 5.4 Diseño de la secuencia de fases para el conformado.

Después de haber calculado los parámetros de forja se procedió a diseñar la secuencia de fases para realizar el conformado.(figura 5-4)

La primera propuesta que se hizo fue la de partir de un diámetro de acero de 9.78mm, ya que de acuerdo a los resultados obtenidos de la relación de recalado y del porcentaje de reducción de área, era factible que partiendo de este diámetro, se podría realizar la operación del recalado y la de extrusión, simultáneamente en la misma matriz.

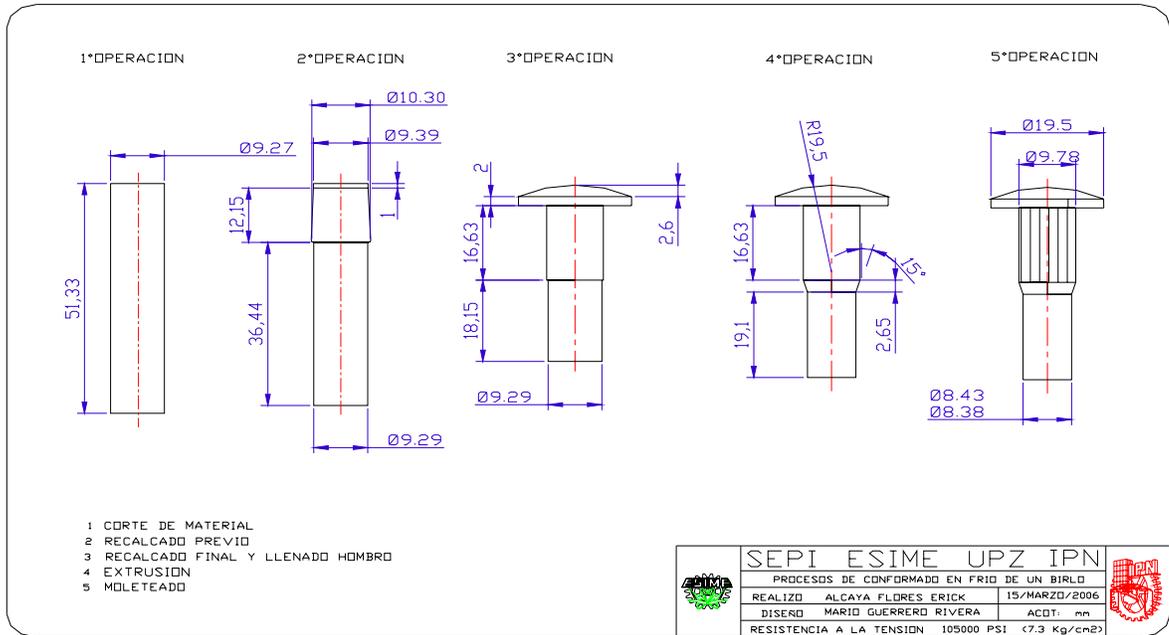


FIGURA 5-4 SECUENCIA DE FASES DEL CONFORMADO EN FRIO DE BIRLOS DE ACERO INOXIDABLE TIPO304

### 5.5 Diseño de las herramientas para el conformado

Después de realizar el diseño de la secuencia para el conformado, el siguiente paso es diseñar las herramientas(Fig. 5-5) según la secuencia de fases.

### 5.6 Fabricación de las herramientas

Todas las matrices y punzones se fabricaron con los aceros indicados en la tabla 4-2. El tratamiento térmico que se realizo para cada una de las herramientas utilizadas, fue el temple y revenido, las durezas se indican en la misma tabla.

### 5.7 Fabricación de los birlos

La figura (5-6) muestra la distribución de las herramientas de conformado para la manufactura de los birlos en una maquina BOLT MAKER de 1/2 pulgada de 4 estaciones, y la figura 5-7 muestra los resultados obtenidos del conformado.

De acuerdo al diseño de las fases del conformado, la fabricación del producto se inicia con el corte del tramo de material, el cual tiene el mismo volumen del producto terminado.

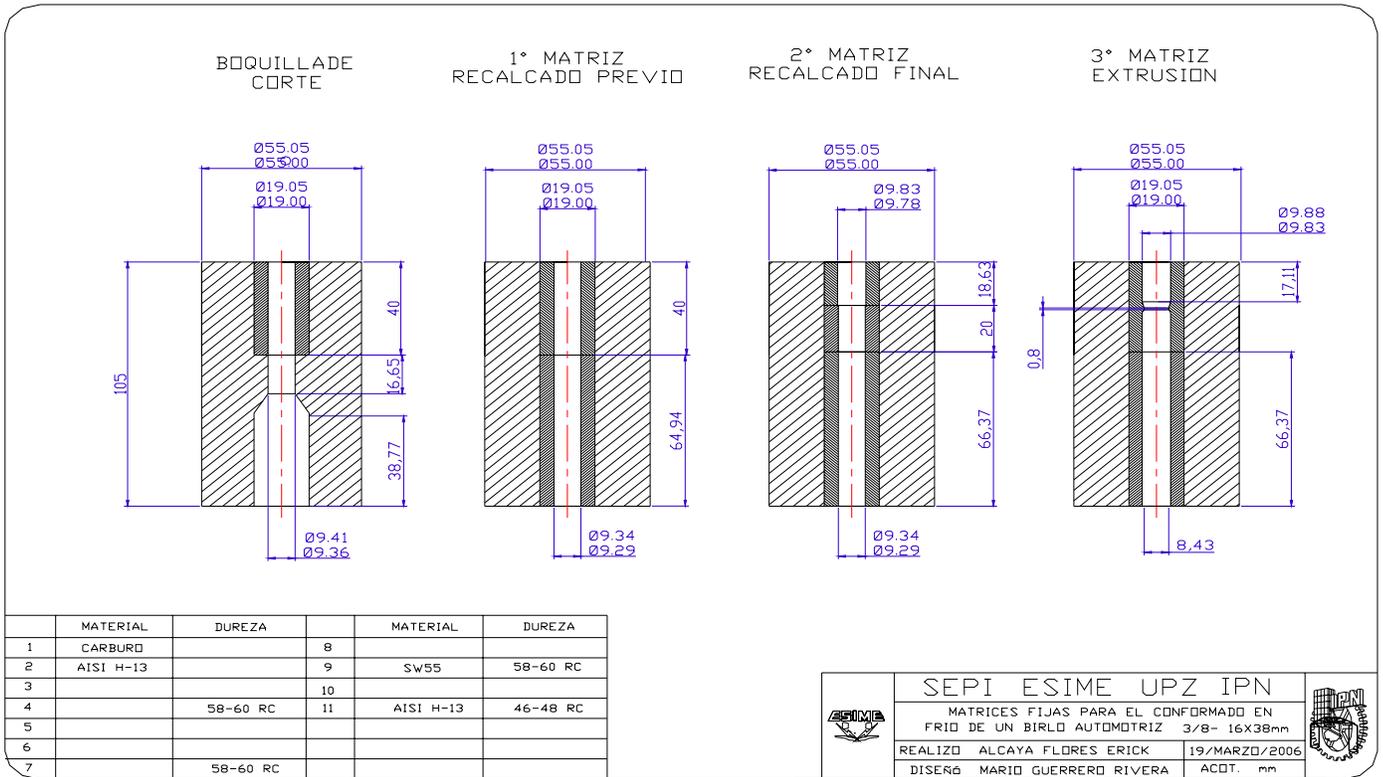


FIGURA 5-5 DISEÑO DE MATRICES PARA EL CONFORMADO DE BIRLOS DE ACERO INOXIDABLE TIPO 304

El material utilizado para la fabricación del birlo tiene un diámetro de 9,27 mm. que es ligeramente mayor que el diámetro de 8,43mm el cual corresponde al diámetro de paso de la rosca 3/8-16. Se determino utilizar este diámetro ya que con este, se evita una extrusión severa y al mismo tiempo, se mantiene lo mas baja posible la relación de recalado, y con ello se evita también, el endurecimiento excesivo del material durante el recalado de la cabeza. La introducción del material hacia las herramientas del sistema de corte, se realiza mediante rodillos.

Los rodillos de introducción llevan el alambre a la fase de corte, el cual se realiza mediante una boquilla y una cuchilla fabricados de acero AISI-M2 templados y revenidos con una dureza de 60-62 Rc. El transporte del tramo de material cortado de cada una de las formas previas de cada fase, se realiza mediante pares de mordazas que se ajustan individualmente. Cada par se abre y se cierra en el momento previamente ajustado.

En la segunda fase se realiza un *recalcado previo*, utilizando para ello una matriz compuesta por dos insertos, el frontal del carburo de tungsteno G6 y el otro inserto de acero AISI-M2 templado y revenido con una dureza de 56-58 Rc. Montados dentro de una armadura de acero AISI H-13 templado y revenido con una dureza de 48-50 Rc. El punzón o matriz móvil es de una sola pieza de acero AISI-O1 con una dureza de 58-60 Rc complementado con un perno de acero resistente al impacto AISI-M2 templado y revenido con una dureza de 60-62 Rc.

En la tercera fase se efectuó el recalcado final tanto del cuerpo del tornillo como el de la cabeza. La matriz fija esta constituida de dos piezas de carburo de tungsteno G6 y un complemento de acero AISI M2 templado y revenido con una dureza de 56-58 montados dentro de una armadura de acero AISI H-13 templado y revenido con una dureza de 48-50 Rc.

Para realizar el recalcado se utilizo una matriz móvil la cual consta de una pieza de carburo de tungsteno, montado dentro de una armadura de acero AISI H-13 templado y revenido con una dureza de 48-50 Rc.

En la cuarta fase se realizo la extrusión del diámetro de paso para rolar la rosca 3/8- 16, utilizando para esto, una matriz fija la cual esta compuesta de una pieza de carburo de tungsteno G6 y un complemento de acero AISI M2 templado y revenido con una dureza de 58-60 Rc montados dentro de una armadura de acero AISI H13 templado y revenido con una dureza de 48-50 Rc.

La matriz móvil esta compuesta por una sola pieza de acero AISI O-1 templado y revenido con una dureza de 58-60 Rc, esta herramienta tiene en la parte frontal que empuja al tornillo para realizar la extrusión, la forma esférica de la cabeza para asegurar un perfecto centrado dentro de la matriz fija al realizar la extrusión.

En las 3 matrices de forja antes descritas se utilizan pernos de expulsión de acero AISI M2 templados y revenidos con una dureza de 58-60 Rc.

Después de realizar las 3 primeras fases del conformado los tornillos son transportados a la fase del moleteado y rolado de la rosca mediante dados planos paralelos los cuales están montados en la misma maquina de conformado.

En todas las herramientas fijas no se utilizo lubricante liquido, ya que el material tiene un lubricante especial indicado en la especificación de la materia prima. Únicamente en la fase de moleteado y rolado se utilizo lubricante liquido.

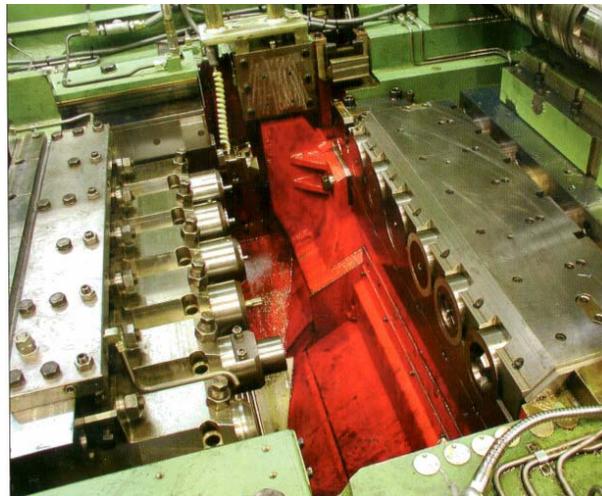


FIGURA 5-6 MAQUINA DE CONFORMADO EN FRIO DE VARIAS ESTACIONES

Como ya se menciona antes, se intento realizar la operación del recalado simultáneamente con la extrusión en la misma matriz y los resultados fueron negativos ya que debido a los grandes esfuerzos a los que fueron sometidos tanto la matriz móvil como la fija el rendimiento de las herramientas fue muy bajo y ruptura prematura de las herramientas.



FIGURA 5-7 RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE CONFORMADO EN FRIO DEL BIRLO DE ACERO INOXIDABLE TIPO 304

Los factores que se consideraron para determinar el tipo y capacidad de la maquina fueron:

- Numero de fases de trabajo.
- Dimensiones del tramo de material que se requiere para una sola pieza.
- El porcentaje de reducción de área de la sección transversal del material.
- Cantidad de material que se requiere para recalcar la cabeza, según la relación de recalado.
- La maquina debe contar con un dispositivo para rolar la rosca

El rendimiento de las herramientas fue muy bajo, cuando se intento realizar el recalado final y la extrusión simultáneamente en la misma matriz de conformación. Lo anterior fue debido a la elevada resistencia a la deformación que tiene el acero inoxidable T304.

El resultado anterior demuestra que la resistencia a la deformación influye en el rendimiento de las herramientas. Además, una elevada resistencia a la deformación del material utilizado, reduce el rendimiento de las herramientas.

## **5.8 Análisis comparativo de resultados**

Para analizar los resultados obtenidos se realizaron mediciones de dureza del material antes y después del conformado en frío, se aplicó el mismo procedimiento que se usa para un ensayo metalográfico y que a continuación se describe:

### **5.8.1 Descripción del ensayo [6]**

- Selección de muestras metalográficas
- Limpieza de las muestras metalográficas.
- Montaje de las muestras metalográficas.
- Preparación y pulido de las probetas metalográficas.

### **5.8.2 Material utilizado**

- Probetas de Acero Inoxidable tipo 304.
- Resina dental cristalina y catalizador.
- Moldes para encapsulado.
- Hojas abrasivas de agua de # 120, 220, 500, 600, 1200, 1500
- Alúmina de 0.3 micras
- Paño para pulido
- Reactivo de ataque Nital (98% Alcohol etílico y HNO<sub>3</sub> 2%)

### **5.8.3 Equipos utilizados**

- Máquina Lijadora de bandas abrasivas. Marca Buehler, No. Serie: S/N capacidad: 60 ciclos x minuto.
- Máquina Pulidora. Marca: Buehler, No. serie: HY 41237, Potencia: 0.25 A 0.27 H.P., capacidad: 950 a 1425 rpm.
- Durómetro Rockwell Normal. Marca Wilson, No. Serie: 3JR.

**5.9 Resultados obtenidos de dureza del material de acero inoxidable T-304 antes de ser conformado en frío**

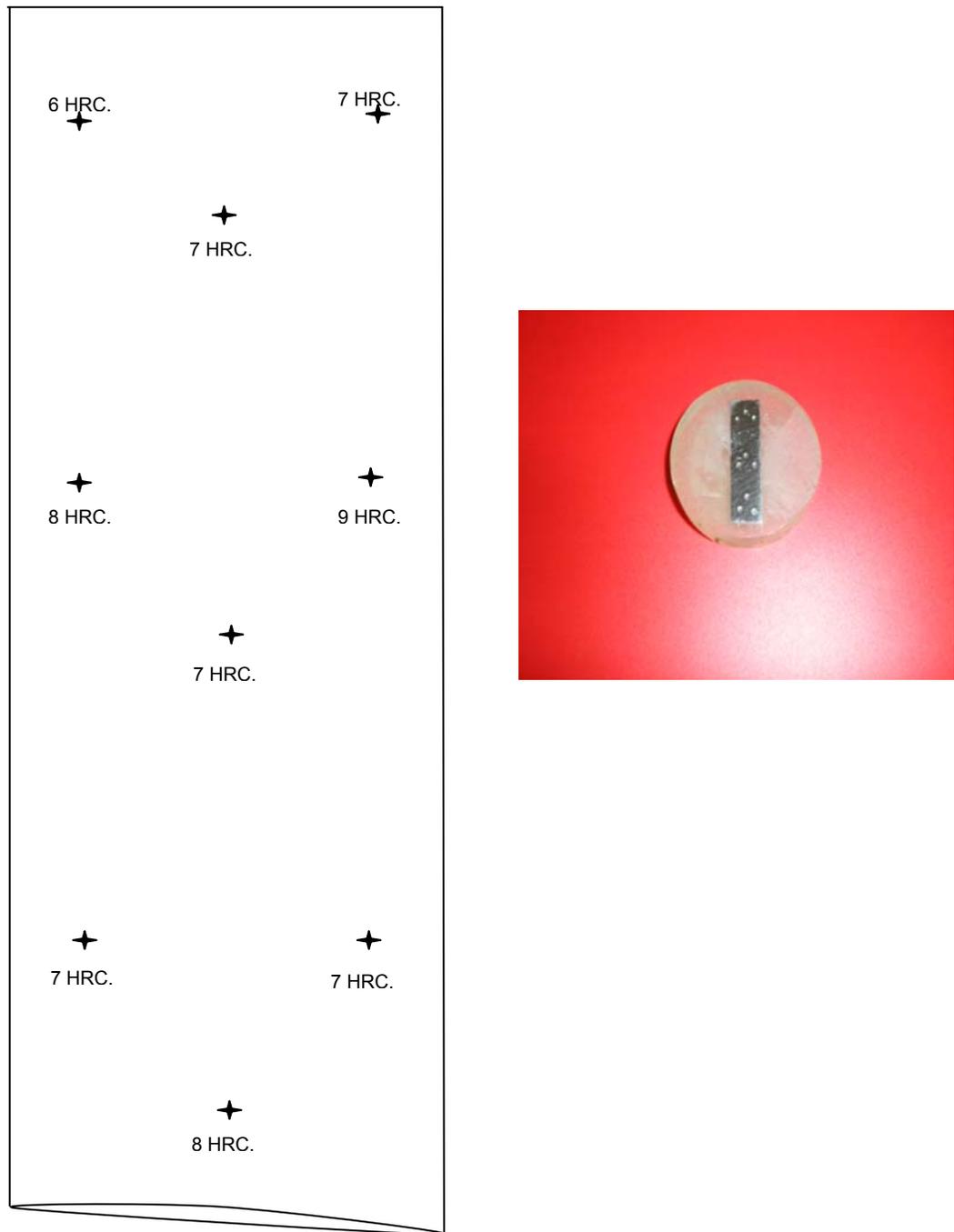


FIGURA 5-8. RESULTADOS DE DUREZA DEL MATERIAL ANTES DE CONFORMARLO EN FRIO

### 5.10 Resultados obtenidos de dureza del birlo de acero T- 304 recalcado y extruido en frío

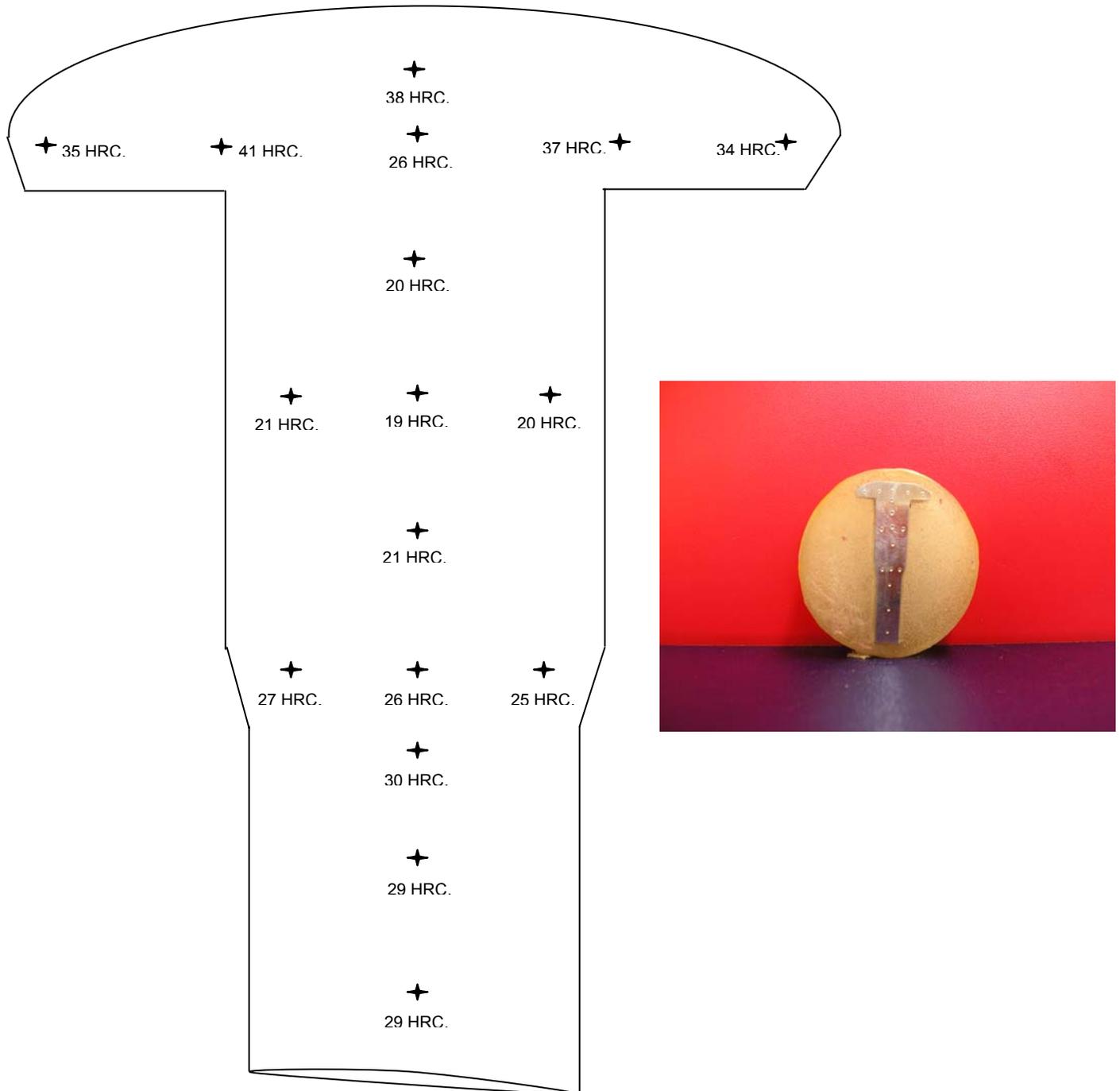


FIGURA 5-9 RESULTADOS DE DUREZA DEL BIRLO CONFORMADO EN FRIO

### **5.12 Análisis comparativo de resultados**

Haciendo referencia a las figuras 5-9y 5-10,observamos que existe una gran diferencia de durezas entre ellas .El material de la figura 5-9 muestra en los extremos laterales longitudinales, una dureza promedio de 7Rc, al igual que en la parte central.

En cambio, los resultados de duraza de la figura 5-10 muestran una gran diferencia entre la zona superior, la zona intermedia y la zona inferior.

En la zona superior del birlo, que corresponde al material recalado, y con un grado de conformación de - 1.16, el promedio de dureza es de 35Rc;

En la zona intermedia que también corresponde a un recalado pero con un grado de conformación de 0.95, el promedio de dureza es de 25Rc

En la zona inferior del birlo, que corresponde a la sección extruída, con un grado de conformación de 0.051 y una reducción de área del 17%, el promedio de dureza es de 29Rc.

Los resultados comparativos anteriores, demuestran que hay una relación entre el grado de conformación y la dureza que adquiere el material cuando es conformado en frío.

## REFERENCIAS

- [ 1] Interfaces in Materials. James M. Howe. John Willey & Sons, Inc. 1997
- [2] Metalografía Microscópica Practica. Richard Henry Greaves, D. S. Urmo 1997
- [3] Fundamentos de Metalurgia Física. John D. Verhoeven. Limusa. 1987
- [4] National Machinery Co.
- [5] Manual de Materiales. Brady, George. Compañía Editorial Continental.
- [6] Metalografía y Tratamiento Térmico de los Metales. Mir Moscu Yu. M. Lajin 1973
- [7] Tecnología de los Metales. Malishev. Nikolaiev. Shuvalov. Limusa Mir 1994
- [8] Procesos y Materiales de Manufactura para Ingenieros. Doyle / Keyser / Leach / Schrader / Singer. 2da. Ed. Practical -Hall, Inc.
- [9] Tool and Manufacturing Engineers Handbook. Daniel B. Dalls Third Edition. Mc.Graw Hill Book Company.
- [10] Estampado y Prensado a Maquina. J. Billigmann. H. D. Feldmann. Ed. Reverte S.A. 1979
- [11] Die Design Handbook. Frank W. Wilson. Philip D. Harvey. Charles B. Gump, Jr.
- [12] Second Edition. Mc Graw-Hill Book Company . 1961

[13] Procesos de Manufactura Versión SI. B.H. Amstead Ph.F. Ostwald M.L. Begeman. Cecsca 1981.

[14] Fundamentals of Modern Manufacturing. Mikell P. Groover. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey 07458

[15] Procesos y Materiales de Manufactura para el Ingeniero. Laurence E. Doyle. Carl A. Keyser.

[16] Introducción a la Metalurgia Física 2da. Ed. Sydney H. Avner. McGraw-Hill

[17] Materiales y Procesos de Manufactura. John E. Neely. Richard R. Kibbe Limusa.

[18] e. Oberg, F.D. Jones y H.L. Horton. Manual Universal de la técnica mecánica. Segunda edición 1984, editorial Labor.

[19] Ricardo Gustavo Rodríguez Cañizo. Análisis de la interacción de grietas en placas, Tesis Maestría. SEPI- ESIME- IPN. 2002

[20] Soto Trinidad. José Luis. Tesis Maestría: Caracterización Mecánica y Tribología de Materiales Cerámicos Obtenidos de Residuos Sólidos Mineros. SEPI- ESIME- IPN México DF. Marzo 2004

[21] S.A. Elenev. Estampado en Frío .Editorial Mir. Moscu 1983

[22] V. V. Kurchatkin. Manual del Forjador-Soldador con Soplete. Editorial Mir. Moscú 1983

23 Donald R.Askeland .Ciencia e Ingeniería de los Materiales. International Thomson Editores.

(24) Conformacion de Metales. Manuel Mallo Gallardo. Ministerio de Educación Superior. Cuba, ENPES.

## CONCLUSIONES

El rendimiento de las herramientas fue muy bajo, cuando se intento realizar el recalado final y la extrusión simultáneamente en la misma matriz de conformación. Lo anterior fue debido a la elevada resistencia a la deformación que tiene el acero inoxidable T304.

El resultado anterior demuestra que la resistencia a la deformación influye en el rendimiento de las herramientas. Además, una elevada resistencia a la deformación del material utilizado, reduce el rendimiento de las herramientas.

## TRABAJOS FUTUROS

1.- Realizar estudios para determinar la relación que existe entre el grado de conformación mediante el recalcado, la dureza y la resistencia a la tensión, de componentes de acero inoxidable tipo 304.

2.-Realizar estudios para determinar la relación que existe entre el grado de conformación mediante la extrusión, la dureza, y la resistencia a la tensión, de componentes de acero inoxidable tipo 304.

3.-Realizar estudios para determinar la probabilidad de vida útil de las herramientas de extrusión y recalcado para fabricar componentes del acero inoxidable tipo 304.

4.-Realizar estudios para determinar la probabilidad de vida útil de las herramientas de extrusión y recalcado para fabricar componentes de aceros con alto contenido de carbón.