

Notas de Procesos de Manufactura I

Primera Parte

Zeferino Damián Noriega



Notas de Procesos de Manufactura I

Primera Parte

Notas de Procesos de Manufactura I

Primera Parte



Este material fue dictaminado y aprobado por el Consejo Editorial de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería, el 27 de junio de 1995.

217454
C.B. 2892934

Notas de Procesos de Manufactura I

Primera Parte

Zeferino/Damián Noriega



2892934

UAM-AZCAPOTZALCO

RECTOR

Mtro. Víctor Manuel Sosa Godínez

SECRETARIO

Mtro. Cristian Eduardo Leriche Guzmán

COORDINADORA GENERAL DE DESARROLLO ACADÉMICO

Mtra. María Aguirre Tamez

COORDINADORA DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

DCG Ma. Teresa Olalde Ramos

JEFA DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EDITORIALES

DCG Silvia Guzmán Bofill

ISBN: 970-654-971-4

© UAM-Azcapotzalco

Zeferino Damián Noriega

Diseño de Portada:

Modesto Serrano Ramírez

Sección de producción
y distribución editoriales
Tel. 5318-9222 / 9223
Fax 5318-9222

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo 180
Col. Reynosa Tamaulipas
Delegación Azcapotzalco
C.P. 02200
México, D.F.

Notas de Procesos de Manufactura I
Primera parte

1a. edición, 1997

1a. reimpresión, 2004

Impreso en México

Gracias mi Señor y mi Dios por las abundantes bendiciones que has derramado en mi nueva vida y porque me has permitido terminar estas notas con las cuales deseo servir a mis alumnos.

Zeferino Damián Noriega

Gracias Josefina, amada esposa, porque parte del tiempo que dediqué a la preparación de éstas notas, a tí te correspondía. Mis oraciones a Dios son por tu salud física.

Gracias Paco, Quique y Aidee, hijos míos, porque también ustedes me cedieron parte de su tiempo; Dios los bendice.
A sus maestros tengan en alta estima.

Papá, mamá, que el Señor los tenga en su gloria. Espero haberlos siempre honrado durante su paso por esta vida.

Angela, Pedro, Leobarda, Esteban y Juan, en mi corazón los tengo.
Honren la memoria de nuestros padres.

**“ Y todo lo que hagáis, hacedlo de corazón,
como para el Señor y no para los hombres;”
Colosenses 3:23**

Prólogo

Estas notas son el producto de la experiencia profesional y docente del autor y se han preparado para el curso trimestral de Procesos de Manufactura I (procesos sin arranque de viruta) dirigido a estudiantes de Ingeniería Mecánica, Industrial, Física y Metalúrgica.

Se tiene abundante bibliografía acerca de los procesos de manufactura sin arranque de viruta, pero ninguna en especial puede tomarse como texto, ya que la dinámica de trabajo en que se ven involucrados tanto el profesor como el estudiante demanda un aprovechamiento máximo del tiempo disponible para el curso, lo que en parte se logra si el estudiante tiene acceso a una bibliografía actualizada, de bajo costo y en español, que contenga los temas básicos del curso expuestos en la forma más sencilla posible. Es por esto que decidí dividir estas notas en dos partes, para publicar cuanto antes la primera y no esperar hasta terminarlas totalmente, puesto que debe invertirse un buen tiempo en su preparación y revisión en aula.

El contenido se ha seleccionado cuidadosamente, ajustándolo al objetivo del curso: conocer y aplicar los Procesos de Manufactura; los conceptos que aquí se dan son los que considero necesarios para un buen desempeño profesional en cualquier área de la industria metal-mecánica o similar: de ingeniería o concepción del producto, de ingeniería o estudio de la manufactura, de manufactura, de aseguramiento de la calidad, y de relaciones comerciales.

Se incluyen bastantes dibujos, algunas fotografías, ejercicios resueltos y ejercicios para el estudiante, a fin de comprender mejor los temas. Para los ejercicios se han utilizado piezas de revolución cuyo dibujo técnico es sencillo, de una sola vista.

Debido a la tendencia actual de liberar cada vez más el comercio internacional para crear competencia interna y así bajar costos, los temas se han estructurado de tal manera que el estudiante se familiarice con la metodología de diseño de las formas geométricas posibles de obtener para una pieza con un determinado proceso de manufactura, y al término de sus estudios, si ingresa a la industria metalmeccánica, con un poco de experiencia profesional, esté capacitado para desarrollar productos nacionales de buena calidad y costo competitivos.

Para iniciar el curso y para un mejor aprovechamiento del mismo, recomiendo a mis alumnos consultar libros de dibujo técnico si es que no lo han cursado previamente, y de trigonometría para repasar el cálculo de perímetros, áreas y volúmenes.

Finalmente, mi mayor deseo es que estas notas sean de mucha utilidad no solo para el estudiante, sino también para los compañeros profesores que imparten también el curso de Procesos de Manufactura I.

Zeferino Damián Noriega

Contenido

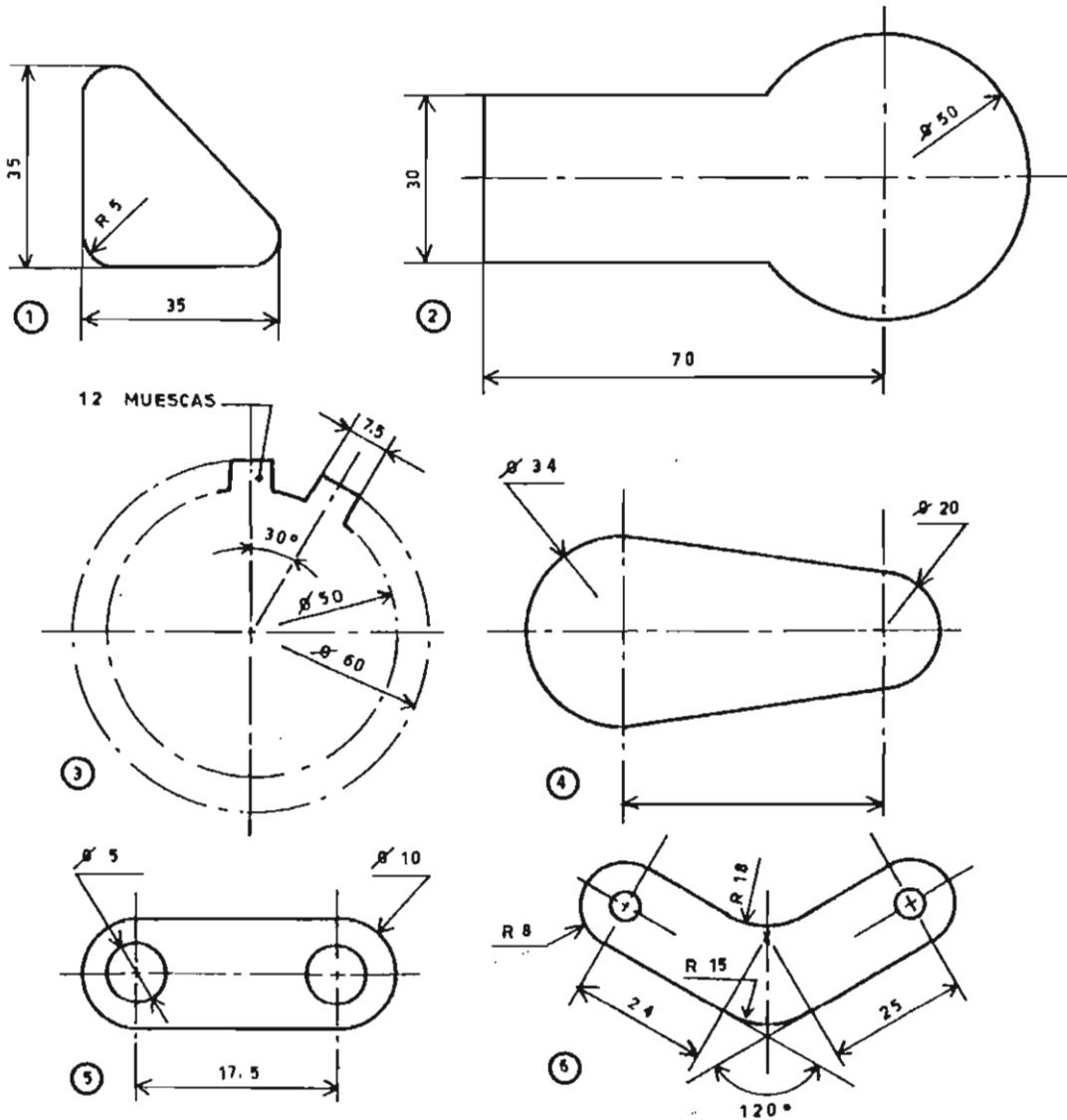
Prólogo

PRIMERA PARTE

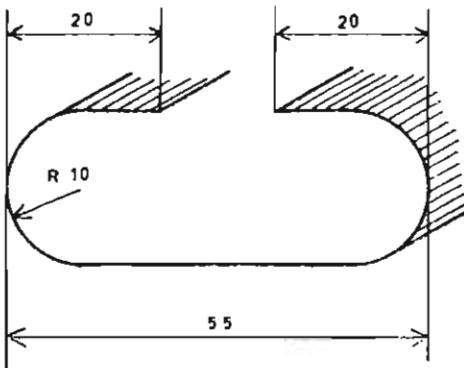
Ejercicios previos	xiii
1 Generalidades	1
1.1 Desarrollo de un bien técnico	1
1.2 Normalización	5
2 Procesos de obtención del hierro y acero	15
2.1 Obtención del hierro	15
2.2 Obtención del acero	20
3 Propiedades mecánicas de los metales	31
4 Definición y clasificación de los procesos de manufactura	39
5 Procesos de fundición en molde de arena	47

Ejercicios previos

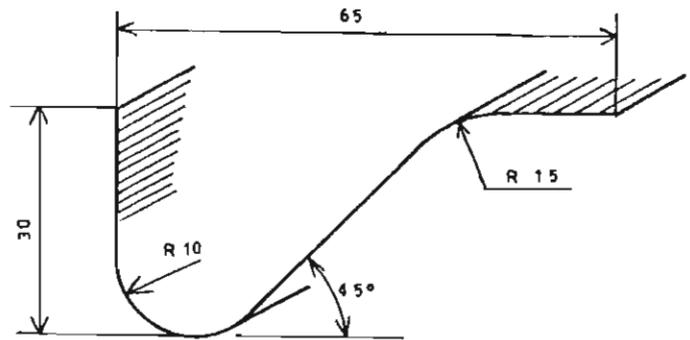
1. Calcúlese el perímetro de las siguientes piezas troqueladas de lámina



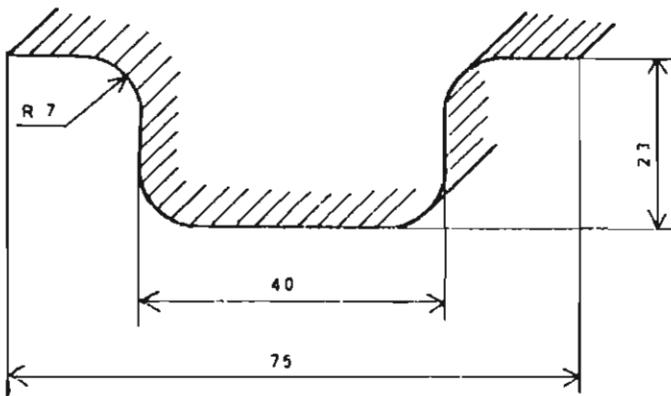
2. Calcúlese el desarrollo de las siguientes secciones transversales correspondientes a perfiles doblados, considerando para ello la posición de la línea central.



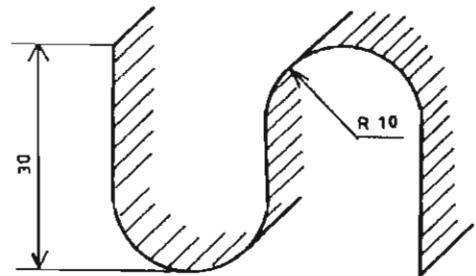
① ESPESOR = 1 mm



② ESPESOR = 1.6 mm



③ ESPESOR = 0.8 mm



④ ESPESOR = 0.5 mm

Capítulo 1

Generalidades

1.1 DESARROLLO DE UN BIEN TÉCNICO

En general, las fases del desarrollo de un bien técnico se muestran en la figura 1.1.

1.1.1 Concepción del producto

Para la concepción del producto, es necesario hacer bosquejos a mano libre, buscando progresivamente las formas geométricas más prácticas y funcionales para las partes componentes del conjunto, hacer cálculos para el dimensionamiento de las mismas, hacer simulaciones gráficas de movimientos, etc. hasta que finalmente se tengan todos los elementos para hacer el dibujo de conjunto o ensamble; a partir de éste se preparan entonces los dibujos de definición.

Si el producto es complejo, puede requerirse la fabricación de un prototipo a escala natural, ampliada o reducida, con lo que es posible corregir o modificar especificaciones en los dibujos anteriores

(que entonces son llamados dibujos de anteproyecto); los dibujos de anteproyecto una vez corregidos o modificados, reciben el nombre de DIBUJOS DE PROYECTO.

a) *Dibujo de ensamble*

Es un dibujo de un corte imaginario hecho a través de un plano axial o transversal cuya finalidad es mostrar la mayor cantidad de partes componentes para conocer su función y modo de ensamble (figura 1.2). En este dibujo se especifican:

- Referencia, cantidad y denominación de cada parte componente.
- Los números de parte o de catálogo de las partes comerciales.
- Los números de dibujo para las partes maquinadas en planta.
- La escala del dibujo.
- Ajustes normalizados y juegos funcionales.

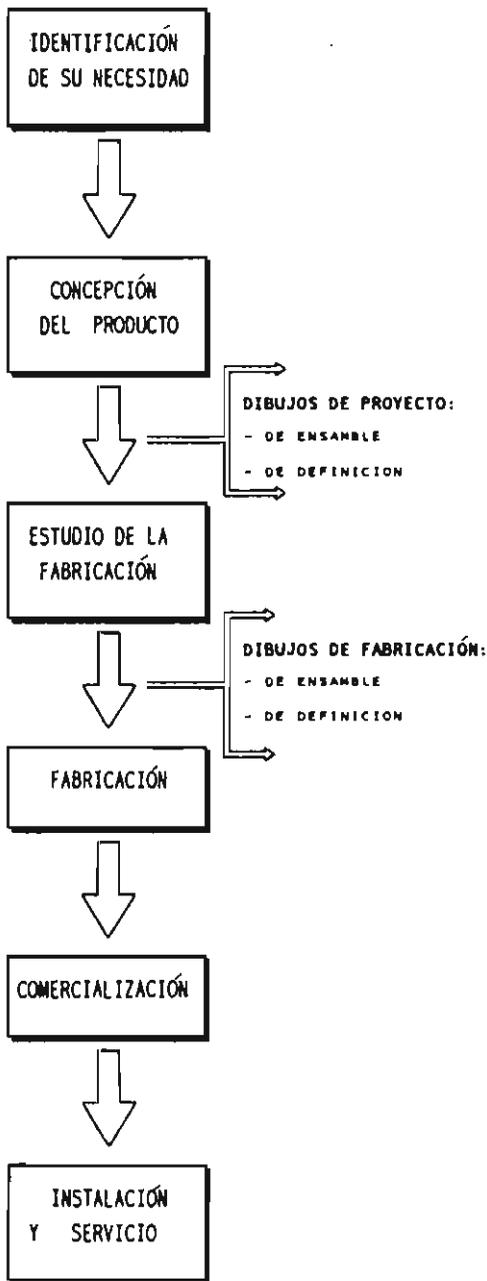


Figura 1.1 Desarrollo de un bien técnico.

b) Dibujo de definición

Es un dibujo cuya finalidad es hacer posible la fabricación de una parte componente, y las especificaciones que contiene son (figura 1.3):

- Formas geométricas.
- Dimensiones.
- Designación normalizada del material.
- Tolerancias dimensionales y de rugosidad y eventualmente:
- Tratamiento térmico o termoquímico.
- Recubrimiento superficial.
- Grado de balanceo estático o dinámico.
- Presión de prueba hidrostática o neumática.
- Tolerancias de posición y forma.

Todas las especificaciones anteriores deben hacerse de acuerdo a la normalización vigente nacional o internacional.

1.1.2 Estudio de la fabricación

Los dibujos de proyecto se estudian para seleccionar los procesos de fabricación más adecuados y determinar también su secuencia; se seleccionan las máquinas-herramienta, herramental de sujeción, de corte, de medición, de pruebas, de ensamble, se diseña el herramental especial requerido y se fabrica.

Puede requerirse la fabricación de una serie piloto para determinar: la funcionalidad de los modelos para fundición, de las matrices de forja, doblado, troquelado o estampado, la funcionalidad del herramental especial, en forma práctica los tiempos de fabricación y en consecuencia los costos de fabricación. Es probable que después de esta fabricación, haya aún necesidad de corregir o modificar especificaciones de proyecto; los dibujos de proyecto corregidos o modificados se les denomina entonces DIBUJOS DE FABRICACION.

1.1.3 Fabricación

En esta fase debe verificarse el cumplimiento tanto de la secuencia y método de fabricación como de los tiempos de fabricación, para que el programa de fabricación, ensamble y entrega del producto no sufra retrasos.

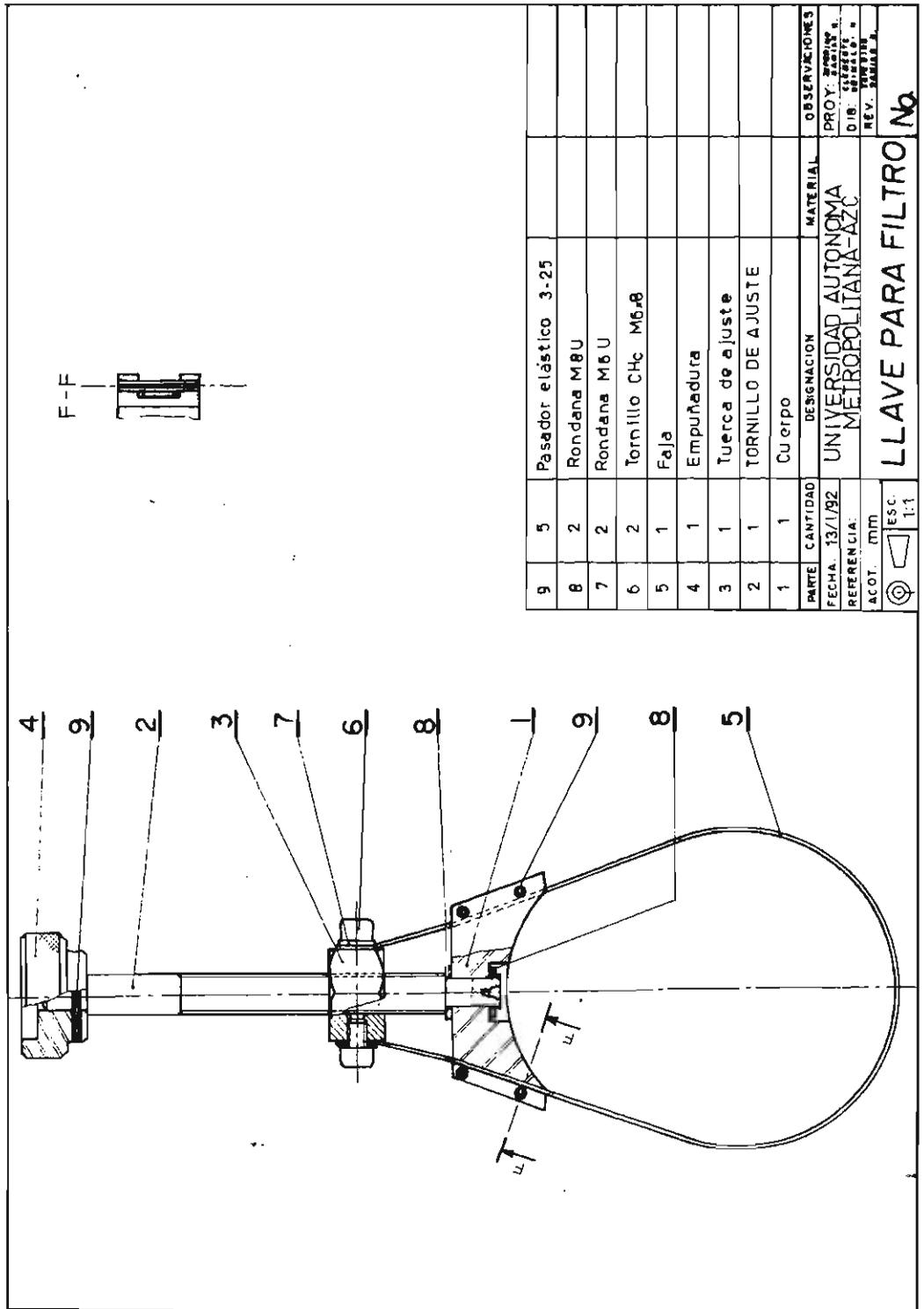
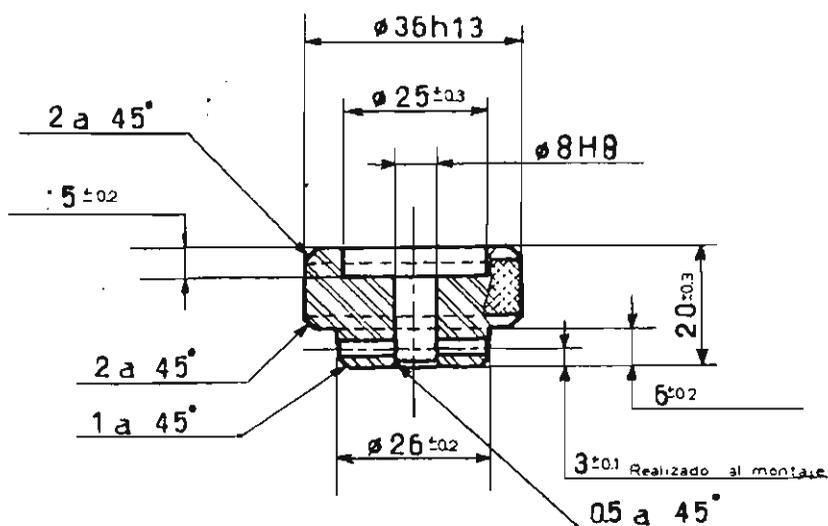


Figura 1.2 Dibujo de ensamble.



NOTA: RUGOSIDAD GENERAL R_a 6.4

Parte	Cantidad	Designación	Material	Observaciones
Fecha:	10/1/92	UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA-AZC		Proy. ZEFERINO DAMIAN N.
Referencia:				Dib. CLEMENTE GRIMALDIN.
Acot:	m m			Rev. ZEFERINO DAMIAN N.
	Esc.: 1:1	LLAVE PARA FILTROS	No.	

Figura 1.3 Dibujo de definición.

1.2 NORMALIZACIÓN

Es la actividad científica y tecnológica por medio de la cual se puede conocer el nivel de desarrollo actual de cualquier actividad: comercial, financiera, turística, docente, industrial, científica, etc.

La normalización es una actividad colectiva de consenso realizada por proveedores y consumidores para alcanzar acuerdos en varios aspectos del producto o servicio.

La normalización implica tanto la formulación de normas como su aplicación sistemática y actualización constante.

Por tanto, una norma es un documento bibliográfico de alto valor tecnológico que contiene terminología, definiciones, simbología, designaciones, especificaciones, recomendaciones, métodos de prueba o de inspección, etc., que deben aplicarse para asegurar la calidad de un servicio o producto.

1.2.1 Objetivos de la normalización

- Unificación de criterios
- Simplificación (racionalización y reducción de variedades y dimensiones)
- Congruencia
- Actualización

1.2.2 Clasificación de las normas

a) Fundamentales

Ejemplos de estas normas fundamentales son las relativas al Sistema Internacional de Unidades (S.I.), normas para símbolos matemáticos; terminología, definiciones y símbolos para engranes, terminología y definiciones usadas en el campo de las vibraciones mecánicas, etc.

b) Generales

Ejemplos: norma para la redacción de una norma; normas para ensayos, de embalaje, etc.

c) De productos

Estas se dividen en normas de materiales y normas de productos complejos, ejemplos: designación normalizada de los aceros al carbono, normas para la verificación geométrica de máquinas-herramienta, tipos de narices para los husillos de tomo, etc.

1.2.3 Alcance de una norma

El alcance de una norma es el nivel en que se aplica. Los niveles pueden ser: de empresa, de industria (conjunto de empresas fabricantes de un mismo producto), nacional, regional e internacional. Ejemplos de normas en sus distintos niveles son:

- De empresa: normas AHMSA, HYLISA, PEMEX, CFE, etc.
- De industria: normas API, ASTM, AISI, SAE, NEMA, etc.
- Nacionales: normas NOM (mexicanas), ANSI (estadounidenses), BSI (inglesas), DIN (alemanas), NF (francesas), UNE (españolas), UNI (italianas), AS (australianas), etc; (véanse las portadas de algunas de estas normas en las figuras 1.4 a 1.6)
- Regionales: normas ILAFA (Industria Latinoamericana del Fierro y del Acero), COPANT (Comité Panamericano de Normalización Técnica), etc.
- Internacionales: normas ISO (véase portada en la figura 1.7), normas IEEE (The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.), etc.

1.2.4 Desarrollo de una norma ISO

Para que un documento de la ISO alcance el nivel de norma internacional, debe pasar por tres fases previas:

1. Recomendación ISO (ISO/R XXX)
2. Anteproyecto de norma ISO (ISO/DP XXX)
3. Proyecto de norma internacional (ISO/DIS XXX)

En cada una de estas fases el documento es preparado por un grupo de trabajo (WG) formado por organismos nacionales de normalización y sometido a revisión entre todos los organismos nacionales participantes del comité técnico (TC) respectivo.



SECRETARIA DE COMERCIO
Y
FOMENTO INDUSTRIAL

NORMA OFICIAL MEXICANA

NOM-8-81-1992

"REQUISITOS GENERALES PARA PIEZAS VACIADAS DE
ACERO AL CARBONO O ALEADO PARA USARSE EN LA
INDUSTRIA EN GENERAL"

"Castings, steel carbon and alloy for general
industrial use, common requirements"

DIRECCION GENERAL DE NORMAS

571-1677/9.4-88

Figura 1.4 Portada de una norma oficial mexicana.

AMERICAN NATIONAL STANDARD

General Tolerances for Metric Dimensioned Products

ANSI B4.3 - 1978

SECRETARIAT

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS

PUBLISHED BY

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS

United Engineering Center 345 East 47th Street New York, N. Y. 10017

Figura 1.5 Portada de una norma oficial de los Estados Unidos de América.

AS 2675—1983,
UDC 614.002:615.43

Australian Standard 2675—1983

PORTABLE FIRST AID KITS FOR USE BY CONSUMERS

[Title Allocated by Defence Cataloguing Authority:
FIRST AID KIT, GENERAL PURPOSE (Household)]
(NATO Supply Classification: 6545)



STANDARDS ASSOCIATION OF AUSTRALIA
Incorporated by Royal Charter

8

Figura 1.6 Portada de una norma oficial de Australia.

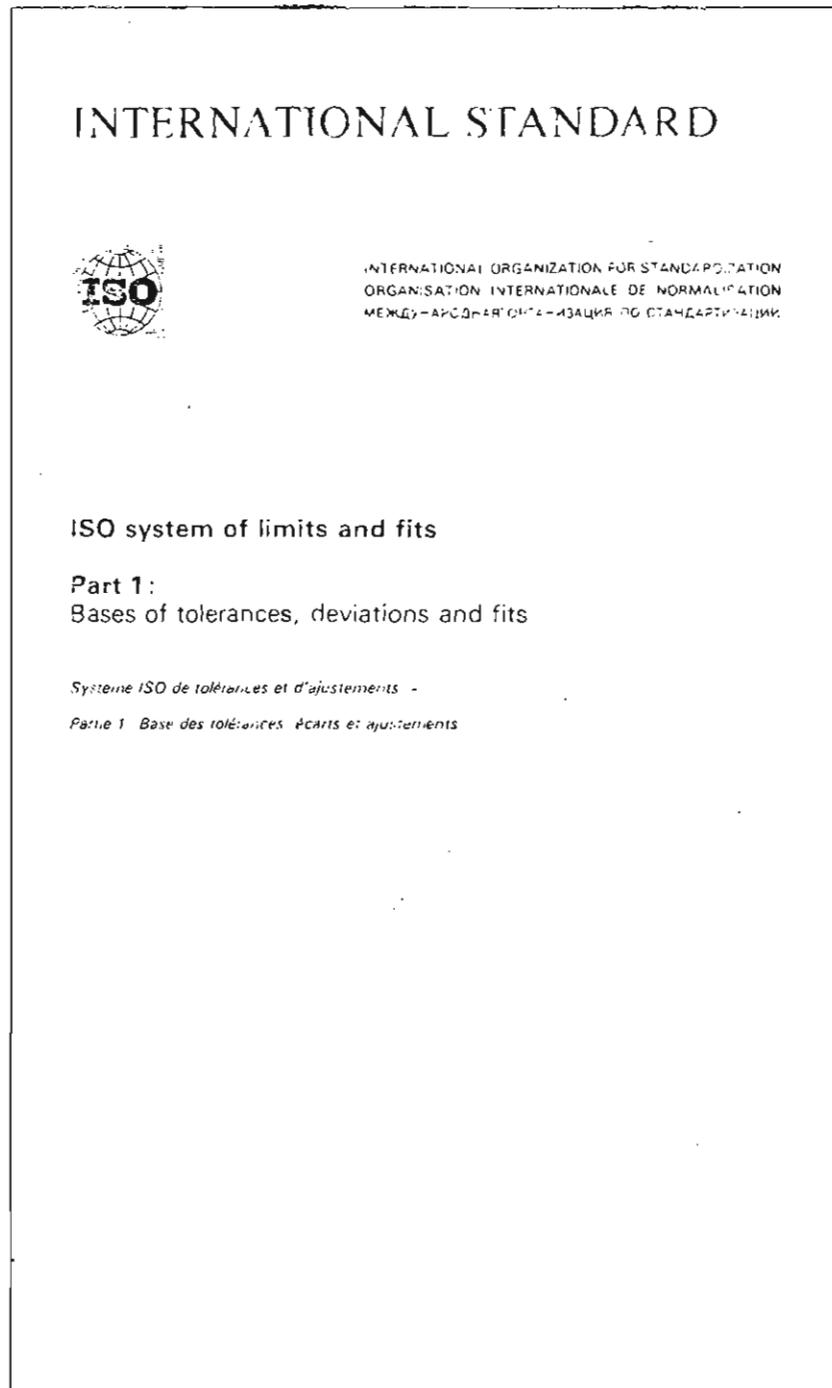


Figura 1.7 Portada de una norma internacional ISO.

Los documentos se identifican con la designación entre paréntesis anterior; (véanse ejemplos en la figura 1.9).

Cuando en una actividad determinada el avance tecnológico es acelerado, las normas respectivas se modifican y actualizan y en este caso la fase previa es la de PROYECTO DE NORMA INTERNACIONAL ISO (ISO/DIS XXX). La vigencia mínima de una norma puede ser hasta de 5 años en algunos casos.

1.2.5 Organización de la ISO

La Organización Internacional para la Normalización (I.S.O) está estructurada (figura 1.8) por un Comité Central (C.C.) con sede permanente en Suiza, por Comités Técnicos (T.C.) responsables de la normalización en campos específicos de la ciencia y tecnología (figura 1.10), por Subcomités (S.C.) y finalmente por Grupos de Trabajo (W.G.)

1.2.6 Normas Mexicanas

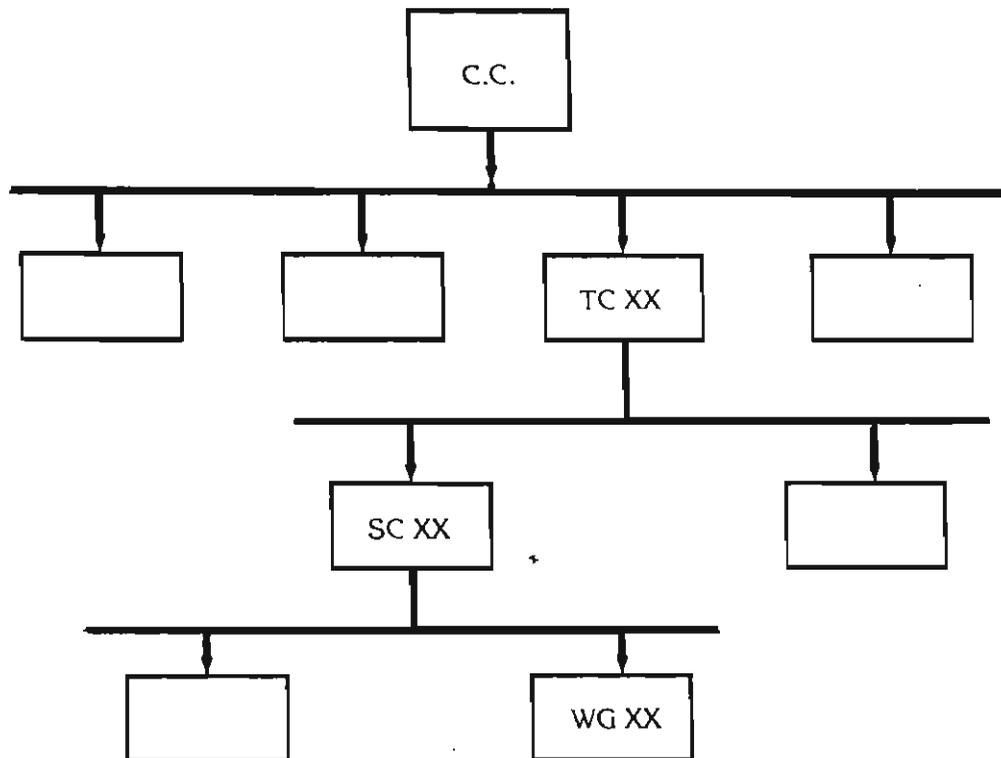
Se identifican con las letras "NOM" (Norma Oficial Mexicana), siendo la Dirección General de Normas (D.G.N) dependiente de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), el organismo encargado, a través de comités técnicos, de la coordinación de proveedores y consumidores para la formulación, revisión y aprobación de normas o de la revisión y actualización de las ya existentes.

La DGN es el organismo que representa a México ante la ISO y forma parte de varios Comités Técnicos como miembro observador o participante.

Las normas NOM son publicadas en el Diario Oficial de la Federación después de ser aprobadas por la DGN.

En la figura 1.11 se enlistan algunas normas mexicanas relativas a la industria siderúrgica.

Figura 1.8 Estructura de la ISO.



REFERENCE	T A B L E	T I T R E	STAGE AC PR
T C 1 0 8 (CONTINUED) / (SUITE)			
DIS 5347-14	88-11	Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups -- Part 14 : Resonance frequency testing of undamped accelerometers on a steel block	4.2 4.1 88-03
DIS 5347-15	88-11	Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups -- Part 15 : Testing of acoustic sensitivity testing	4.2 4.1 88-03
DIS 5347-16	88-11	Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups -- Part 16 : Testing of counting torque sensitivity	4.2 4.1 88-03
DIS 5347-17	88-11	Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups -- Part 17 : Testing of fixed temperature sensitivity	4.2 4.1 88-03
DIS 5347-18	88-11	Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups -- Part 18 : Testing of transient temperature sensitivity	4.2 4.1 88-03
DIS 5347-19	88-11	Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups -- Part 19 : Testing of magnetic field sensitivity	4.2 4.1 88-03
DP 5406	91-02	2 Mechanical vibration -- Mechanical balancing of flexible rotors a (Revision of ISO 5406:1980 and ISO 5343:1983)	2.1 1.1 88-02
DP 5406	91-02	2 Mechanical vibration and shock affecting man -- Vocabulary a (Revision of ISO 5805:1981)	2.1 1.2 88-02
DP 5892	91-02	2 Vibration and shock -- Combined model for whole-body response and transmissibility a (Revision of ISO 5382:1981 and ISO 7962:1987)	2.1 1.2 88-02
DIS 7626-2	88-08	Vibration and shock -- Experimental determination of mechanical mobility -- Part 2 : Measurements using single-point translation exciters with an attached vibration exciter	4.4 4.2 88-03
DP 7626-3	92-08	Methods for experimental determination of mechanical mobility -- Part 3 : Mobility measurements using rotational excitation at a single point	2.1 1.2 83-09
DP 7626-4	92-08	Methods for experimental determination of mechanical mobility -- Part 4 : Measurements of the entire mobility matrix using attached exciters	2.1 1.1 83-09
DP 7626-5	92-08	Methods for experimental determination of mechanical mobility -- Part 5 : Measurement using impact excitation with an exciter which is not attached to the structure	2.1 1.1 83-09
DP 7626-6	91-02	Vibration and shock -- Methods for experimental determination of mechanical mobility -- Part 6 : Mobility data interchange format	2.1 1.2 85-06
DP 7626-7	91-02	Vibrations and shocks -- methods for experimental determination of mechanical mobility -- Part 7 : Modal parameter estimation	2.1 1.2 85-06
DP 7919-1	91-02	Mechanical vibration of non-reciprocating machines -- Measurements on rotating shafts and evaluation -- Part 1 : General guidelines ADDENDUM 1 to ISO 7919-1	2.1 1.1 87-11
DP 7919-2	91-10	Mechanical vibration of non-reciprocating machines -- Measurements on rotating shafts and evaluation -- Part 2 : Large diameter non-rotating shafts	2.2 2.1 87-12
DP 7919-3	91-10	Mechanical vibration of non-reciprocating machines -- Measurements on rotating shafts and evaluation -- Part 3 : Industrial turbomachinery	2.2 2.1 87-12

Figura 1.9 Programa Técnico 1988 para el TC 108 de la ISO.

SC 5	AFNOR	Metal spraying	Métallisation au pistolet
SC 6	DIN	Vitreous and porcelain enamels	Émaux vitrifiés
SC 7	PKNMIJ	Corrosion tests	Essais de corrosion
WG 1	PKNMIJ	Electrochemical corrosion — EP test	Essai de corrosion électrochimique — Essai EP
SC 8	SIS	Chemical conversion coatings	Revêtements de conversion chimique

TC 108 <small>1985</small>	Mechanical vibration and shock	Vibrations et chocs mécaniques
<p><i>Secretariat / Secrétariat :</i></p> <p>ANSI see / voir p. 134 <i>(Dr. A. Brezig)</i></p> <p><i>Chairman / Président :</i> Mr. R. G. Bartsch USA <i>(1986)</i></p>	<p>Scope</p> <p>Standardization in the field of mechanical vibration and shock, including:</p> <ul style="list-style-type: none"> — terminology; — excitation by sources, such as machines, and vibration and shock testing devices; — elimination, reduction and control, especially by balancing, isolation and damping; — measurement and evaluation of human shock and vibration exposure; — methods and means of measurement and calibration; — methods of testing. <p>Liaison with ISO/TC 43 — Acoustics and IEC/TC 29 — Electroacoustics, on a mutually agreed basis.</p>	<p>Domaine des travaux</p> <p>Normalisation dans le domaine des vibrations et chocs mécaniques, comprenant:</p> <ul style="list-style-type: none"> — terminologie; — leur génération ayant pour origine par exemple des machines, ainsi que les appareils d'essais pour chocs et vibrations; — leur élimination, atténuation et correction, particulièrement par équilibrage, isolateurs et amortissement; — le mesurage et l'évaluation de l'exposition des individus aux chocs et aux vibrations; — les méthodes et moyens de les mesurer et de les étalonner; — les méthodes d'essais. <p>Liaison avec l'ISO/TC 43 — Acoustique, et le CEI/CE 29 — Electroacoustique, selon les dispositions à prendre en commun.</p>
	<p><i>Participating countries / Pays participants: 17</i></p> <p><i>Observer countries / Pays observateurs: 26</i></p> <p><i>Last plenary meeting / Dernière réunion plénière: September / septembre 1985</i></p> <p><i>Liaison: ISO/TC 20, 43, 45, 159</i> <i>IEC/TC 87</i></p>	

Ref.	Secr.	Committee structure	Structure du comité
		Secretariat Steering Committee on shock Terminology	Comité de direction du secrétariat sur les chocs Terminologie
WG 1	ANSI	Vibration testing equipment	Moyens d'essais aux vibrations
WG 4	UNJ	Analytical methods for assessing the shock resistance of mechanical systems	Méthodes analytiques pour l'évaluation de la résistance aux chocs des systèmes mécaniques
WG 13	ANSI	Use of materials for damping of vibrating structures	Utilisation des matériaux pour l'amortissement des structures vibrantes
WG 14	ANSI	Mechanical mobility	Mobilité mécanique
WG 15	—	Shock testing machines	Machines d'essais pour chocs
WG 16	SIS	Methods for measuring and reporting data on vibration and shock resistance of motion-sensitive equipment	Méthodes de mesurage et de présentation des résultats des vibrations et de la résistance aux chocs des appareils sensibles aux mouvements
SC 1	ANSI	Balancing, including balancing machines	Équilibrage, y compris les machines à équilibrer
WG 1	BSI	Balancing terminology	Terminologie
WG 2	DIN	Sensitivity to unbalance	Sensibilité au déséquilibre
WG 3	ANSI	Shaft key convention	Convention sur les axes
WG 4	ANSI	Revision of ISO 2371-1974	Révision de l'ISO 2371-1974
WG 6	BSI	Revision of ISO 5406-1980	Révision de l'ISO 5406-1980
WG 8	DIN	Balance quality of rigid rotors	Qualité d'équilibrage des rotors rigides
SC 2	DIN	Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures	Mesure et évaluation des vibrations et chocs mécaniques intéressant les machines, les véhicules et les structures
WG 1	BSI	Vibration of machines	Vibrations des machines
WG 2	DIN	Vibration of ships	Vibrations dans les structures marines
WG 3	DIN	Vibration of stationary structures	Vibrations des structures fixes
WG 4	ANSI	Vibration of land vehicles	Vibrations des véhicules terrestres

Figura 1.10 Ejemplos de Comités Técnicos (T.C.), Subcomités Técnicos (S.C.) y Grupos de Trabajo (W.G.) de la ISO.

NORMA NOM	TÍTULO DE LA NORMA	NORMAS DE REFERENCIA
B 1	Métodos de análisis químico para determinar la composición de aceros y fundiciones	
B 2 ✓	Piezas coladas de fundición gris para la industria automotriz	ASTM-A158
B 3	Método de prueba de flexión estática para fundición gris (prueba de carga transversal)	ASTM-A438
B 5	Método de prueba de doblado libre para ductilidad de soldadura	ASTM-E16 USASI-Z-115.3
B 6	Varillas corrugadas de acero, procedentes de lingote o palanquilla, para refuerzo de concreto	ASTM-A615
B 7	Arrabio para fundición	
B 8 ✓	Piezas coladas de fundición gris	COPANT 2:6-020
B 9	Láminas de acero al carbono galvanizadas (calidad comercial)	ASTM-A526
B 10	Tubos de acero al carbono, con o sin costura, negros o galvanizados por inmersión en caliente, para usos comunes	ASTM-A120
B 17	Rieles de acero al carbono de horno de hogar abierto, para vías férreas	ASTM-A1
B 18	Varillas corrugadas de acero, procedentes de riel, para refuerzo de concreto	ASTM-A616
B 19	Nomenclatura para materiales usados en la industria siderúrgica	COPANT 2:2-003
B 23	Requisitos generales de calidad para tuercas de acero	SAE J 995 ISO/R 898/II DIN 267
B 25	Clavos de acero de bajo carbono para vías férreas	ASTM-A65 AREA 1963
B 26	Método para determinar la dureza de materiales metálicos por penetración rápida	ASTM-E103
B 28	Láminas de acero al carbono calidad comercial, laminadas en frío	ASTM-A366
B 29	Método para la determinación del módulo de Young a temperatura ambiente	ASTM-E111
B 31	Planchuelas de acero de bajo carbono	ASTM-A3
B 32	Varillas corrugadas de acero, procedentes de eje, para refuerzo de concreto	ASTM-A617
B 33	Placas de asiento de acero de bajo carbono para vías férreas	ASTM-A67 AREA 1964
B 38	Acero estructural para puentes y edificios	ASTM-A7
B 40	Ferromanganeso	ASTM-A99
B 42	Lámina empleada en la fabricación de recipientes portátiles para gas licuado de petróleo	
B 48	Ferrosilicio	ASTM-A100
B 51	Método de prueba de doblado semiguaido para ductilidad de materiales metálicos	ASTM-E290 ANSI-Z-168.11
B 55	Requisitos generales para la entrega de láminas de acero galvanizadas por el proceso de inmersión en caliente	ASTM-A526
B 62	Piezas coladas de fundición gris, no sujetas a presión, para uso en altas temperaturas	ASTM-A319
B 80	Métodos para la verificación de máquinas de prueba	ASTM-E4 ANSI-Z-115.1
B 82	Aceros para herramientas	

Figura 1.11 Normas mexicanas de la industria siderúrgica.

Capítulo 2

Procesos de obtención del hierro y acero

En general, el proceso para obtener los metales se muestra en la figura 2.1.

2.1 OBTENCIÓN DEL HIERRO

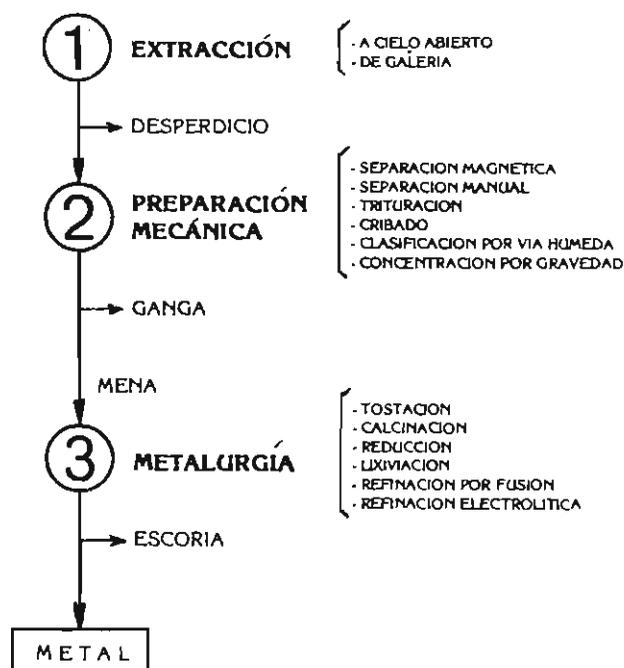
Los procesos más comerciales para la obtención del hierro son el del alto horno de combustión (figura 2.2) en donde se tiene reducción y fusión del hierro, y el de reducción directa (no hay fusión).

2.1.1 Proceso de alto horno de combustión

La figura 2.2 muestra el alto horno para la reducción y fusión del metal.

La carga del horno está constituida por capas alternadas, de abajo hacia arriba, de coque o carbón mineral, piedra caliza y mineral, y así sucesivamente.

Figura 2.1 Obtención de los metales.



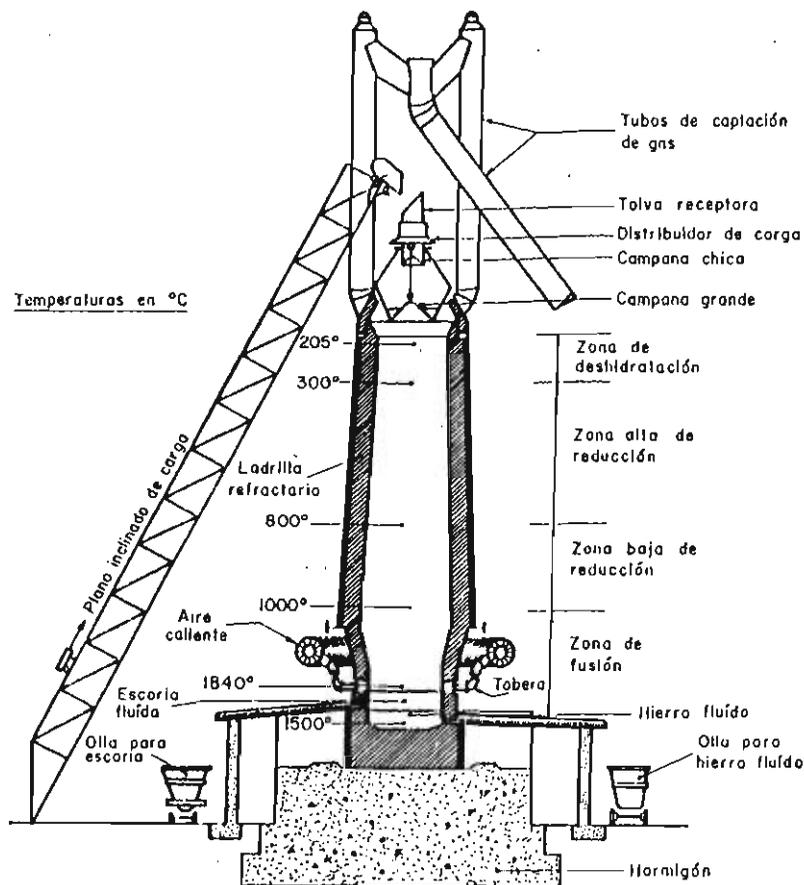


Figura 2.2 Alto horno de combustión.

El coque es el combustible y agente reductor y la piedra caliza actúa como fundente y purificador en el proceso:

- La escoria flota sobre el metal líquido y se extrae continuamente.
- El arrabio o hierro de primera fusión se extrae aproximadamente cada 5 horas.
- La producción de un horno es hasta de 4,000 Ton/día.
- Los ciclos de trabajo continuo duran de 3 a 5 años.

En la figura 2.3 se muestra el diagrama del proceso.

Por el color de su fractura el arrabio se clasifica en gris, atruchado y blanco, y esto depende del porcen-

taje de coque que se utiliza en la carga del horno. Las características del arrabio gris y blanco se dan en la tabla 2.1

Un enfriamiento lento y la presencia de silicio (Si) y aluminio (Al) favorecen la formación de grafito, mientras que el manganeso (Mn) la retrasa.

El hierro blanco contiene 3% de C, es decir, 45% de Fe_3C , al fundir pasa por un estado pastoso, después del cual pasa rápidamente al estado líquido. El Fe_3C endurece el metal, baja su punto de fusión, destruye su maleabilidad y aumenta la fragilidad.

El Fe_3C es un compuesto estable que se disuelve fácilmente con Fe fundido.

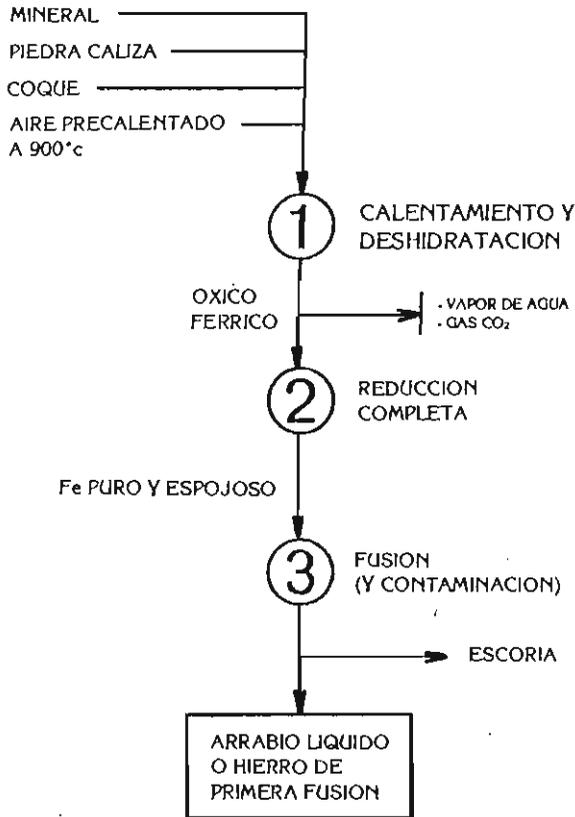


Figura 2.3 Diagrama del proceso.

En la tabla 2.2 se muestra la composición química de los tipos y grados de calidad para el arrabio en lingotes destinado a las fundiciones grises, según la norma NOM B-7-1986. La masa del lingote no debe exceder de 50 kg.

En la tabla 2.3 se muestra la composición química de los tipos y grados de calidad para el arrabio en lingotes destinado a los procesos de aceración, según la norma NOM B-232-1986. Los lingotes deben tener la forma adecuada para facilitar su división en trozos (panes) de hasta 20 kg de masa.

Del alto horno se obtienen también las ferroaleaciones que se utilizan en los procesos de aceración.

1. Ferromanganeso (NOM B40)
2. Ferrosilicio (NOM B48)
3. Ferrocromo (NOM B220)
4. Ferroboro (NOM B221)
5. Ferrotitanio (NOM B222)
6. Ferrocromo-silicio (NOM B223)
7. Ferrovandio (NOM B224)
8. Ferrotungsteno (NOM B225)
9. Ferromolibdeno (NOM B228)
10. Ferróniquel (NOM B233)
11. Ferrofósforo (NOM B235)
12. Ferrocolumbio (NOM B236)

Tabla 2.1 Clasificación del arrabio.

CARACTERÍSTICA	GRIS (PARA FUNDICIÓN)	ATRUCHADO	BLANCO (PARA ACERACIÓN)
1 Carga de coque	900 - 1500 kg.		830 - 900 kg
2 Tipo de marcha	caliente		fria
3 Grado de reducción	completa		incompleta
4 Temperatura de fusión	1500 °C		< 1500 °C
5 Fluidez	mayor		menor
6 Enfriamiento del lingote	lento		rápido
7 Contenido de carbono	3 - 4.5 %		2 - 3 %
8 Forma del carbono	grafito	grafito + Fe ₃ C	Fe ₃ C
9 Contenido de Silicio	> 1.5 %		≤ 1.5 %
10 Impurezas	P, Mn S 0.05 % max.		P, Mn S 0.06 % max.
11 Densidad	7.1 kg/dm ³		7.5 kg/dm ³
12 Fragilidad	menor		mayor

Grado	Silicio %	Fósforo %	Manganeso %	Azufre %
ARRABIO BAJO FÓSFORO ESPECIAL				
BFE - 0	1.51 - 1.75	0.10 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
BFE - 1	1.76 - 2.00	0.10 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
BFE - 2	2.01 - 2.25	0.10 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
BFE - 3	2.26 - 2.50	0.10 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
BFE - 4	2.51 - 2.75	0.10 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
ARRABIO BAJO FÓSFORO				
BF - 0	1.51 - 1.75	0.10 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
BF - 1	1.76 - 2.00	0.10 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
BF - 2	2.01 - 2.25	0.10 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
BF - 3	2.26 - 2.50	0.10 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
BF - 4	2.51 - 2.75	0.10 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
BF - 5	2.01 - 2.25	0.18 máx.	0.50 - 1.00	0.50 máx.
BF - 6	2.26 - 2.50	0.18 máx.	0.50 - 1.00	0.50 máx.
BF - 7	2.51 - 2.75	0.18 máx.	0.50 - 1.00	0.50 máx.
BF - 8	2.76 - 3.00	0.18 máx.	0.50 - 1.00	0.50 máx.
ARRABIO MEDIO FÓSFORO				
MF - 1	1.76 - 2.00	0.25 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
MF - 2	2.01 - 2.25	0.25 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
MF - 3	2.26 - 2.50	0.25 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
MF - 4	2.51 - 2.75	0.25 máx.	0.50 - 0.70	0.50 máx.
ARRABIO ALTO FÓSFORO				
AF - 1	1.76 - 2.00	0.35 - 0.65	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 2	2.01 - 2.25	0.35 - 0.65	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 3	2.26 - 2.50	0.35 - 0.65	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 4	2.51 - 2.75	0.35 - 0.65	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 5	2.76 - 3.00	0.35 - 0.65	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 6	3.01 - 3.25	0.35 - 0.65	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 7	3.26 - 3.50	0.35 - 0.65	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 8	3.51 - 3.75	0.35 - 0.65	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 9	1.76 - 2.00	0.50 - 1.00	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 10	2.01 - 2.25	0.50 - 1.00	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 11	2.26 - 2.50	0.50 - 1.00	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 12	2.51 - 2.75	0.50 - 1.00	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 13	2.76 - 3.00	0.50 - 1.00	0.50 - 0.70	0.050 máx.
AF - 14	3.01 - 3.25	0.50 - 1.00	0.50 - 0.70	0.050 máx.

Tabla 2.2 Composición química del arrabio para fundición.

Tabla 2.3 Composición química del arrabio para aceración.

Grado	Carbono	Silicio	Fósforo	Manganeso	Azufre
ARRABIO PARA ACERACIÓN ÁCIDO					
AA-a1	3.0 - 5.0 %	0.80 % máx.	0.65 % máx.	0.20 % máx.	0.06 % máx.
ARRABIO PARA ACERACIÓN BÁSICO					
AA-b1	3.0 - 5.0 %	0.50 - 1.50 %	0.50 - 1.00 %	0.50 - 1.00 %	0.06 % máx.
AA-b2	3.0 - 5.0 %	0.81 - 1.26 %	0.65 % máx.	0.20 % máx.	0.06 % máx.

Al cargar su horno eléctrico con fierro esponja HYL, habrá tomado el primer paso hacia la fabricación del mejor acero, económicamente. ¿Por qué?

Porque el fierro esponja HYL es de composición estable y pronosticable. Y es más económico y superior a la chatarra.

Con el fierro esponja HYL puede fabricar acero de calidad homogénea, incluyendo aceros especiales.



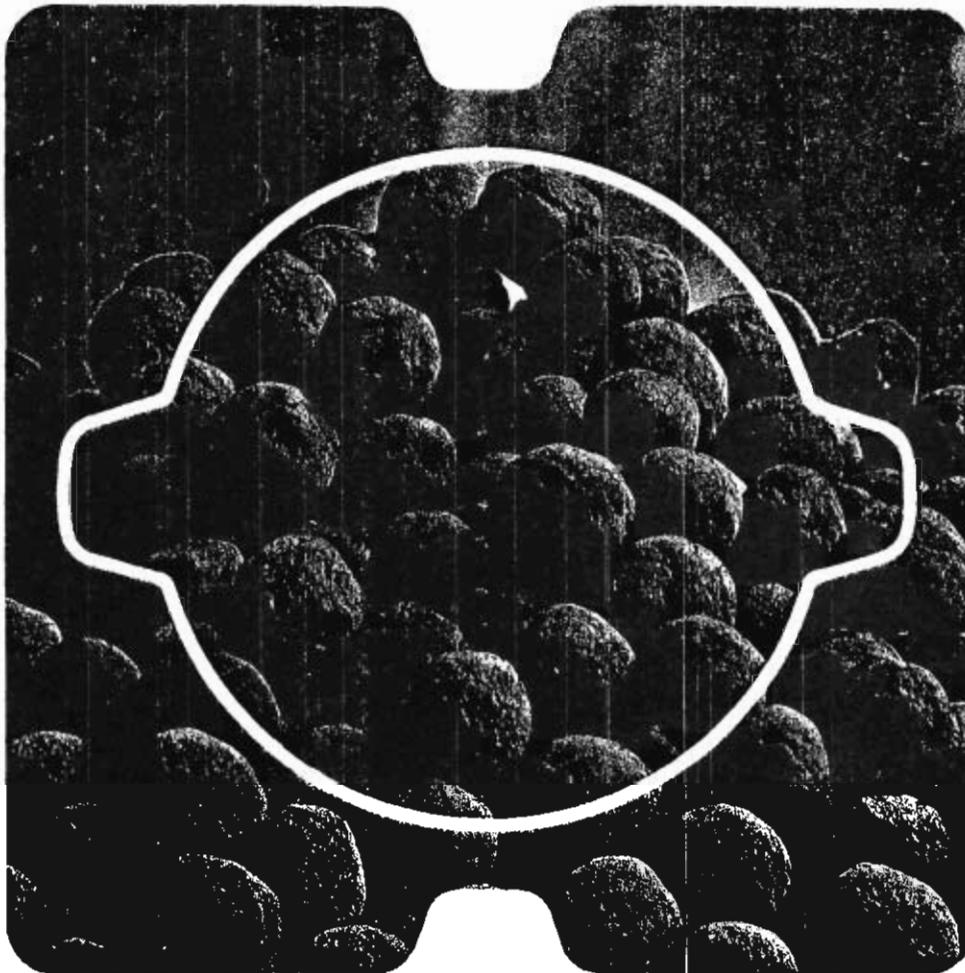
El fierro esponja HYL también puede utilizarse en fundición como parte de la carga de altos hornos con lo cual se obtiene un mayor rendimiento de acero líquido y una reducción en el consumo de coque.

Con fierro esponja HYL, fabricará el mejor acero.

Para mayores informes sobre fierro esponja HYL, escribanos o llámenos a:

HYL, Tecnología Siderúrgica
Una Empresa del Grupo Industrial ALFA
Apartado Postal 996 Monterrey, N.L. México.
Tel: (83) 51-25-35. TELEX: 038866 ó 038545

Con fierro esponja HYL se fabrica el mejor acero.



*MARCA REGISTRADA

Figura 2.4 Hierro esponja HYL.

2.1.2 Proceso de reducción directa

El proceso de reducción directa del metal fué desarrollado por la empresa mexicana Hojalata y Lámina S.A. y se le conoce como proceso HYL en el cual no se utiliza coque ni caliza, y el agente reductor y fuente de energía es gas natural. NO HAY FUSION del metal.

El proceso se lleva a cabo en 2 etapas:

- Reformación del gas
- Reducción del mineral

La reducción se lleva a cabo en 4 reactores idénticos que operan en 4 fases: descarga y carga, reducción secundaria, reducción primaria, y enfriamiento.

Eficiencia del proceso: aproximadamente del 90%.
Producto de la reducción directa: fierro esponja con un contenido de carbón de 1.8 a 2.1% (figura 2.4).

2.2 OBTENCIÓN DEL ACERO

El acero es una aleación cristalino-ferrosa, en la que el contenido de C no excede del 2% y siendo éste el elemento principal de aleación, pues también pueden estar en forma aleada, elementos como el Mn, Mo, Cr, Ni, V, Si.

Esta composición química da una estructura cristalina muy compleja, modificable mediante tratamiento térmico, termoquímico, por trabajo en frío o caliente.

2.2.1 Procesos de aceración

a) Convertidor

Recubrimiento interno

- **ácido (Convertidor Bessemer):** solamente para tratar cargas con un contenido de fósforo muy bajo, ejemplo: arrabio para fabricación de acero NOM B232 Grado AA-a1.

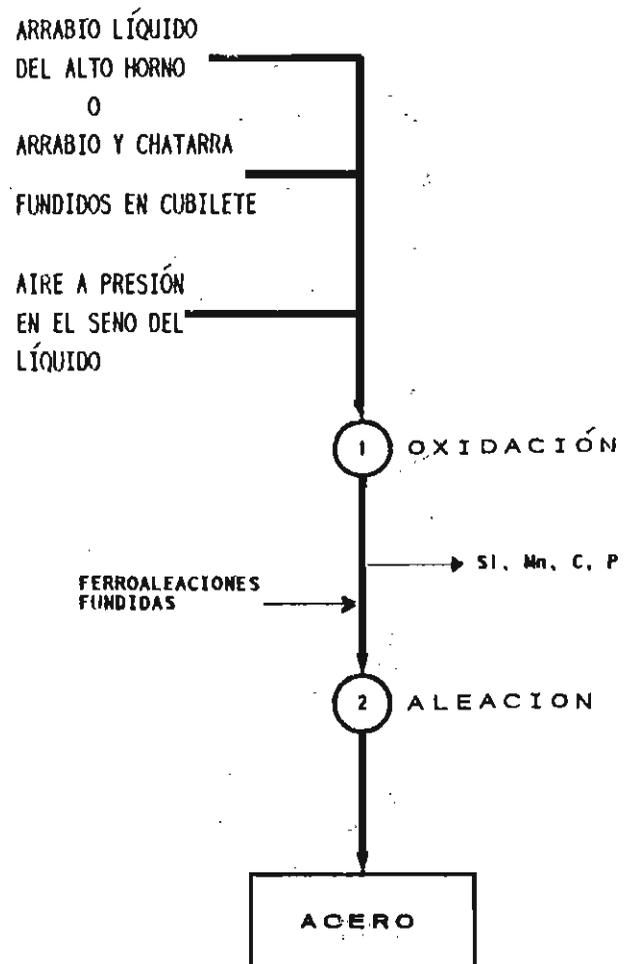
básico (Convertidor Thomas): permite la eliminación del fósforo de la carga, ejemplo: arrabio básico para fabricación de acero NOM B232 Grado AA-b1.

Duración del proceso: 20 minutos.

Magnitud de las cargas: 50 Ton. (bajo costo del acero).

En la figura 2.5 se muestra el diagrama de este proceso.

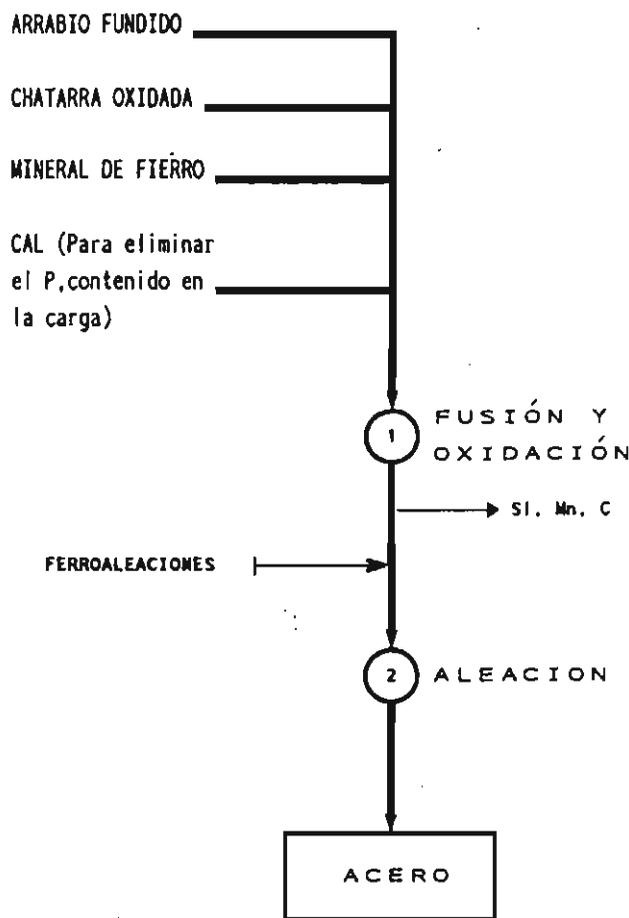
Figura 2.5 Proceso de aceración en convertidor.



b) Horno de hogar abierto (Horno Siemens Martin)

Recubrimiento interno: ácido o básico.
 Duración del proceso: 9 a 12 horas.
 Magnitud de las cargas: hasta 300 Ton.
 Acero obtenido: de composición química más precisa y uniforme que con el proceso de convertidor, con costos similares.
 El diagrama del proceso se muestra en la figura 2.6.

Figura 2.6 Proceso de aceración en horno de hogar abierto.



c) Básico al oxígeno

Se efectúa en hornos de hogar abierto, pero con inyección de oxígeno puro. Es el más comercial y de mejor calidad que el anterior. Los costos son ligeramente superiores que los anteriores.

d) Crisol

La carga es pedacería de acero de composición química conocida y los elementos de aleación necesarios, obteniéndose pequeñas cantidades de acero de alta calidad.

El crisol y su carga se calientan hasta la fusión de ésta, manteniéndose tapado.

El proceso dura unas 3 horas y la carga es de unos 50 kg.; el costo es elevado, comparado con los procesos anteriores.

e) Horno eléctrico

Tipos de horno: de electrodos de grafito, de inducción y de resistencias eléctricas, con recubrimiento ácido o básico.

Se obtienen cargas de 15 a 30 Ton. y la duración del proceso es de unas 6 horas. El acero obtenido es de composición química muy precisa y uniforme, fuertemente aleado.

Carga del Horno: arrabio y chatarra oxidada, en estado sólido o fundidos.

Primeramente se realiza la fusión, en seguida la afinación (oxidación del Si, Mn y C) y finalmente se realiza la fase de aleación agregando a la carga afinada, las ferroaleaciones adecuadas en estado líquido y en la cantidad necesaria para obtener la composición química deseada.

2.2.2 Tipos de acero

La carga de los hornos o convertidores se vacía en moldes para lingotes que por su masa necesitan de un tiempo considerable para su solidificación y enfria-

miento durante el cual continua la oxidación del carbono, con desprendimiento de gas carbónico, a menos que se reduzca dicha oxidación por la adición de silicio o de algún otro material desoxidante.

El control de la cantidad de gases formados durante el enfriamiento y la solidificación determina el tipo de acero, que puede ser efervescente, tapado, semicalmado y calmado.

a) Acero efervescente

De composición química variable, del exterior hacia el centro y del fondo hacia la parte superior del lingote.

Dichas transferencias en la composición persisten durante el proceso de laminación.

Estos aceros generalmente contienen menos de 0.25% de C y menos de 0.6% de Mn.

La capa exterior contiene menos C, P y S que el promedio del lingote, en tanto que en el corazón se tiene más C, P y S que el promedio del lingote.

b) Acero tapado

Para estos aceros, la parte superior del molde se tapa con una tapa metálica pesada reduciéndose el tiempo de enfriamiento y solidificación y también el desprendimiento de gases, lo que permite obtener un acero con menores diferencias locales en su composición química.

En lugar de tapar, se puede agregar aluminio o ferrosilicio en la parte superior del molde, para mantener en reposo la superficie del metal y tener así una rápida solidificación.

También puede emplearse material desoxidante durante el vaciado del acero en el molde o lingotera.

c) Acero semicalmado

Agregando una mayor cantidad de elementos antioxidantes durante el vaciado del acero en el molde,

puede reducirse la formación de gases, siendo aún más uniforme la composición química del acero.

d) Acero calmado

La adición de cantidades adecuadas de elementos desoxidantes como el Si y Al, reducen a un mínimo el desprendimiento de gases durante el enfriamiento y la solidificación del lingote, lo que permite obtener una composición química lo más uniforme posible.

El acero fundido permanece calmado en el molde; estos aceros son muy adecuados para la forja, la cementación y los tratamientos térmicos.

2.2.3 Clasificación según composición química y designación normalizada (NOM B-323)

a) Aceros al carbono (NOM B-324)

Son los aceros a los cuales no se les especifica contenido mínimo de Al, B, Cr, Co, Columbio, Mo, Ni, Ti, Va, Zr, etc., salvo los contenidos máximos de:

Mn	1.65%
Si	0.60%
Cu	0.40%

Según el contenido de carbono, éstos se clasifican en:

- aceros de bajo carbono 0.05 – 0.25% C.
- aceros de medio carbono 0.25 – 0.50% C.
- aceros de alto carbono 0.50 – 1.00% C.

a.1) Aceros al carbono propiamente (0.05% max de S)

- Laminados o forjados: se designan con 4 dígitos iniciando con el 10 (NOM 10XX)
- Fundidos: su designación es diferente a la de los aceros laminados, ejemplo: ASTM A216 Grado WCB (NOM B356).

a.2) Aceros al carbono de fácil maquinado

Laminados exclusivamente:

- NOM 11XX (NOM 1113: 100% de maquinabilidad)
- NOM 12L13, NOM 12L14: contienen plomo.

b) Aceros aleados

Son los aceros que contienen cantidades mayores de manganeso (Mn), silicio (Si) y cobre (Cu) a las especificadas para los aceros al carbón, además de otros elementos. Contienen fósforo (P) y azufre (S).

El porcentaje de elementos aleados en estos aceros generalmente es menor de 2.5%.

Laminados o forjados (véase tabla 2.4):

- aceros al Mn: NOM 13XX
- aceros al Si-Mn: NOM 9255 y 9260
- aceros al Cr: NOM 50XX - 51XX - 52XX - 92XX
- aceros al Mo: NOM 40XX y 44XX
- aceros al Cr-Mo: NOM 41XX
- aceros al Ni-Mo: NOM 46XX y 48XX
- aceros al Cr-V: NOM 6118 y 6150
- aceros al Ni-Cr-Mo: NOM 43XX - 47XX - 81XX - 86XX - 87XX, 8822 - 9310 - 94XX

Especiales:

- aceros al Cr: NOM 50100, 51100, 52100.
- aceros al Cr e intensificados al Boro: NOM 50b46, 50b50, 50b60, 51B60.
- aceros al Ni-Cr-Mo: NOM E4340.
- aceros al Ni-Cr-Mo e intensificados al Boro: NOM 81B45, 86B45, 94B15, 94B17.

Fundidos: ejemplos NOM B354 y NOM B355

c) Aceros inoxidables y resistentes al calor (NOM B326)

El porcentaje de elementos aleados en estos aceros es mayor al 10%.

c.1) Austeníticos

Contenidos típicos de Cr y Ni: 16 a 26% Cr - 3.5 a 22% Ni.

Composición más comercial: 18% Cr - 8% Ni. (NOM 304)

La adición de Ni estabiliza la austenita a tal grado que la aleación es austenítica aún a temperatura ambiente.

Pueden endurecerse por trabajo mecánico en frío pero no con tratamiento térmico.

Son antimagnéticos.

– **Laminados** (véase tabla 2.5):

- aceros al Cr - Ni - Mn: NOM 202, NOM 210
- aceros al Cr - Ni: NOM 301, NOM 302, etc.

– **Fundidos**

- ejemplo: NOM B351 (ASTM A128)

c.2) Martensíticos

Contenido menor de Cr: 11.5 - 18%, contenido de C: 0.15 - 1.2%

Son suaves a temperatura ambiente pero austenítico a temperaturas elevadas.

Al enfriarse rápidamente, forman martensita (se templean) y pueden revenirse.

Son magnéticos.

Ejemplos de aceros laminados (tabla 2.6): NOM 403, 410, 414, 416, 420, 431

c.3) Ferríticos

Contenido de Cr: 12 - 27%, contenido de C: 0.08 - 0.20%

Son bajos en C pero altos en contenido de Cr con relación a los martensíticos.

Son ferríticos a temperatura ambiente.

No forman austenita a temperaturas elevadas.

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS ALEADOS (análisis de colada)

Designación NOM	% Carbono		% Manganeso		% P máx.	% S máx.	% Silicio		% Níquel	% Cromo	% Molibdeno	% Vanadio
1330	0.28	0.33	1.60	1.90	0.035	0.04	0.20	0.35				
1335	0.33	0.38	1.60	1.90	0.035	0.04	0.20	0.35				
1340	0.38	0.43	1.60	1.90	0.035	0.04	0.20	0.35				
1345	0.43	0.48	1.60	1.90	0.035	0.04	0.20	0.35				
9255	0.51	0.59	0.70	0.95	0.035	0.04	1.80	2.20				
9260	0.56	0.64	0.75	1.00	0.035	0.04	1.80	2.20				
5015	1.12	0.17	0.30	0.50	0.035	0.04	0.20	0.35	0.30	0.50		
50B40	0.38	0.43	0.75	0.50	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.60		
50B44	0.43	0.48	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.60		
5046	0.43	0.48	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.20	3.35		
50B46 (c)	0.44	0.49	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.20	0.35		
50B50 (c)	0.48	0.53	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.60		
50B60 (c)	0.56	0.64	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.60		
5115	0.13	0.18	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.70	0.90		
5120	0.17	0.22	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.70	0.90		
5130	0.28	0.33	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.80	1.10		
5132	0.30	0.35	0.60	0.80	0.035	0.04	0.20	0.35	0.75	1.00		
5135	0.33	0.38	0.60	0.80	0.035	0.04	0.20	0.35	0.80	1.05		
5140	0.38	0.43	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.70	0.90		
5145	0.43	0.48	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.70	0.90		
5147	0.46	0.51	0.70	0.95	0.035	0.04	0.20	0.35	0.85	1.15		
5150	0.48	0.53	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.70	0.90		
5155	0.51	0.59	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.70	0.90		
5160	0.56	0.64	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.70	0.90		
51B60 (c)	0.56	0.64	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.70	0.90		
50100 (b)	0.98	1.10	0.25	0.45	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.60		
51100 (b)	0.98	1.10	0.25	0.45	0.035	0.04	0.20	0.35	0.90	1.15		
52100 (b)	0.98	1.10	0.25	0.45	0.035	0.04	0.20	0.35	1.30	1.60		
9254	0.51	0.54	0.50	0.80	0.035	0.04	0.20	0.35	0.50	0.80		

Tabla 2.4 Composición química de los aceros aleados (análisis de colada).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS ALEADOS (análisis de colada)

Designación NOM	% Carbono		% Manganeso		% P máx.	% S máx.	% Silicio		% Níquel	% Cromo	% Molibdeno	% Vanadio
4012	0.09	0.14	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35			0.15	0.25
4023	0.20	0.25	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30
4024	0.20	0.25	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30
4027	0.25	0.30	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.03
4028	0.25	0.30	0.70	0.90	0.035	0.04	1.80	2.20			0.20	0.30
4032	0.30	0.35	0.70	0.90	0.035	0.04	1.80	2.20			0.20	0.30
4037	0.35	0.40	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30
4042	0.40	0.45	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30
4047	0.45	0.50	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30
4419	0.18	0.23	0.45	0.65	0.035	0.04	0.20	0.35			0.45	0.60
4422	0.20	0.25	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35			0.35	0.45
4427	0.24	0.29	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35			0.35	0.45
4118	0.18	0.23	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35		0.40	0.60	0.15
4130	0.28	0.33	0.40	0.60	0.035	0.04	0.20	0.35		0.80	1.10	0.15
4135	0.33	0.38	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35		0.80	1.10	0.15
4137	0.35	0.40	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35		0.80	1.10	0.15
4140	0.38	0.43	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35		0.80	1.10	0.15
4142	0.40	0.45	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35		0.80	1.10	0.15
4145	0.43	0.48	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35		0.80	1.10	0.15
4147	0.45	0.50	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35		0.80	1.10	0.15
4150	0.48	0.53	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35		0.80	1.10	0.15
4161	0.55	0.65	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35		0.70	0.90	0.25
4615	0.13	0.18	0.45	0.65	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30
4617	0.15	0.20	0.45	0.65	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30
4620	0.17	0.22	0.45	0.65	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30
4621	0.18	0.23	0.45	0.65	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30
4626	0.24	0.29	0.45	0.65	0.035	0.04	0.20	0.35			0.15	0.25
4815	0.13	0.18	0.40	0.60	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30
4817	0.15	0.20	0.40	0.60	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30
4820	0.18	0.23	0.50	0.70	0.035	0.04	0.20	0.35			0.20	0.30

Tabla 2.4 (continuación)

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS ALEADOS (análisis de colada)

Designación NOM	% Carbono		% Manganeso		% P máx.	% S máx.	% Silicio	% Níquel	% Cromo	% Molibdeno	% Vanadio			
6118	0.16	0.21	0.50	0.70	0.035	0.04	0.20	0.35	0.50	0.70	0.10	0.15		
6150	0.48	0.53	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.80	1.10		0.15		
4320	0.17	0.22	0.45	0.65	0.035	0.04	0.20	0.35	1.65	2.00	0.20	0.30		
4340	0.38	0.43	0.60	0.65	0.035	0.04	0.20	0.35	1.65	2.00	0.20	0.30		
E4340	0.38	0.43	0.65	0.85	0.025	0.028	0.20	0.35	1.65	2.00	0.20	0.30		
4718	0.16	0.21	0.70	0.90					0.90	1.20	0.35	0.40		
4720	0.17	0.22	0.50	0.70	0.035	0.04	0.20	0.35	0.90	1.20	0.35	0.15	0.25	
8115	0.13	0.18	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.20	0.40	0.30	0.50	0.15	
81B45	0.43	0.18	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.20	0.40	0.35	0.55	0.08	0.15
8615	0.13	0.18	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8617	0.15	0.20	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8620	0.18	0.23	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8622	0.20	0.25	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8625	0.23	0.28	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8627	0.25	0.30	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8630	0.28	0.33	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8637	0.35	0.40	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8640	0.38	0.43	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8642	0.40	0.45	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8645	0.43	0.48	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
86B45 (c)	0.43	0.48	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8650	0.48	0.53	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8655	0.51	0.59	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8660	0.56	0.64	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.15	0.25
8720	0.18	0.23	0.70	0.90	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.20	0.30
8740	0.38	0.43	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.20	0.30
8822	0.20	0.25	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.40	0.70	0.40	0.60	0.30	0.40
9310 (b)	0.08	0.13	0.45	0.65	0.025	0.025	0.20	0.35	3.00	3.50	1.00	1.40	0.08	0.15
94B15 (c)	0.13	0.18	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.30	0.60	0.30	0.50	0.08	0.15
94B30	0.28	0.33	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.30	0.60	0.30	0.50	0.08	0.15
94B17 (c)	0.15	0.20	0.75	1.00	0.035	0.04	0.20	0.35	0.30	0.60	0.30	0.50	0.08	0.15

Tabla 2.4 (continuación)

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS INOXIDABLES (análisis de colada)

Designación NOM	% C máx.	% Mn máx.	% P máx.	% S máx.	% Si máx.	% Cromo		% Níquel		% Molibdeno	% otros elementos
201	0.15	7.50	0.06	0.03	1.00	16.00	18.00	3.50	5.50		N, 0.25 máx.
202	0.15	10.00	0.06	0.03	1.00	17.00	19.00	4.00	6.00		N, 0.25 máx.
301	0.15	2.00	0.04	0.03	1.00	16.00	18.00	6.00	8.00		
302	0.15	2.00	0.045	0.03	1.00	17.00	19.00	8.00	10.00		
302B	0.15	2.00	0.045	0.03	3.00	17.00	19.00	8.00	10.00		
303	0.15	2.00	0.2	0.15	1.00	17.00	19.00	8.00	10.00	0.60	o Zr, 0.60 máx.
303Se	0.15	2.00	0.2	0.06	1.00	17.00	19.00	8.00	10.00		Se, 0.15 máx.
304	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	18.00	20.00	8.00	12.00		
304L	0.03	2.00	0.045	0.03	1.00	18.00	20.00	8.00	12.00		
305	0.12	2.00	0.045	0.03	1.00	17.00	19.00	10.00	13.00		
308	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	19.00	21.00	10.00	12.00		
309	0.20	2.00	0.045	0.03	1.00	22.00	24.00	12.00	15.00		
309s	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	22.00	24.00	12.00	15.00		
310	0.25	2.00	0.045	0.03	1.50	24.00	26.00	19.00	22.00		
310s	0.08	2.00	0.045	0.03	1.50	24.00	26.00	19.00	22.00		
314	0.25	2.00	0.045	0.03	3.00	23.00	26.00	19.00	22.00		
316	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	16.00	18.00	10.00	14.00	2.00	3.00
316L	0.03	2.00	0.045	0.03	1.00	16.00	18.00	10.00	14.00	2.00	3.00
317	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	18.00	20.00	11.00	15.00	3.00	4.00
321	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	17.00	19.00	9.00	12.00		Ti, 5 x C min.
330	0.15	2.00	0.045	0.03	1.50	14.00	17.00	33.00	37.00		
347	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	17.00	19.00	9.00	13.00		Cb-Ta, 10 x C min.
348	0.08	2.00	0.045	0.03	1.00	17.00	19.00	9.00	13.00		Cb-Ta, 10 x C min, Ta 0.10 máx.

Tabla 2.5 Composición química de los aceros inoxidables austeníticos (análisis de colada).

Clase	Designación NOM	% Carbono		% Mn máx.	% P máx.	% S máx.	% Si máx.	% Cromo		% Níquel	% Molibdeno	% otros elementos
M	403		0.15	1.00	0.04	0.03	0.50	11.50	13.00			
F	405		0.08	1.00	0.04	0.03	1.00	11.50	14.50			A1, 0.10 - 0.30
F	409		0.08	1.00	0.045	0.045	1.00	10.50	11.75	0.50		Tl, 6 x C o máx 0.75
M	410		0.15	1.00	0.04	0.03	1.00	11.50	13.50			
M	414		0.15	1.00	0.04	0.03	1.00	11.50	13.50	1.25	2.50	
M	416		0.15	1.25	0.06	0.15	1.00	12.00	14.00			o Zr, 0.60 máx temp.
M	416Se		0.15	1.25	0.06	0.06	1.00	12.00	14.00			Se, 0.15 min
M	420	0.15		1.00	0.04	0.03	1.00	12.00	14.00			
M	420F	0.30		1.25	0.06	0.15	1.00	12.00	14.00			0.60 Zr, 0.60 máx.
M	420FSe	0.30		1.25	0.06	0.06	1.00	12.00	14.00			
F	430		0.12	1.00	0.04	0.03	1.00	14.00	18.00			
F	430F		0.12	1.25	0.06	0.15	1.00	14.00	18.00			0.60 o Zr, 0.60 máx.
F	430FSe		0.12	1.25	0.06	0.06	1.00	14.00	18.00			Se, 0.15 min
M	431		0.20	1.00	0.04	0.03	1.00	15.00	17.00	1.25	2.50	
F	434		0.12	0.30	0.04	0.03	0.50	16.00			0.75	1.25
F	436		0.12	0.30	0.04	0.03	0.80	16.00			0.75	1.25
M	440A	0.60		1.00	0.04	0.03	1.00	16.00	18.00			0.75
M	440B	0.75		1.00	0.04	0.03	1.00	16.00	18.00			0.75
M	440C	0.95		1.00	0.04	0.03	1.00	16.00	18.00			0.75
M	440F	0.95		1.25	0.06	0.15	1.00	16.00	18.00			0.75
M	440FSe	0.95		1.25	0.06	0.06	1.00	16.00	18.00			o Zr, 0.75 máx.
F	442		0.20	1.00	0.04	0.03	1.00	18.00	23.00			Se, 0.15 min.
F	446		0.20	1.50	0.04	0.03	1.00	23.00	27.00			N, 0.25 máx.

Tabla 2.6 Composición química de los aceros inoxidables martensíticos y ferríticos (análisis de colada).

No son templables.

Sólo el trabajo en frío aumenta su resistencia.

Poseen gran ductilidad.

Laminados o forjados (tabla 2.6): NOM 405, NOM 429, 430, 442, 446, 502.

2.2.4 Clasificación del acero según su aplicación y designación normalizada

a) Estructurales

Formas geométricas: perfiles, planchas, soleras, láminas, tubos.

Ejemplos: NOM B38 - B99 - B254 (ASTM A36) - B262 - B 263 - B281 (ASTM A283) B282 - B284 - B285.

b) Para maquinaria

En este caso prevalecen las propiedades mecánicas en la selección de los aceros, sobre la composición química de los mismos.

Ejemplos:

- Barras: NOM B296 - B298 - B302 - B30
- Tubos sin costura: NOM 1020 - 1025 - 1035 - 1045 - 1050 - 1118 - 1137 - 4130 - 4140
- Láminas: NOM B28 - B42 - B265 - B267 - B348
- Planchas: NOM B93 - B242, B243 - B244 - B258 - B259 - B260 - B281 - B368.

c) Para herramientas (NOM B82)

Poseen tres características comunes, en grado muy superior a los aceros estructurales y para maquinaria:

- Gran resistencia al desgaste.
- Gran dureza, aun a temperaturas elevadas.
- Gran resistencia al impacto.

Se clasifican en:

- Aceros de alta velocidad: NOM M2 (acero al Mo) NOM T1 (acero al W)
- Aceros resistentes al impacto: NOM S1, S2, S4, S5, S6, S7.
- Aceros para trabajo a alta temperatura: NOM H10, H11, H12, H13, etc.
- Aceros para trabajo en frío: NOM D1, D2, D3, D4, D5, D7.
- Aceros para moldes: NOM P1, P2, P3, P4, P5, P6, P20.
- Aceros de baja aleación: L1, L2, L3, L6, L7.
- Aceros templables:
 - al agua: NOM W1, W2, W4, W5.
 - al aire: NOM A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10
 - al aceite: NOM O1, O2, O6, O7.

d) Para la industria automotriz

Tienen composiciones químicas muy específicas requeridas para piezas de carrocerías, chasises, suspensiones, etc. Se clasifican en:

Aceros al carbón: NOM AC1, AC2, AC36.
Aceros aleados: NOM AA1, AA2, AA3, AA4, AA5, AA6, AA7.

e) Para la industria de la construcción

Ejemplos: NOM B18, B290, B292, etc.

En la tabla 2.7 se da la lista de los aceros comerciales de un proveedor.

FORTUNA	Color de Distinción	** ANALISIS BASICO MEDIO								DUREZA A LA ENTREGA BRINELL MAX.	TRATAMIENTO TERMICO				CARACTERISTICAS	EQUIVALENCIA		
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	V		TEMPERATURA APROX.			TEMPLE AL		FORTUNA	AIS/NUM (APROX)	
											TEMPLE °C	FORJADO °C	RECOCIDO °C					
W18	Blanco	0.70	0.30	0.30	4.1				18.00	1.10	282	1260 1300	1170 a 1000	870 a 900	Acete, aire baño de sales	El acero rápido indicado para herramientas de corte de alto rendimiento.	W18	T1
Mo 500	Blanco/Rosa	0.83	0.30	0.30	4.1		5.00	0.10	1.60		288	1190 a 1230	1150 a 1050	870 a 900	Acete, aire baño de sales	Acero rápido indicado para herramientas de corte con alta tenacidad.	Mo500	M2
CA1220	Rosa	2.10	0.35	0.35	12.00		0.75*	0.70	0.85		282	825 a 880	1050 a 850	870 a 840	Acete o aire	Alta resistencia al desgaste, para troqueles muy complicados, que cortan espesores hasta 3 mm.	CA1220	O-3 + W
CA1215	Anil/ Azul	1.50	0.40	0.40	12.00		0.85	0.80			282	880 a 1025	1085 a 1010	875 a 900	Acete o aire	Alta resistencia al desgaste y gran tenacidad. Para corte de chapas hasta 5 mm. de grueso. Recomendado para cuñas (clavos).	CA1215	D2
CAS10	Azul/ Amarillo	1.00	Máx. 0.60	Máx. 1.00	5.0		1.10		0.35		235	825 a 880	1010 a 1085	845 a 870	Aire	Acero para troqueles para trabajo en frío.	CAS10	A-2
SW58	Azul	0.90	0.30	1.15	0.50			0.50	0.20		228	790 a 815	1085 a 980	780 a 790	Acete	Acero para troqueles de corte complicado, alta resistencia a la deformación.	SW58	01
WA258	Rosa/ Blanco	0.50	0.35	0.30	1.50			0.40	0.00	0.20	228	900 a 955	1120 a 1010	790 a 830	Acete	Alta resistencia al golpe. Apto para trabajos en frío, troqueles, eucletas, para chapas gruesas y en caliente (lojo, diferente inventido).	WA258	S1
W10V	Verde/ Blanco	1.00	0.25	0.25						0.20	212	760 a 845	1085 a 980	790 a 780	Agua	Acero al carbono para troqueles y herramientas cabeceadoras	W10V	W2
MoG510V	Amarillo/ Blanco/Rosa	0.35	1.00	0.30	5.10		1.50		1.00		241	995 a 1040	1150 a 1085	845 a 900	Salas y aire	Acero al cromo molibdeno vanadio muy apto para continuos choques térmicos.	MoG510V	H13
MoG511	Amarillo/ Rosa	0.35	1.60	0.30	5.10		1.50	1.35	0.30*		241	995 a 1025	1150 a 1085	845 a 900	Salas y aire	Acero al cromo molibdeno tungsteno para trabajos en caliente, especialmente dados de forja y herramientas para prensa de extrusión.	MoG511	H12
NG2Supra	Amarillo	0.70	0.30	0.70	0.75	1.50	0.25				255	780 a 845	1095 a 980	780 a 780	Acete o aire	Acero al cromo níquel molibdeno para trabajos en caliente, para dados de forja de muy alta tenacidad.	NG2Supra	L8
EW340M	Rosa	Máx 0.12	0.25	0.40	4.80		0.70				131	870-905 (cementado)	1120 a 1000	870 a 890	Acete	Nuevo HOBBLING IRON al Cr-Mn, y bajo C, para cerrado profundo para moldes de plástico (pudido especial).	EW340M	P4
P20ESR	Amarillo/ Gris	3.8	3.0	6.0	1.80	1.00	0.20				300 Aprox.					Acero tratado fabricado por el proceso de Refusión bajo escoria desarrollado para moldes para plásticos	P20ESR	P20
SW35P	No tiene	0.80	0.30	1.15	0.50			0.50	0.20*		228	790 a 815	1085 a 980	780 a 790	Acete	Acero aleado rectificado.	SW35P	01
W11P	No tiene	1.00	0.25	0.25					0.20		212	790 a 845	1085 a 980	780 a 780	Agua	Acero al carbono rectificado.	W11P	W2
TX107	Café/ Blanco	0.40	0.25	0.68	0.80	1.00	0.25				220 a 330 según diámetro					Acero al cromo níquel molibdeno tratado para construcción de maquinaria.	TX107	8840
TX10R	Café	0.40	0.25	0.98	0.80	1.00	0.25				217	830 a 880	1050 a 870	780 a 845	Acete	Acero al cromo níquel molibdeno, gran tenacidad para construcción de maquinaria.	TX10R	8840
TX16T	Gris Blanco	0.40	0.25	0.68	0.80	1.80	0.25				220 a 330 según diámetro					Acero al cromo níquel molibdeno tratado para construcción de maquinaria.	TX16T	4340
TX16R	Gris	0.40	0.25	0.68	0.80	1.80	0.25				223	800 a 845	122 Da 1068	800 a 925	Acete	Acero al cromo níquel molibdeno, gran tenacidad para construcción de maquinaria.	TX16R	4340
TCM4T	Amarillo/ Blanco	0.40	0.25	0.68	0.95	0.20					220 a 330 según diámetro					Acero al cromo molibdeno tratado para construcción de maquinaria.	TCM4T	6140
TCM4R	Amarillo/ Café	0.40	0.25	0.88	0.85	0.20					207	830 a 880	1050 a 870	780 a 845	Acete	Acero al cromo molibdeno para construcción de maquinaria.	TCM4R	4140
EX17	Café/ Rosa	0.20	0.25	0.55	0.50	1.83	0.25				207	875 a 925 (cementado)	1100 a 875	850 a 775	Acete	Acero para cementación al cromo níquel molibdeno de alto rendimiento.	EX17	4328
EX8	Café/ Gris	0.20	0.25	0.80	0.50	0.55	0.20				170	870 a 925 (cementado)	1100 a 870	860 a 790	Acete	Acero para cementación al cromo níquel molibdeno	EX8	8820
GB1	Café/ Azul	0.15	0.25	0.45							140	870 a 855	1280 a 855	700 a 870	Acete o agua.	Acero para cementación, no aleado calidad automotriz.	GB1	1015
GB4	Café/ Verde	0.45	0.25	0.75							208	845 a 900	1245 a 870	700 a 845	Acete o agua	Acero al 0.45% de carbono para construcción de maquinaria.	GB4	1045
GB8	Café/ Verde	0.60	0.25	0.75							243	815 a 850	1295 a 815	700 a 830	Acete o agua	Acero al 0.60% de carbono para construcción de maquinaria.	GB8	1080
COLD ROLLED	No tiene	0.18	0.25	0.75							SIN TRAT TERMICO	870 a 955 (cementado)	1240 a 925	810 a 885	Agua o Salmuera	COLD ROLLED usos generales para mecanismos	COLD ROLLED	1018
GB-13	No tiene	0.18	0.25	1.25					0.10*		185	870 a 825 (cementado)	1240 a 925	810 a 885	Agua o acete	Tubo mecánico para usos generales.	GB-13	1518
12L14	No tiene	Máx 0.15		1.00				+S 0.30	+Pb 0.25		170	800 a 830 (cementado)	1240 a 825		Agua o acete	Acero maquinable de corte libre para tornos automáticos.	12L14	12L14
C75R	No tiene	0.75	0.25	0.85							200	780 a 820		850 a 830	Agua	Fleje de acero al carbono, recocido para muelles y herramientas delgadas.	C75R	1075
C75T	No tiene	0.75	0.25	0.85							180/175 Kg/mm ²					Fleje de acero templado, revenido, pulido con aproximadamente 180/175 Kg/mm ² de resistencia.	C75T	1075
EXTRA A PLANO	No tiene	0.60	0.25	0.30							150/245 Kg/mm ²					Alambre plano templado ideal para resortes y capillos.	EXTRA A PLANO	W1
T171T	Verde/ Amarillo	0.58	Máx 0.95	Máx 1.00	17.00	Máx 1.30					225 a 275					Flejes de acero inoxidable borificados a 90/90 Kg/mm ² , para barcos y bombas	T171T	No tiene
AS18	Verde/ Rosa	Máx 0.15	Máx 0.05	Máx 1.00	18.00	0.25					180		1230 a 1150	1010 a 1120		Láminas y barras de acero inoxidable del tipo 18/10.	AS18	304
A18A	Verde/ Azul	Máx 0.15	Máx 0.05	Máx 1.00	18.00	0.00				+S	180		1230 a 1150	1010 a 1120		Barras de acero inoxidable del tipo 18/8 maquinado rápido.	A18A	303
AS182	Verde/ Rosa	Máx 0.06	Máx 1.00	Máx 2.00	17.00	12.00	2.50				180		1230 a 1150	1010 a 1120		Láminas y barras de acero inoxidable de tipo 18/11/2	AS182	318
F13A	Verde/ Gris	Máx 0.15	Máx 1.00	Máx 1.25	13.00		Máx 0.80			+S	200	825 a 1010	1280 a 1150	830 a 885	Acete	Barras de acero inoxidable al cromo maquinado rápido.	F13A	418
F17	No tiene	Máx 0.12	Máx 1.00	Máx 1.00	17.00						180		1170 a 1080	780 a 815		Láminas de acero inoxidable al cromo	F17	430
T17	Verde/ Negro	Máx 0.22	Máx 0.40	Máx 1.00	18.8	1.75					280	880 a 1085	1230 a 1150	820 a 795		Acero inoxidable para moldes.	T17	431 E
12A	Negro/ Rosa	Máx 0.25	Máx 1.50	Máx 3.00	25.00	20.00					220		1095 a 880	1040 a 1150		Láminas y barras reflectantes templadas en altas temperaturas	12A	310
12M	No tiene	1.25	0.40	12.00	Máx 1.50						235 a 320					Acero quin al manganeso para piezas sometidas al impacto, con alta resistencia a la abrasión	12M	No tiene

**Estos análisis podrán tener ligeras variaciones dentro de la norma

*OPCIONAL

Tabla 2.7 Aceros comerciales.

Capítulo 3

Propiedades mecánicas de los metales

Los materiales metálicos tienen la propiedad de soportar esfuerzos llamados de tensión, compresión, al corte o de fatiga, en muchos casos mucho mayores a los que pueden soportar los materiales no metálicos.

A continuación se describe el ensayo de tensión a que se someten los metales para determinarles varias de sus propiedades mecánicas.

3.1 TENSIÓN

Cuando una barra recta de sección uniforme se le aplican fuerzas exteriores colineales que le ocasionan un alargamiento, se dice que dicha barra está sujeta a esfuerzos de tensión. Las partículas en el interior de la barra se desplazan hasta establecerse el equilibrio entre las fuerzas exteriores e internas, y entonces se dice que la barra se encuentra en estado de deformación (figura 3.1)

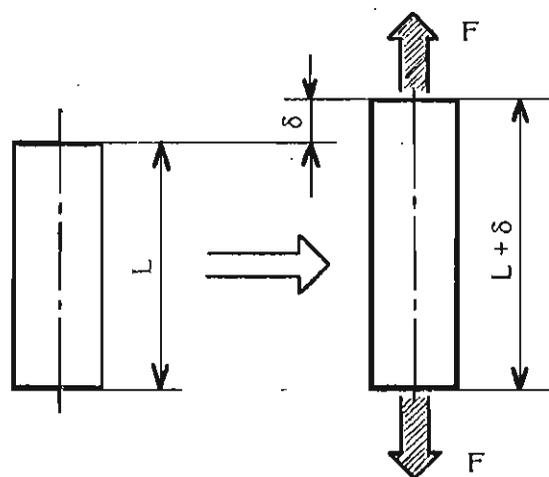


Figura 3.1 Deformación provocada por fuerzas de tensión.

Si al retirarse la fuerza exterior la barra recupera su longitud original, se dice entonces que la barra es perfectamente elástica.

3.1.1. Ley de Hooke

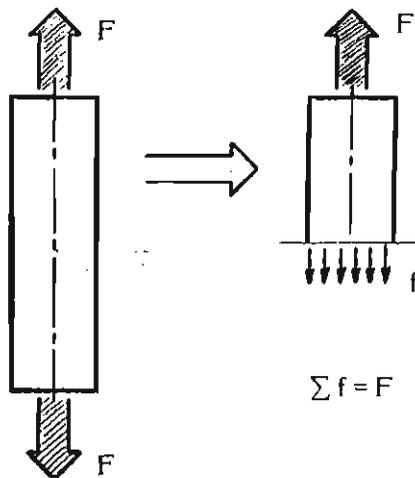
Esta ley establece que entre ciertos límites, el alargamiento de una barra elástica puede describirse con la siguiente ecuación:

$$\delta = \frac{F \cdot L}{A \cdot E} \quad [\text{mm}]$$

donde: F - Fuerza de tensión [N]
 L - Longitud inicial calibrada [mm]
 A - Area de la sección transversal [mm²]
 E - Módulo de elasticidad del material [N/mm²]

Si la barra sujeta a tensión se corta transversalmente en forma imaginaria en dos partes y se considera el equilibrio de la parte superior, en el extremo superior de ésta se tiene la fuerza F exterior y en el extremo inferior se tienen fuerzas internas que representan la acción de las partículas del extremo superior de la parte inferior sobre las partículas del extremo inferior de la parte superior (figura 3.2)

Figura 3.2 Fuerzas externas e internas de tensión.



Si las fuerzas internas f están distribuidas de modo continuo sobre la sección recta, la fuerza por unidad de área o esfuerzo (σ) en la sección transversal está dada por:

$$\sigma = F / A \quad [\text{Pa}] \quad (2)$$

El alargamiento por unidad de longitud (ϵ) o deformación unitaria está dado por:

$$\epsilon = \delta / L \quad [-] \quad (3)$$

donde: δ - deformación total [mm]

Utilizando las ecuaciones 2 y 3 anteriores, la Ley de Hooke (1) puede también representarse con la siguiente ecuación:

$$\epsilon = \sigma / E \quad [-] \quad (4)$$

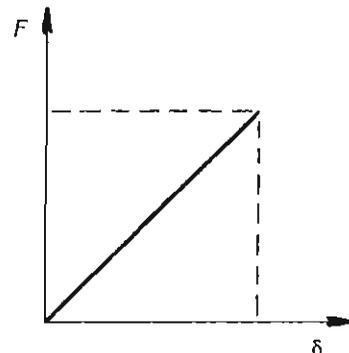
Ejercicio 3.1

Si en la fabricación de viguetas de concreto pretensadas se utiliza alambre de acero de alta resistencia de ϕ 3.175 mm, determínese la magnitud de la fuerza que hay que aplicarle al alambre para darle una deformación unitaria máxima de 7 mm/m.

3.1.2. Energía de deformación

Si para una fuerza lineal F el alargamiento correspondiente es δ , la gráfica F - δ del ensayo de tensión será la mostrada en la figura 3.3.

Figura 3.3 Gráfica F - δ (zona elástica).

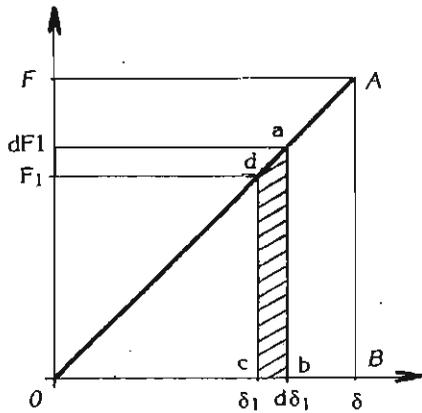


Si F_1 representa un valor intermedio de la fuerza y δ_1 el alargamiento correspondiente, un incremento dF_1 de fuerza originaría un incremento $d\delta_1$ en el alargamiento, y el trabajo realizado por F_1 estará dado por $[(F_1 + F_1 + dF_1) / 2] \cdot d\delta_1$, que es igual al área del trapecio abcd (figura 3.4).

El trabajo total al aumentar la fuerza desde 0 hasta F es la suma de áreas análogas, e igual al área del triángulo OAB y que representa la energía total (U) almacenada en la barra durante la deformación (figura 3.4.) es decir.

$$U = F \cdot \delta / 2 \quad [\text{kN}\cdot\text{m}] \quad (5)$$

Figura 3.4 Energía de deformación.



Sustituyendo 1 en 5 se tienen las dos expresiones siguientes:

$$U = F^2 \cdot L / 2 A \cdot E \quad [\text{kN}\cdot\text{m}] \quad (6)$$

$$U = \frac{A \cdot E \delta^2}{2 \cdot L} \quad [\text{kN}\cdot\text{m}] \quad (7)$$

En aplicaciones prácticas, la energía de deformación por unidad de volumen (w) llamada también **módulo de resiliencia**, tiene gran importancia y su valor, deducido de las ecuaciones 6 y 7 es:

$$w = U / A \cdot L = \sigma^2 / 2 E \quad [\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3] \quad (8)$$

o también

$$w = \varepsilon^2 \cdot E / 2 \quad [\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3] \quad (9)$$

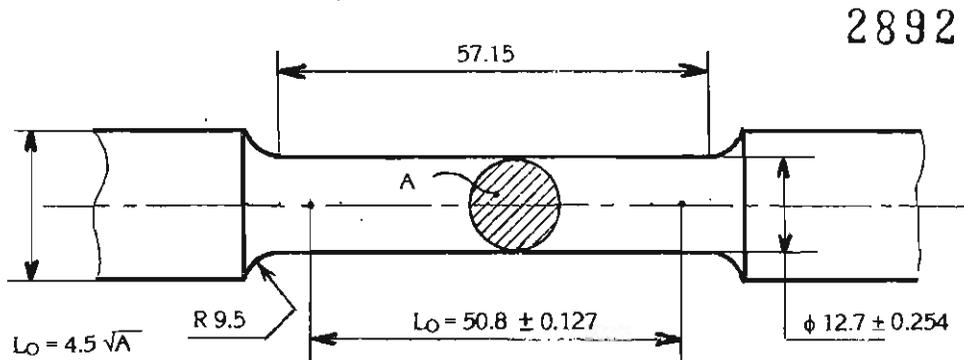
Ejercicio 3.2

Determinense los módulos de resiliencia para un acero con un límite de elasticidad de $200 \times 10^3 \text{ kN}/\text{m}^2$ y $E = 200 \times 10^6 \text{ kN}/\text{m}^2$ y para una goma con un límite de elasticidad de $2 \times 10^3 \text{ kN}/\text{m}^2$ y $E = 10^3 \text{ kN}/\text{m}^2$.

3.1.3 Gráfica $\sigma - \varepsilon$

El ensayo a la tensión debe realizarse con una probeta normalizada (figura 3.5) aplicándole la carga con una rapidez que no exceda de

Figura 3.5 Probeta normalizada para el ensayo de tensión.

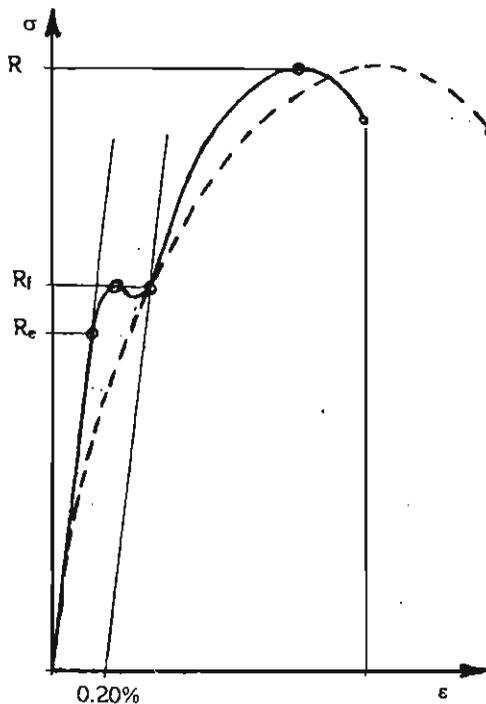


685 N/mm²/min o bien con una razón de deformación de 0.05 mm/mm/min, es decir, aplicando lentamente la carga para que todas las partes de la probeta estén en equilibrio en todo instante. La gráfica $\sigma - \epsilon$ obtenida del ensayo se muestra en la figura 3.6.

Para materiales que no exhiben un punto de cedencia natural como los metales no ferrosos, el esfuerzo de cedencia es aquel que causa una deformación permanente del 0.20 % de la longitud calibrada original, y se determina trazando una línea paralela al tramo elástico de la gráfica y a una distancia de 0.20 % (ϵ).

¿Qué representa la ecuación 4 en la gráfica $\sigma - \epsilon$?

Figura 3.6 Gráfica $\sigma - \epsilon$ de tensión.



R = resistencia a la tensión
 Rf = resistencia a la cedencia
 Re = resistencia en el límite elástico proporcional

3.1.4. Ductilidad

La ductilidad es la capacidad que tienen los metales para deformarse permanentemente bajo esfuerzos de tensión antes de la ruptura, y se determina midiendo el alargamiento y la reducción del área de la probeta de tensión después de que ésta se rompe:

$$\begin{aligned} \% \text{ de alargamiento} &= 100 [(L_f - L_i) / L_i] \\ \% \text{ de reducción de área} &= 100 [(A_i - A_f) / A_i] \end{aligned}$$

donde: L_i - longitud calibrada inicial
 L_f - longitud final
 A_i - área inicial de la sección
 A_f - área final de la sección

En general, los materiales dúctiles son aquellos que presentan un alargamiento mayor del 10 % y los frágiles son los que presentan menos del 10 %.

Con estas mediciones se determina también la **Relación de Poisson**:

$$v = \text{deformación lateral} / \text{deformación axial}$$

En la figura 3.7 se muestran tres probetas de tensión rotas en las que pueden observarse los grados de alargamiento y reducción de área (fragilidad o ductilidad) del metal.

3.1.5. Tenacidad

Es la capacidad que tiene un material para absorber energía hasta el punto de fractura; para que el material sea tenaz, no sólo debe tener resistencia sino también ductilidad, por tanto, las gráficas mostradas en la figura 3.8 corresponden a metales: (1) dúctiles pero no tenaces como el plomo, cobre, oro, etc., (2) dúctiles y tenaces como los aceros ordinarios sin tratamiento de endurecimiento y (3) no dúctiles ni tenaces como el acero endurecido y materiales frágiles.

La tenacidad puede considerarse también como el área bajo la curva de la gráfica resultante del ensayo de tensión.

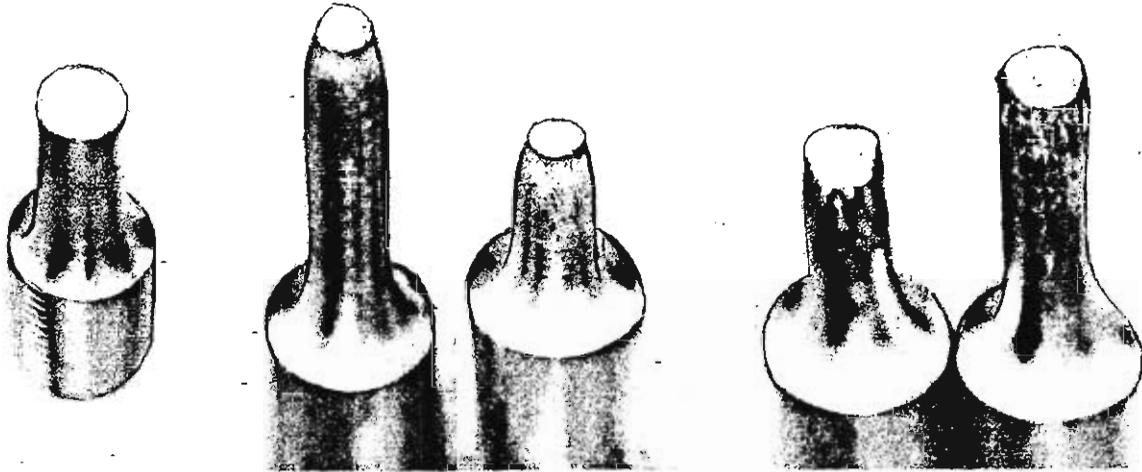
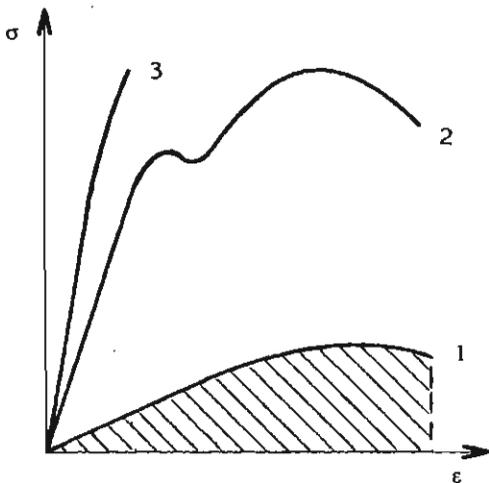


Figura 3.7 Probetas de tensión de aceros inoxidables: laminados NOM 431 (izquierda) y NOM 416 (centro), y forjado NOM 329 (derecha).

Figura 3.8 Tenacidad.



En la tabla 3.1 siguiente puede observarse el efecto que los elementos de aleación causan en las propiedades mecánicas del acero, y en las figuras 3.9 y 3.10 se muestran como ejemplo, dos certificados de material expedidos por un proveedor de aceros, en los que se especifican las propiedades mecánicas obtenidas de su ensayo de tensión y su análisis químico; compárese el contenido de carbono, la resistencia de cedencia (*yield strength*), la resistencia máxima a la tensión (*tensile strenght*), el porcentaje de alargamiento y la dureza Rc.

ELEMENTOS DE ALEACION	PROPIEDADES MECANICAS										OTRAS PROPIEDADES								PROPIEDADES MAGNETICAS				CONVENCION	
	DUREZA	RESISTENCIA A LA RUPURA	CEDENCIA	ALARGAMIENTO	REDUCCION DE AREA	RESILIENCIA	ELASTICIDAD	ESTABILIDAD A ALTA TEMPERATURA	FORMACION DE CARBuros	RESISTENCIA AL DESGASTE	FORJABILIDAD	MAQUINABILIDAD	RESISTENCIA A LA OXIDACION	NITRURABILIDAD	RESISTENCIA A LA CORROSION	HISTERESIS	PERMEABILIDAD	FUERZA COERCITIVA	REMANENCIA	PERDIDA DE POTENCIA	VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO	EL NUMERO DE TRIANGULOS DAN IDEA DE LA MAGNITUD DEL AUMENTO O DE LA DISMINUCION.	NO MAGNETICO	
	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ			Δ
SILICIO	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ			Δ
MANGANESO en aceros perliticos	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
MANGANESO en aceros austeniticos	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
CROMO	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
NIQUEL en aceros perliticos	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
NIQUEL en aceros austeniticos	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
ALUMINIO					Δ	Δ				Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
TUNGSTENO	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
VANADIO	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
COBALTO	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
MOLIBDENO	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
COBRE	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
AZUFRE				Δ	Δ	Δ				Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ
FOSFORO	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ

Tabla 3.1 Efecto de los elementos de aleación en las propiedades del acero.

CERTIFICATE OF TESTS

FORM 2164-33 (2-76-M) PAGE NUMBER: 1

CARPENTER TECHNOLOGY CORPORATION



**P.O. BOX 14662
READING, PA. 19612-4662**

- THE RECORDING OF FALSE, FICTITIOUS OR FRAUDULENT STATEMENTS OR ENTRIES ON THIS DOCUMENT MAY BE PUNISHED AS A FELONY UNDER FEDERAL STATUTES INCLUDING FEDERAL LAW, TITLE 18, CHAPTER 47.
- THE VALUES AND OTHER TECHNICAL DATA SHOWN REPRESENT THE RESULTS OF ANALYSES AND TESTS MADE ON SAMPLES COLLECTED FROM THE TOTAL LOT. ORIGINAL DATA RECORDS CAN BE TRACED BY REFERENCE TO THE CARPENTER ORDER NUMBER.
- THIS MATERIAL MELTED AND MANUFACTURED IN THE U.S.A.
- MATERIAL IS MANUFACTURED FREE FROM MERCURY, RADIUM AND ALPHA SOURCE CONTAMINATION.

DATE 10/26/92

MANUFACTURAS SOLCO, S.A. DE C.V.
CALLE DOS NO 29 ESQ10 DE MAYO
COL. SAN PEDRO
DE LOS PINOS , MEXICO

ADDRESS REPLY TO:

INDIANAPOLIS WAREHOUSE
5905 W. 74TH ST.
INDIANAPOLIS, IN 46278-1796

CUSTOMER ORDER NUMBER	CARPENTER ORDER NUMBER	DATE SHIPPED	WEIGHT
010/92	IND-1402 L38753	10/21/92	1,125#

HEAT NO. - 36998 INGOT #1

PRODUCT DESCRIPTION: CONSUMET TYPE 316L STRAIN HARDENED GROUND IMPLANT QUAL
TENSILE MIN 160.0 / MAX 195.0 KSI

SPECIFICATION: ASTM-F139-86
 DEPUY RM 259-01 REV 3 (03/04/83)
 ZIMMER 2A-55 REV G (05/18/90)
 ASTM-F138-86 GRADE 2
 DEPUY RM 259-01-013 (08/01/85) EXCPT LTR (04/19/91)

SIZE	0.500000 IN.	RD	BAR			
	C	MN	SI	P	S	CR
	0.013	1.84	0.41	0.015	0.002	17.31
	NI	MO	CU	CO	N	
	13.85	2.23	0.28	0.05	0.035	

YIELD STRENGTH, (.2PCT.) KSI 152.0 148.0
 TENSILE STRENGTH, KSI 187.0 187.0
 ELONGATION IN 1.40 INS., PCT. 16.0 15.0
 HARDNESS, HRC 41 41 CONVERTED FROM TENSILE STRENGTH

MACROSTRUCTURE: BILLETS TESTED AND FOUND SOUND AND FREE FROM DEFECTS
 MICROSTRUCTURE: GRAIN SIZE PER ASTM E-112: 6/7, FREE FROM CONTINUOUS GRAIN BOUNDARY CARBIDE NETWORK, DELTA FERRITE: NONE

CORROSION: INTERGRANULAR CORROSION TESTED TO ASTM A262, PRACTICE E (COPPER SULFATE TEST) - ACCEPTABLE

INCLUSION CONTENT RATING PER METHOD A PLATE III
 SAMPLED FROM BILLETS:

A		B		C		D	
THIN	THICK	THIN	THICK	THIN	THICK	THIN	THICK
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	0

I CERTIFY THE ABOVE INFORMATION TO BE A TRUE AND CORRECT RESTATEMENT OF PORTIONS OF THE APPLICABLE TEST AND ORDER DATA.
 ANNA M. HOFFMAN
 MET RELEASE/CERT PREPARER
 CARPENTER TECHNOLOGY CORPORATION

This certification is made only to the customer printed on this form and Carpenter neither makes, nor assumes responsibility for, any representation or certification to any other party.

Figura 3.9 Ejemplo de un certificado de material.

Capítulo 4

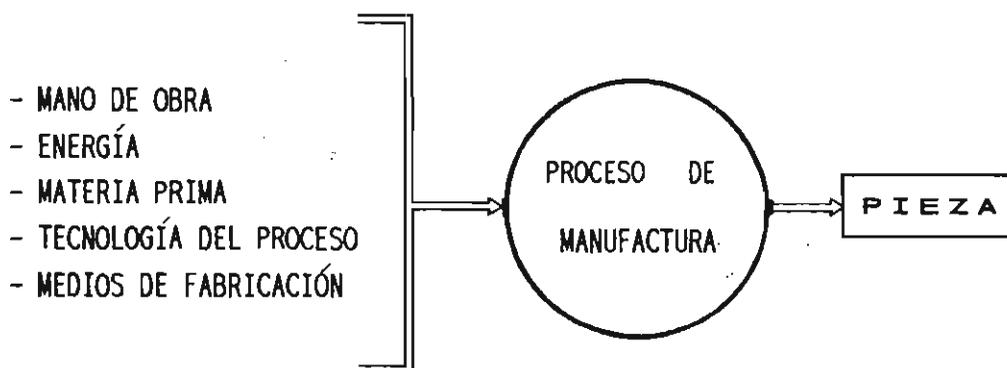
Definición y clasificación de los procesos de manufactura

4.1. DEFINICIÓN

Un proceso de manufactura es un procedimiento para transformar la materia prima en un bien determinado y que normalmente requiere de una alteración física o química (figura 4.1).

La ejecución racional de un proceso debe perseguir tres objetivos: cumplir con las especificaciones del producto (calidad), consumir el menor tiempo posible (justo cuando se necesita), y tener un costo competitivo, para lo cual los procesos se planifican conforme a normas técnicas (métodos) de fabricación.

Figura 4.1 Requerimientos para un proceso de manufactura.



4.2 CLASIFICACIÓN

Considerando el principio físico o químico que se tiene en un proceso, los procesos de manufactura pueden clasificarse como:

- Procesos de fundición
- Procesos por deformación plástica
- Procesos de corte
- Tratamientos térmicos y termoquímicos
- Recubrimientos superficiales
- Procesos industriales
- Procesos de verificación
- Procesos de ensamble

4.2.1. Procesos de fundición

En este proceso, el material se funde y se vacía en un molde que tiene la cavidad con la forma geométrica de la pieza que se desea obtener. El molde puede ser de arena (figura 4.2), para un solo vaciado por gravedad, o metálico, para el vaciado de varias piezas por gravedad o por inyección.

El vaciado de metales ferrosos se hace exclusivamente en moldes de arena, el de metales no ferrosos

puede hacerse tanto en molde de arena o en molde permanente. La inyección en plástico en molde permanente tiene muchas similitudes con el proceso de fundición de metales.

4.2.2. Procesos por deformación plástica

En estos procesos, el material se trabaja en su zona de deformación plástica para cambiarle su forma geométrica; la deformación puede realizarse en frío (abajo de su rango de temperatura de recristalización) o en caliente (arriba de dicho rango). Son procesos por deformación plástica el laminado, forjado y extruido.

- **Laminado:** el material se hace pasar entre dos rodillos que presionan al material y le cambian su forma; el metal sale a mayor velocidad de la que entra. Las operaciones de desbaste se realizan en caliente y las de acabado en frío.
- **Forjado:** el material se coloca entre dos matrices que tienen la cavidad con la forma geométrica de la pieza, y la deformación se realiza mediante fuerzas de impacto o de compresión (figura 4.3).

Figura 4.2 Molde de arena.

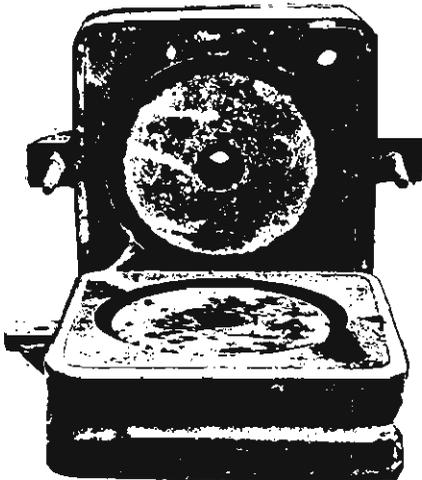
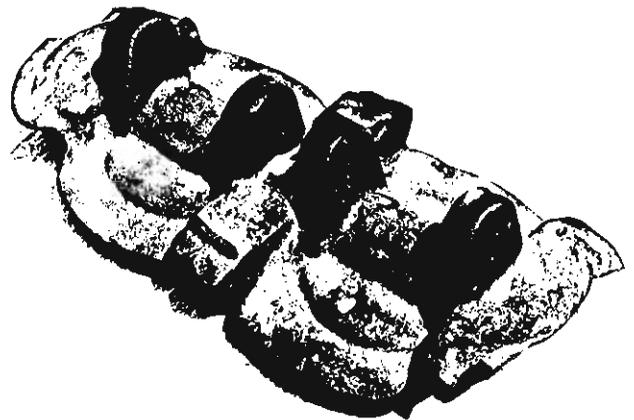


Figura 4.3 Pieza forjada en caliente.



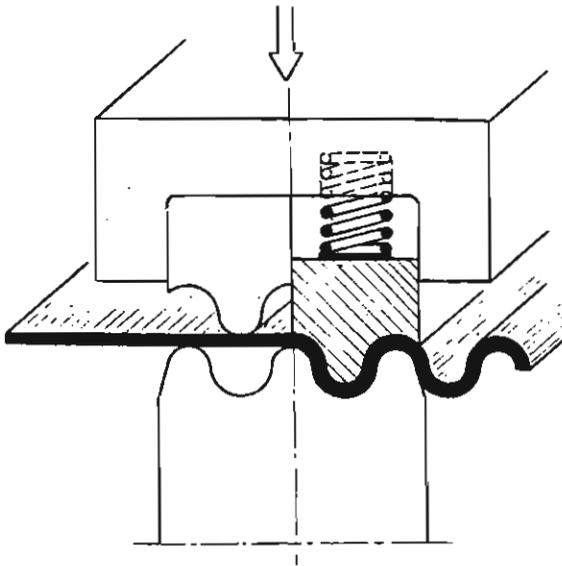


Figura 4.4 Doblado (acanalado) de lámina.

– **Extruido:** este proceso consiste en forzar un material contenido en una cámara, mediante fuerzas de presión, a salir a través de un agujero cuyo contorno perimetral corresponde a la sección transversal de la barra resultante (perfil).

Son también procesos por deformación plástica los que se realizan en lámina:

- **Doblado:** la lámina (tira) se coloca entre un punzón y una matriz que contienen la forma de la sección que se desea obtener para el perfil; la deformación de la lámina se obtiene mediante fuerzas de impacto (figuras 4.4. y 4.10).
- **Curvado con rodillos:** la lámina se hace pasar entre dos rodillos cilíndricos que giran en sentido opuesto y un tercer rodillo posterior se ajusta para dar el radio de curvado deseado (figura 4.5).
- **Rechazado en torno:** la lámina se presiona contra un mandril con una herramienta de punta redondeada. Las piezas rechazadas son formas de revolución (figura 4.6).
- **Estampado:** la lámina se coloca entre dos matrices (superior e inferior) que contienen la forma geométrica de la pieza, y la deformación se obtiene aplicando una fuerza de impacto (figura 4.7).

Figura 4.5 Curvado con rodillos.

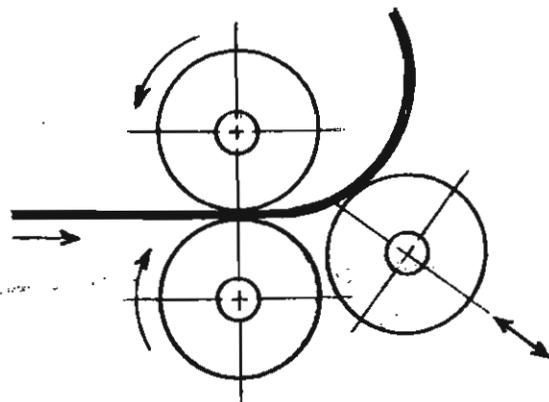


Figura 4.6 Pieza rechazada.

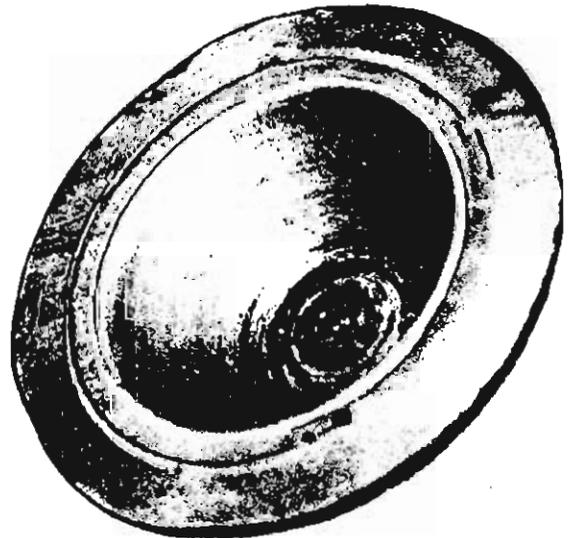




Figura 4.7 Pieza estampada.

4.2.3. Procesos de corte

En estos procesos se realiza una separación del material llevando a éste hasta su resistencia última.

Para material sólido se tienen los siguientes procesos de corte:

- Con segueta alternativa
- Con sierra de disco
- Con sierra cinta
- Con disco abrasivo (para materiales duros)

Figura 4.8 Cizallado de lámina.

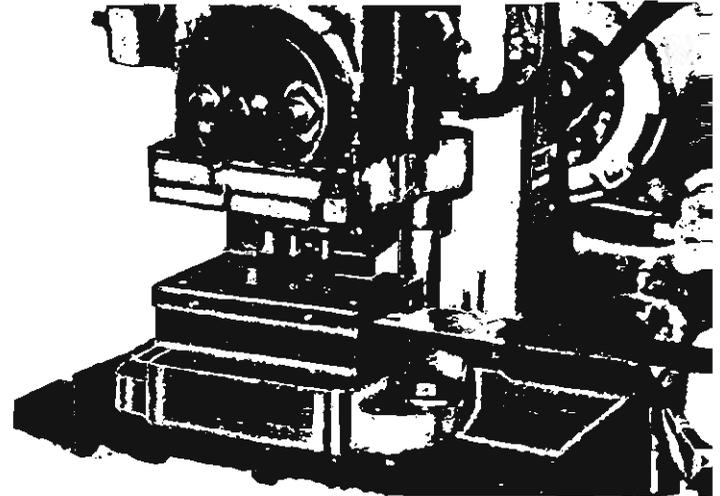
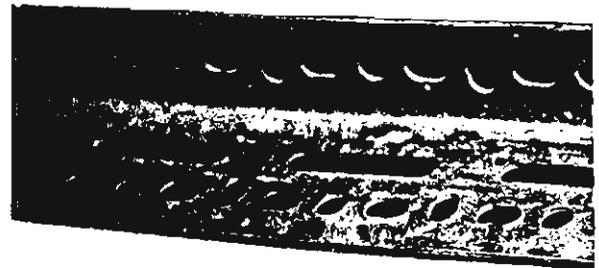


Figura 4.9 Herramental para troquelado de lámina.

Para lámina, los procesos de corte son:

- **el cizallado en guillotina** (figura 4.8) o con discos, para cortes rectos.
- **el troquelado**: que se realiza colocando la lámina entre un punzón y una matriz (figura 4.9) e impactando el punzón sobre la lámina; con este proceso es posible cortar contornos cerrados, exteriores o interiores (figura 4.10)

Figura 4.10 Perfil cizallado, doblado y troquelado.



En los siguientes procesos de corte, se tiene fusión local del material:

- Corte con flama oxi-acetilénica (oxi-corte)
- Corte con electrodo
- Corte con rayo láser

Dentro de los procesos de corte pueden mencionarse también los procesos de maquinado convencionales (figura 4.11) y modernos.

Convencionales	Modernos
Tomeado	Electrolítico
Fresado	Por descargas eléctricas
Taladrado	Con ultrasonido
Cepillado	Con rayo láser
Rectificado	Con bombardeo electrónico

4.2.4. Tratamientos térmicos y termoquímicos

Tratar térmicamente a una pieza es someterla a un ciclo de calentamiento al aire libre o en horno, y enfriamiento al aire libre, en agua o aceite, a temperaturas y velocidades bien determinadas, para aumentarle o disminuirle la dureza, como el temple y revenido, relevado de esfuerzos, normalizado, etc.

Un tratamiento termoquímico consiste en calentar la pieza dentro de un horno con atmósfera gaseosa rica en carbono y nitrógeno, o sumergir la pieza en sales en ebullición, con lo que se logra modificar superficial-

mente la composición química de la pieza y así mejorar su resistencia a la corrosión o al desgaste: cementado, cianurado, nitrurado, bonificado, etc.

4.2.5. Recubrimientos superficiales

La finalidad del recubrimiento superficial de una pieza es protegerla contra la oxidación y corrosión, ejemplos: anodizado, cadminizado, estañado, fosfatizado, galvanizado, niquelado, pavonado, plateado, pintado, tropicalizado, zincado, etc. Si se requiere además incrementar a la pieza su dureza y resistencia superficiales pero sin alterar la resistencia en el núcleo, se aplica un cromado o metalizado.

4.2.6. Procesos industriales

Estos procesos se realizan antes o después de un proceso propiamente de manufactura:

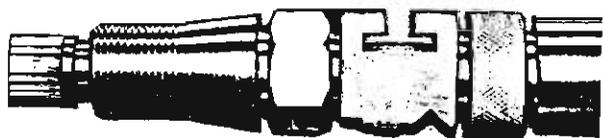
- Desengrasado por inmersión en sosa cáustica
- Lavado con ultrasonido
- Desoxidado por inmersión en líquidos desoxidantes
- Granallado con chorro de arena o perdigones de acero
- Desbarbado con lija, lima, plaquitas de carburo (en máquinas rotativas), etc.
- Pulido con banda de lija o disco de alambres.

4.2.7. Procesos de verificación

Los procesos de verificación sirven para asegurar el cumplimiento de las especificaciones impuestas a la pieza para su buen funcionamiento:

- **Prueba de hermeticidad:** se realiza a piezas mecanosoldadas o fundidas que estarán sujetas a presión neumática o hidráulica, para verificar que no tienen fugas debido a uniones mal soldadas o porosidades que deja el proceso de fundición; la prueba consiste en inyectar aire o agua al interior de la pieza a una presión mayor a la de trabajo.

Figura 4.11 Pieza tomeada y fresada.



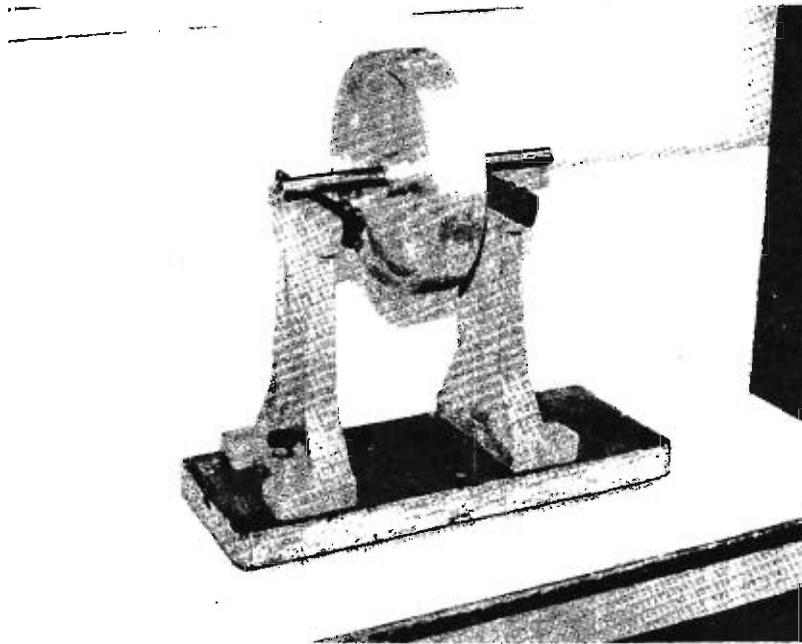


Figura 4.12 Balanceo estático.

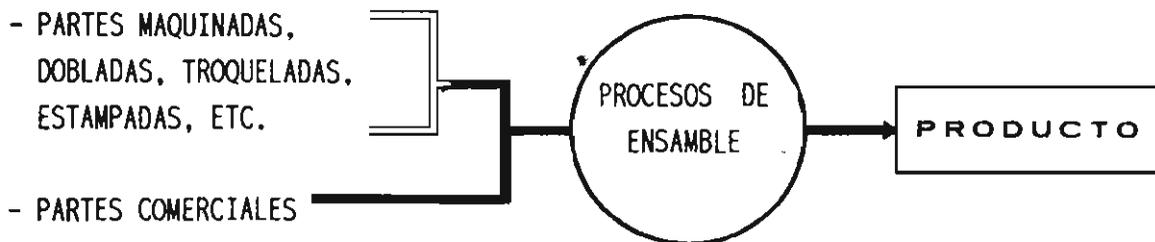
– **Balanceo estático o dinámico:** se aplica a piezas rotativas (como las aspas de ventilador, rodetes de turbinas, impulsores de bombas rotodinámicas, rotores de motor) para disminuirles su nivel de vibración a un grado tal que no afecte el funcionamiento dinámico de la máquina. El balanceo puede realizarse estáticamente si la forma geométrica de la pieza se asemeja a un disco (figura 4.12), o dinámicamente, cuando la geometría tiene semejanza con un cilindro.

4.2.8. Procesos de ensamble

El ensamble de una máquina, equipo, parte o grupo mecánico, puede clasificarse como desmontable o permanente.

Un ensamble generalmente está constituido por piezas maquinadas en planta y por partes comerciales (figura 4.13).

Figura 4.13 Proceso sencillo de ensamble.



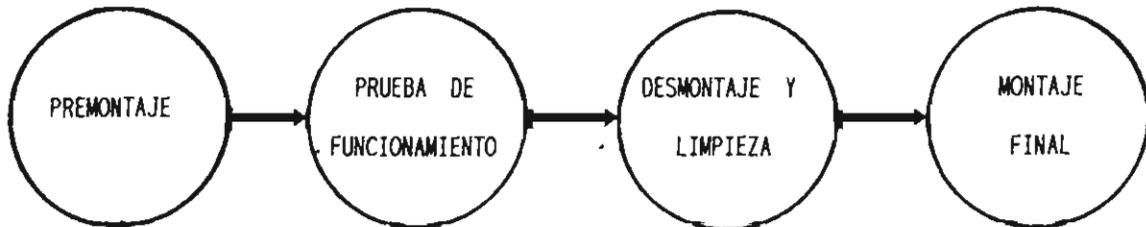


Figura 4.14 Proceso complejo de ensamble.

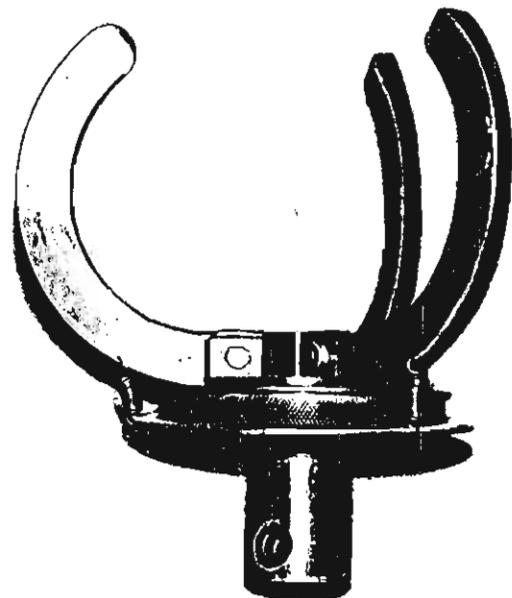
Para equipos o máquinas complejas el proceso de ensamble es más complejo (figura 4.14).

Un ensamble desmontable es el que puede montarse y desmontarse cuantas veces es necesario sin causar ningún deterioro a las piezas (figuras 4.15 y 4.16), ejemplos: ajuste con juego de piezas con superficies lisas, atomillado, adherencia magnética, adherencia por conicidad (Morse), por acción elástica (tapas de calculadoras de bolsillo), etc.

El ensamble de dos o más piezas es permanente si al desmontarlas se les causa daño o se destruye su elemento de unión (un punto o cordón de soldadura, o remache), ejemplos: ajuste con apriete de piezas con superficies lisas, soldadura, engargolado, remachado, etc.

Figura 4.16 Mordaza de uñas ensamblada (ajustes con juego y atomillado).

Figura 4.15 Partes sueltas de una mordaza de uñas.



Capítulo 5

Procesos de fundición en molde de arena

Mediante este proceso se obtienen piezas con formas y dimensiones determinadas, de materiales ferrosos y no ferrosos. Existen tres razones para fundir una pieza:

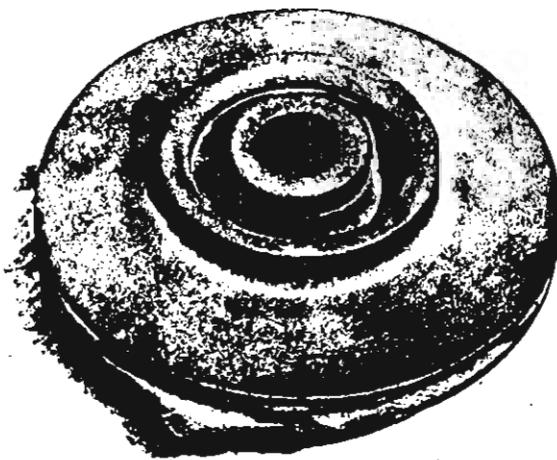
– Cuando sus formas geométricas son complejas (figura 5.1)

– Cuando se ahorra considerablemente material y tiempo de maquinado

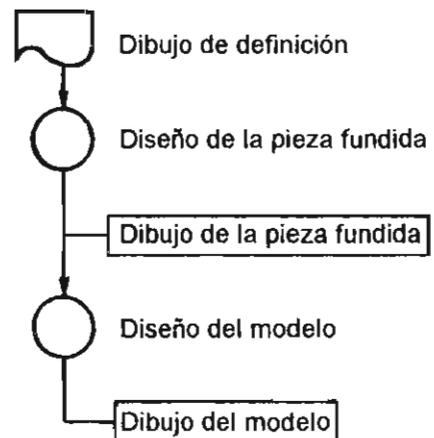
– Cuando el material no existe comercialmente

Las secuencias para el diseño y fabricación de piezas fundidas son las siguientes:

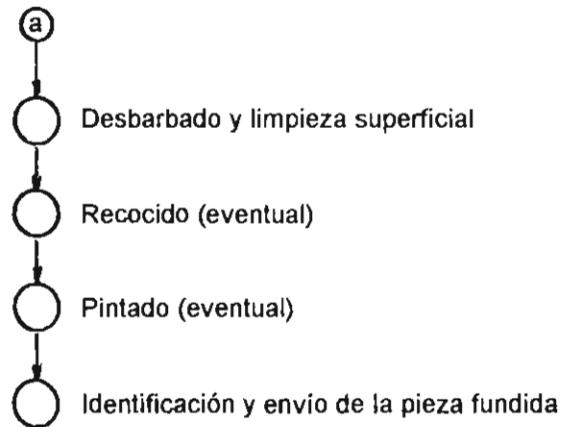
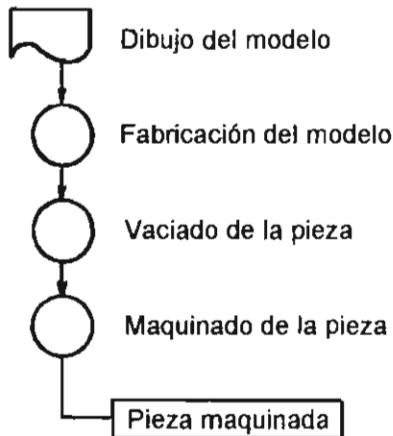
Figura 5.1 Fundición de formas geométricas complejas.



Secuencia de diseño



Secuencia de fabricación

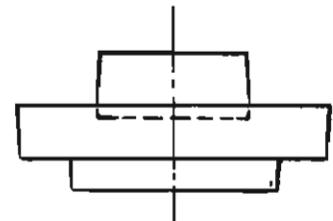


Las operaciones generales correspondientes al proceso propiamente de fundición son las siguientes:



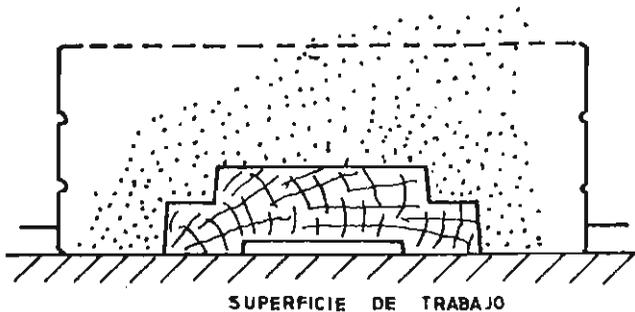
Las operaciones de moldeo en general son las siguientes:

Modelo de dos partes desmontables



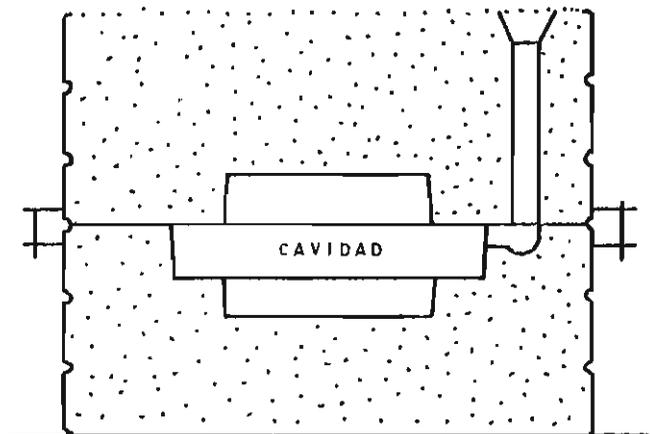
Moldeo de la mitad inferior del molde

- Se coloca la parte hembra del modelo sobre la mesa de trabajo.
- Se coloca y se centra la mitad inferior de la caja de moldeo.
- Se cierra arena de moldeo sobre el modelo y se apisona.
- Se continúa apisonando pero con arena de relleno hasta enrasar la caja completamente.



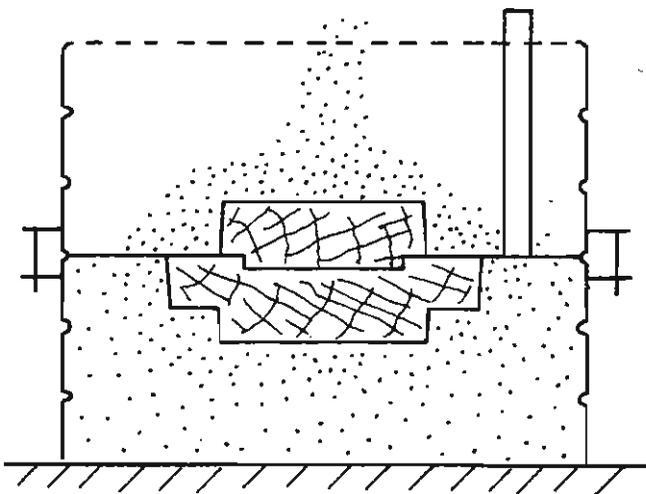
Preparación del molde

- Separar mitades de molde, extraer ambas partes del modelo y el tubo de colada, moldear entrada y sopletear con aire para retirar granos de arena suelta.



Moldeo de la mitad superior del molde

- Se voltea la mitad inferior del molde.
- Se coloca la mitad superior de la caja de moldeo centrándola con sus pernos-guía en la caja inferior.
- Se coloca la parte macho del modelo y un tubo para la colada.
- Se cieme arena de moldeo sobre el modelo y se apisona.
- Se continúa apisonando pero con arena de relleno hasta enrasar la caja completamente



5.1 DISEÑO DE LA PIEZA FUNDIDA

Como se mencionó anteriormente, el punto de partida para diseñar la pieza fundida es el dibujo de definición de la pieza y la secuencia de diseño es la siguiente:

5.1.1 Especificación de las formas geométricas

1) Asignación de márgenes de maquinado

El margen de maquinado es el exceso de material que se da a las superficies que deben maquinarse y



2892934

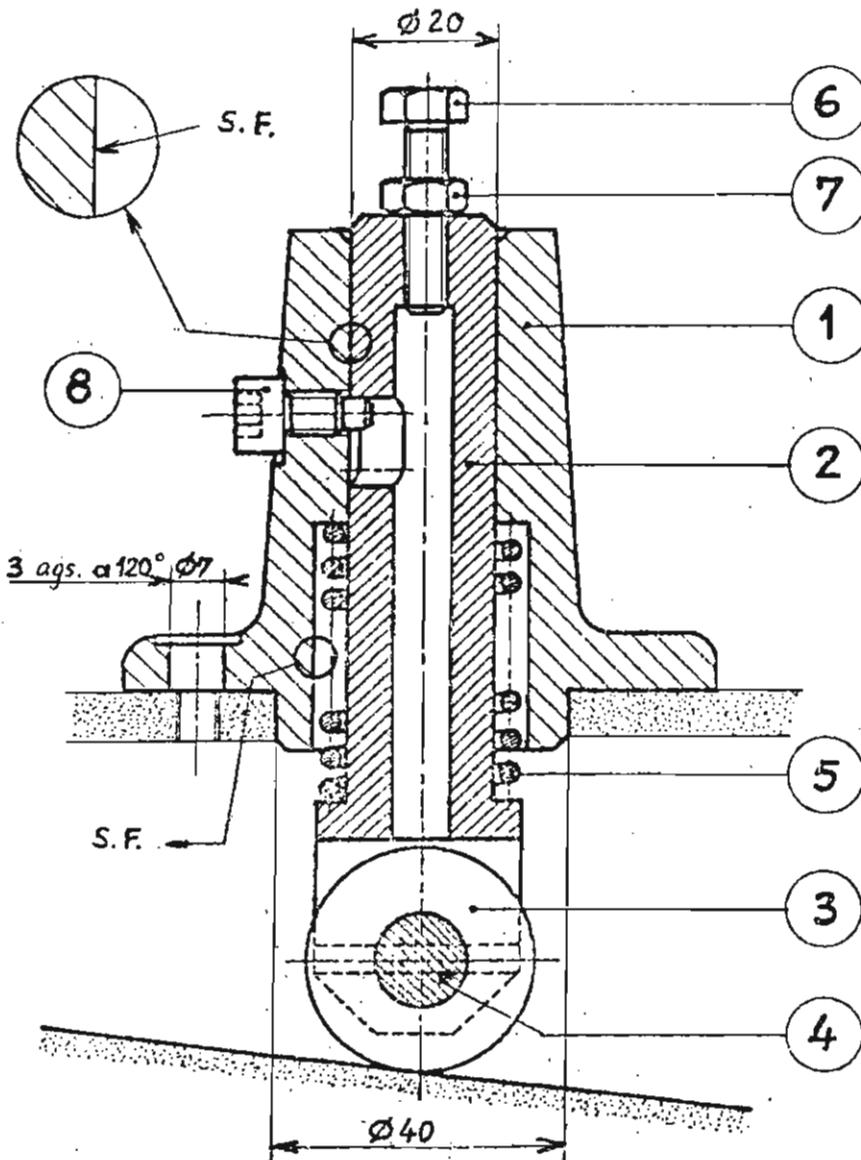
que se denominan funcionales puesto que de éstas depende la funcionalidad de la pieza: son las que están en contacto o muy próximas a otra superficie (figura 5.2).

El margen de maquinado depende de las dimensiones y material de la pieza maquinada, y constituye

una **característica funcional de la pieza fundida.**

Para piezas fundidas de hierro gris y de acero, los márgenes de maquinado para las superficies funcionales que quedan en el fondo ó en las paredes verticales de la cavidad del molde, pueden seleccionarse de acuerdo a la tabla 5.1.

Figura 5.2 Superficies funcionales (S.F.)



Debido a que en el momento del vaciado, tanto los gases generados por el contacto del metal fundido con la arena del molde como las impurezas, ascienden a la parte superior de la cavidad del molde, a las superficies funcionales que quedan situadas en la parte superior dicha, se les debe considerar un 50% adicional al valor tabulado anteriormente para su margen de maquinado, para evitar en lo posible rechazos de piezas debido a porosidades o impurezas que se detectan hasta después del maquinado. En el caso de superficies cilíndricas torneadas, los valores de la tabla se duplican.

Ejemplo 5.1

Selecciónense los márgenes de maquinado que debe tener la pieza fundida para el maquinado de la pieza de la figura 5.3

- La dimensión mayor de la pieza (300 mm) está en el rango de 250 a 630 mm y por tanto, se selecciona el segundo renglón de la tabla.
- El margen para la superficie cilíndrica de $\phi 300 \times 60$ mm se localiza en el cruce del segundo renglón con la sexta columna y se multiplica por dos: $5 \times 2 = 10$ mm.
- El margen para la superficie plana de $\phi 300$ mm de circunferencia se localiza en el cruce del segundo renglón con la cuarta columna, pues la dimensión a considerar es la de 120 y no la de 60: 4.5 mm.

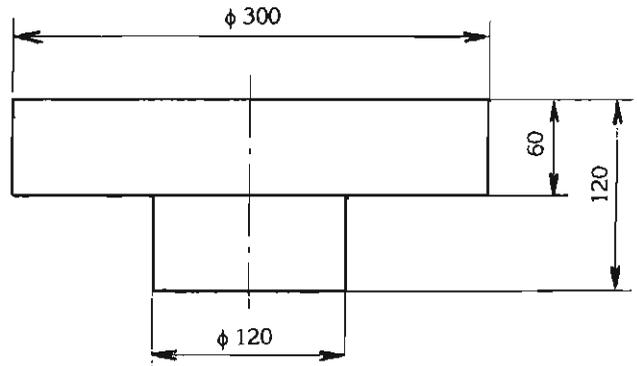


Figura 5.3 Pieza maquinada de fundición.

- El margen para la superficie plana de $\phi 120$ mm de circunferencia es también de 4.5 mm.
- El margen para la superficie plana de circunferencia exterior de $\phi 300$ mm e interior de $\phi 120$ mm se localiza en el cruce del segundo renglón con la tercera columna: 4 mm.
- Finalmente, el margen para la superficie cilíndrica de $\phi 120 \times 60$ se localiza en el cruce del segundo renglón con la cuarta columna y se duplica: $4.5 \times 2 = 9$ mm.

Por tanto, sin considerar todavía algunas otras características de la pieza fundida, el diseño de ésta se muestra en la figura 5.4.

Tabla 5.1 Márgenes de maquinado para fundiciones grises y de acero

Dimensión mayor de la pieza		Dimensión a considerar (más de - hasta)								
		Más de	Hasta	25	40	100	160	250	400	630
250		25	40	100	160	250	400	630	1,000	
	250	2.5		3.0		3.5				
250	630	3.5	4.0		4.5	5.0	5.5			
630	1,000	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5			

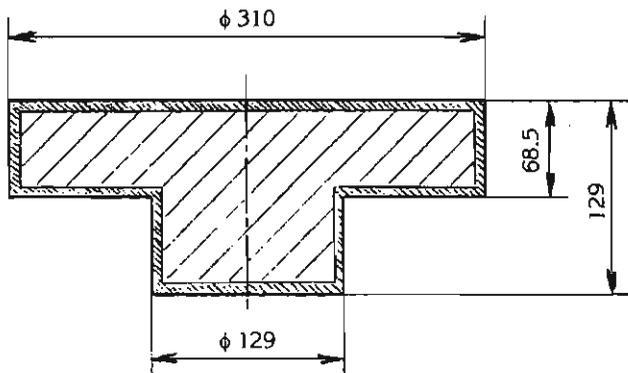


Figura 5.4 Diseño preliminar de pieza fundida.

2) Localizar la posición más adecuada de la línea de partición

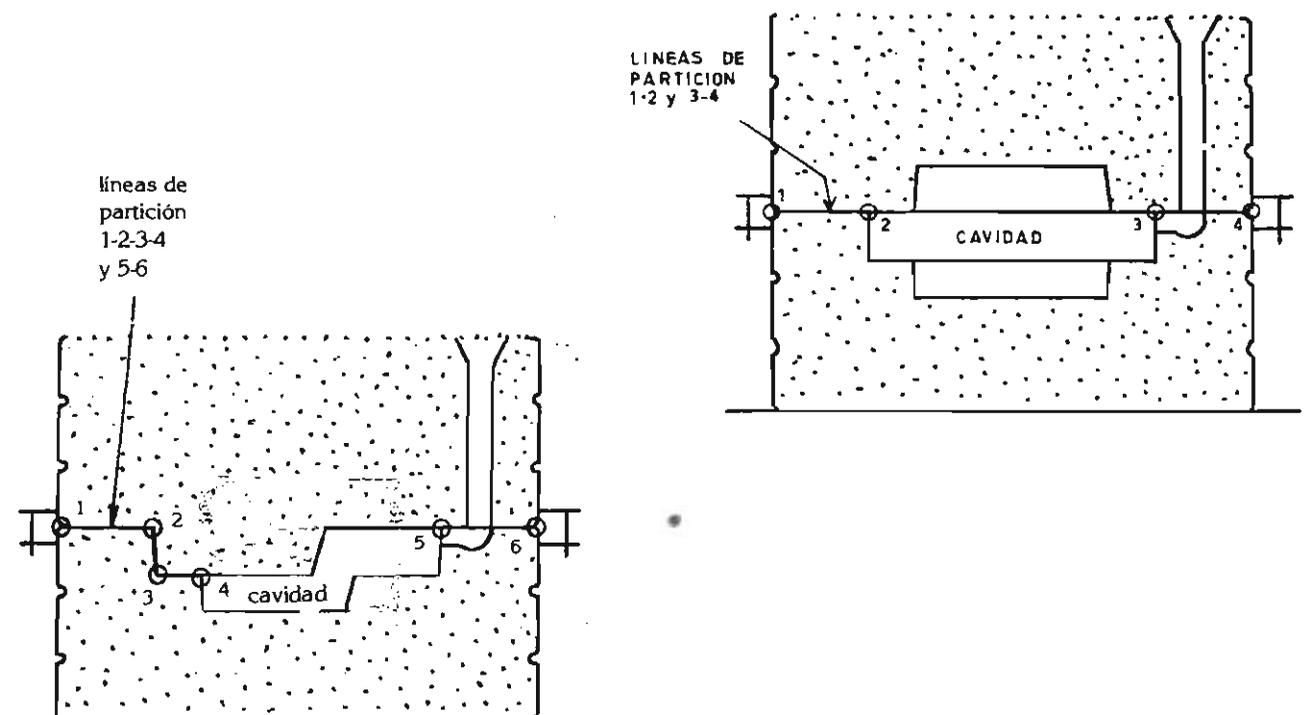
La línea de partición propiamente es el plano o planos paralelos o no paralelos que separan las dos

mitades del molde, véase figura 5.5, y es una **característica funcional del modelo**, pues facilita su moldeo y extracción del molde, pero su posición debe localizarse desde el diseño de la pieza fundida, ya que es la referencia para orientar los ángulos de salida.

La posición de la línea de partición debe localizarse procurando que:

- Evite cambios en el diseño de la pieza
- Los ángulos de salida no aumenten excesivamente los márgenes de maquinado o espesores de la pieza (véase figura 5.6)
- El modelo sea de una sola pieza
- Abajo de ella quede el mayor volumen posible de la pieza

Figura 5.5. Línea de partición.



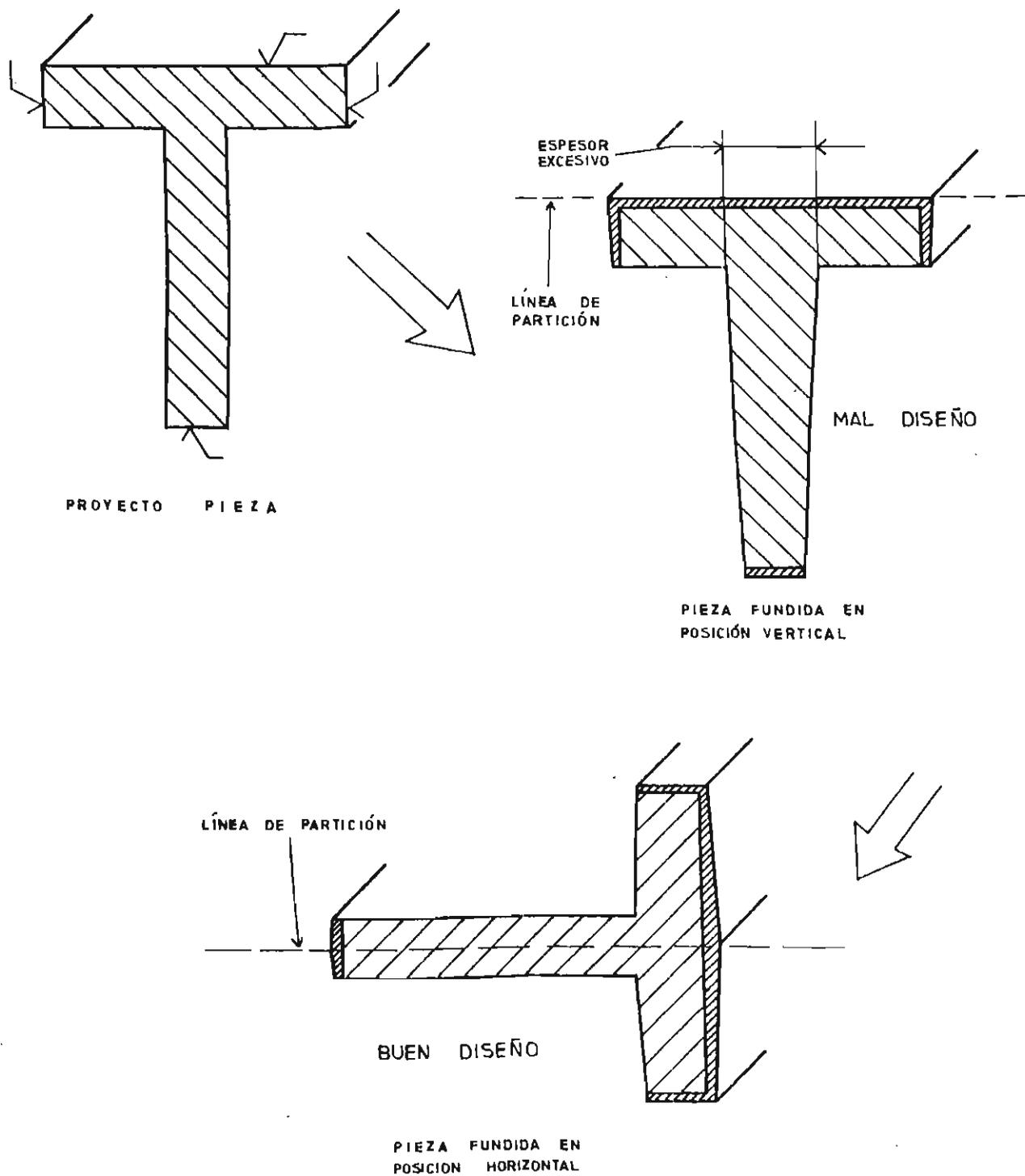
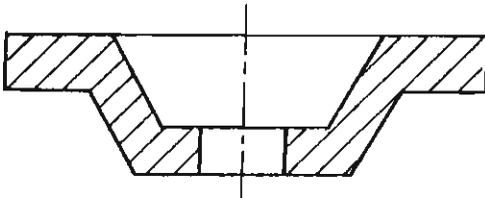


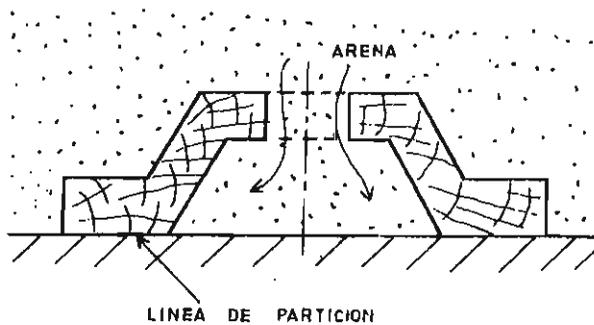
Figura 5.6. Posicionamiento de la línea de partición.

Las contrasalidas pueden evitarse posicionando la línea de partición en dos o más planos:

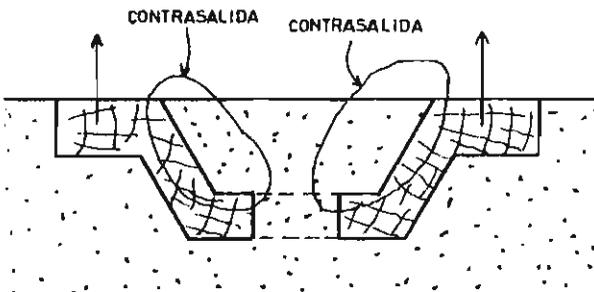
1.- Proyecto de pieza:



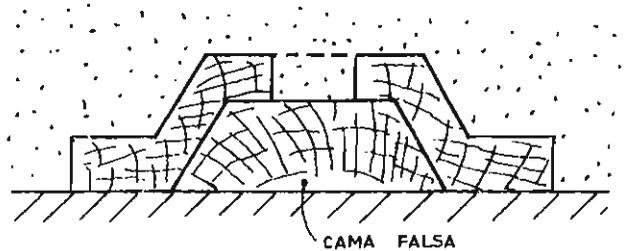
2. Al moldear la mitad inferior del molde, la arena entra al hueco del modelo:



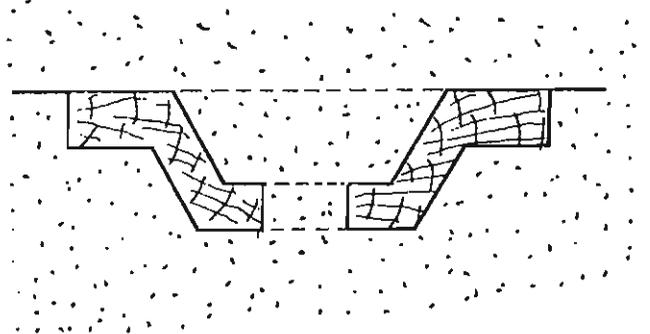
3. Después de separar la mitad superior del molde, se debe extraer el modelo de la mitad inferior, pero al hacerlo, se rompe el corazón en su parte superior debido a la contrasalida:



4. Para evitar que la arena entre totalmente al hueco del modelo y forme contrasalida cuando se moldea la mitad inferior del molde, se coloca una **cama falsa**:

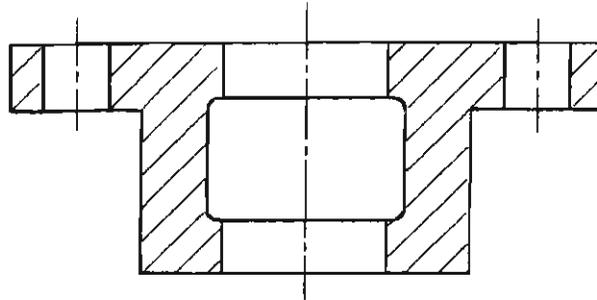


5. Antes de moldearse la mitad superior del molde, se quita la cama falsa, quedando la línea de partición en dos planos, siendo así posible separar las dos mitades del molde para extraer el modelo:

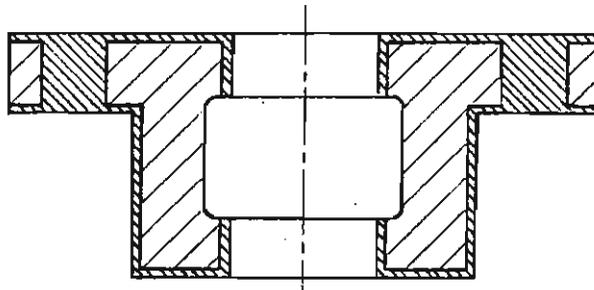


Cuando las contrasalidas sean inevitables, es necesario moldearlas por separado en caja de corazón y colocarlas posteriormente en el molde, en apoyos adecuados previstos en el modelo; los ángulos de salida en el corazón deben orientarse de acuerdo al diseño de la caja de corazón (pueden inclusive eliminarse), véase figura 5.7.

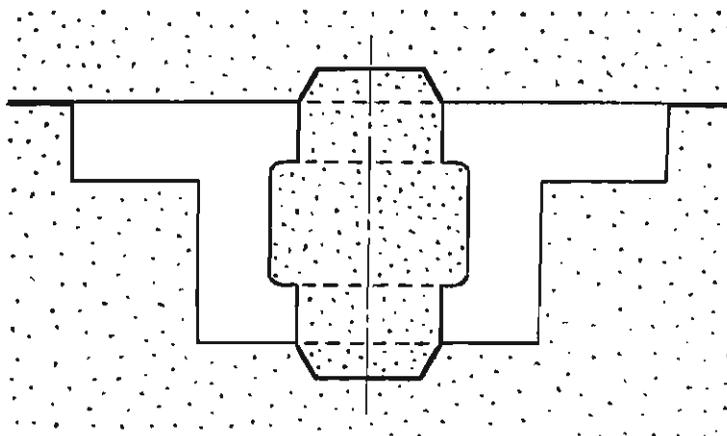
La línea de partición puede identificarse en las piezas fundidas por una costillita (figura 5.8).



Proyecto de pieza maquinada



Diseño de pieza fundida



Cavidad y corazón (contrasalida) en el molde

Figura 5.7 Utilización de corazón para evitar contrasalidas.



Figura 5.8 Línea de partición visible de una pieza fundida.

3) Dar inclinación a las superficies perpendiculares a la línea de partición

Dicha inclinación o ángulo de salida es una característica funcional del modelo, pues así se facilita su extracción del molde, pero debe tomarse en cuenta desde el diseño de la pieza porque afecta tanto a los márgenes de maquinado como a los espesores de la pieza. Su valor generalmente es de 1° a 3°.

El ángulo de salida debe siempre aumentar los márgenes de maquinado (figura 5.9a) o los espeso-

res de la pieza previstos en la fase de proyecto, y su dirección debe ser tal que no ocasione contrasalidas (figura 5.9b) que evitan la extracción del modelo del molde.

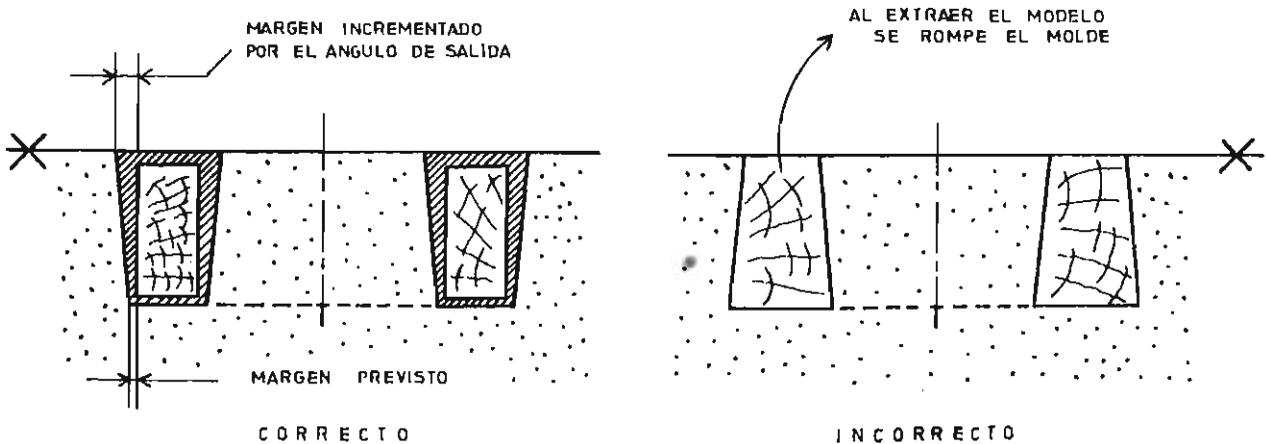
Un agujero largo (longitud mayor al diámetro) que deba moldearse con su eje en posición perpendicular a la línea de partición y el ángulo de salida le incremente en exceso al margen de maquinado, puede moldearse por separado, en caja de corazón, eliminándose así el ángulo de salida (figura 5.10).

4) Evitar cambios bruscos de sección y partes masivas

Esto es imperativo cuando el metal fundido solidifica pasando por un estado intermedio líquido-sólido, como es el caso del acero, de las fundiciones grises altamente aleadas y algunas aleaciones no ferrosas. En estos casos, el espesor de una pared debe disminuir gradualmente siguiendo la dirección del flujo del metal fundido (figura 5.11).

Deben evitarse los cambios bruscos de sección para evitar defectos de fundición como rechupes o grietas, dando radios de enlace (figura 5.12) o modificando el diseño de la pieza (figura 5.13).

Figura 5.9 Dirección para el ángulo de salida.



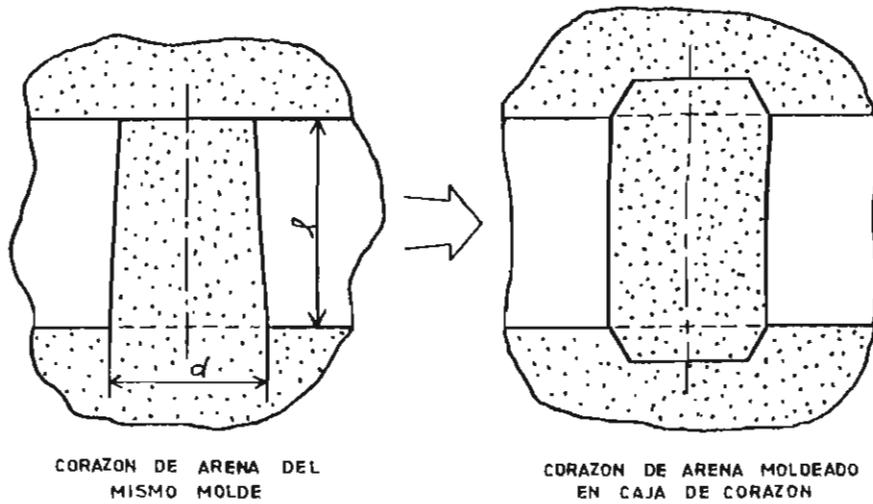


Figura 5.10 Eliminación del ángulo de salida.

Ejemplo 5.2

En la figura 5.14 se muestra el diseño previo para un anillo maquinado de acero fundido, y en la figura 5.15 se muestra el diseño para la pieza fundida, en donde los márgenes de maquinado se han asignado buscando la simplificación de formas geométricas tanto para la misma pieza fundida como para el modelo por construir, y considerando la recomendación 5 de la figura 5.12 anterior para dar cambios graduales de espesor y asegurar así una alimentación dirigida de la pieza.

Los incrementos de masa de partes masivas pueden calcularse mediante el Método de los círculos inscritos de Heuvers (figura 5.16).

Espesor mínimo de la sección

Se ha constatado en la práctica que la fluidez del acero es baja en relación con la de otros metales. Para que el acero fundido llene completamente las secciones, es necesario que se adopte un mínimo para el espesor de éstas en función de la mayor dimensión de la pieza (tabla 5.2).

Para piezas de fundición gris, el problema que se tiene con espesores delgados no es el de llenado, sino el de formación de cementita, debido a un rápido enfriamiento de la sección, lo que la endurece y le hace difícil su maquinado.

Figura 5.11 Flujo correcto del metal.

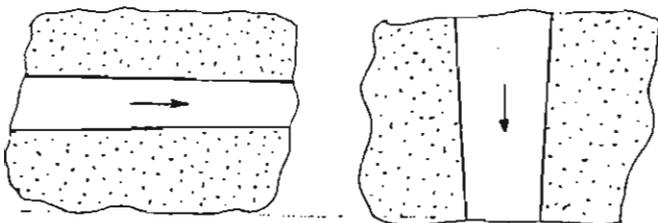


Tabla 5.2 Espesores mínimos para fundición (mm).

Longitud máxima de la sección:	300	1,250
Espesor mínimo de la sección	6	13

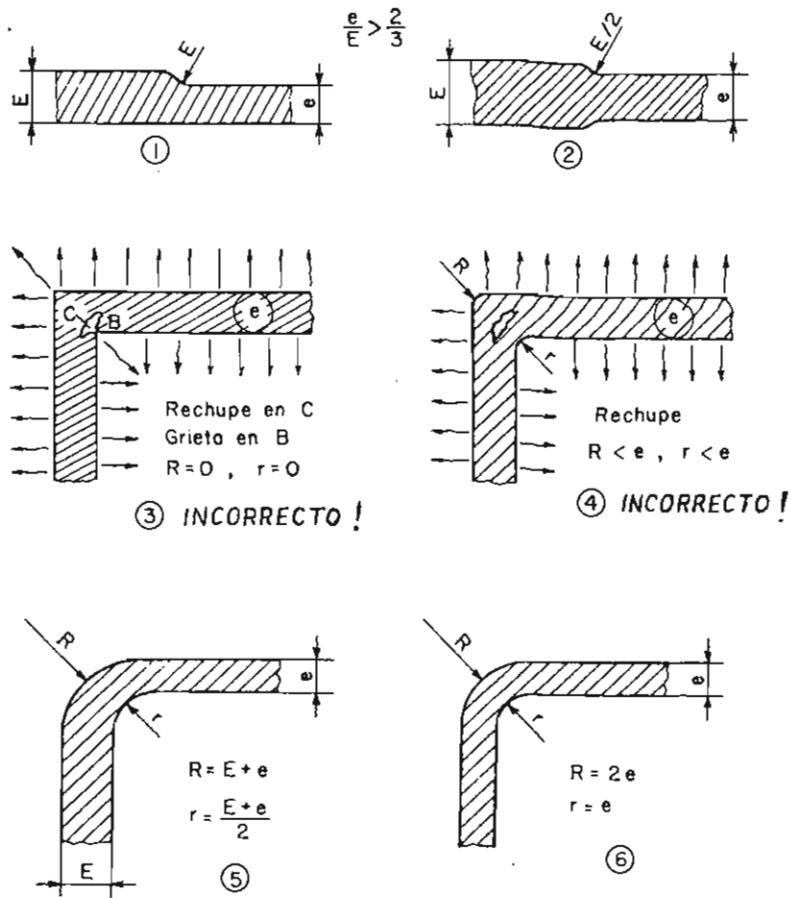
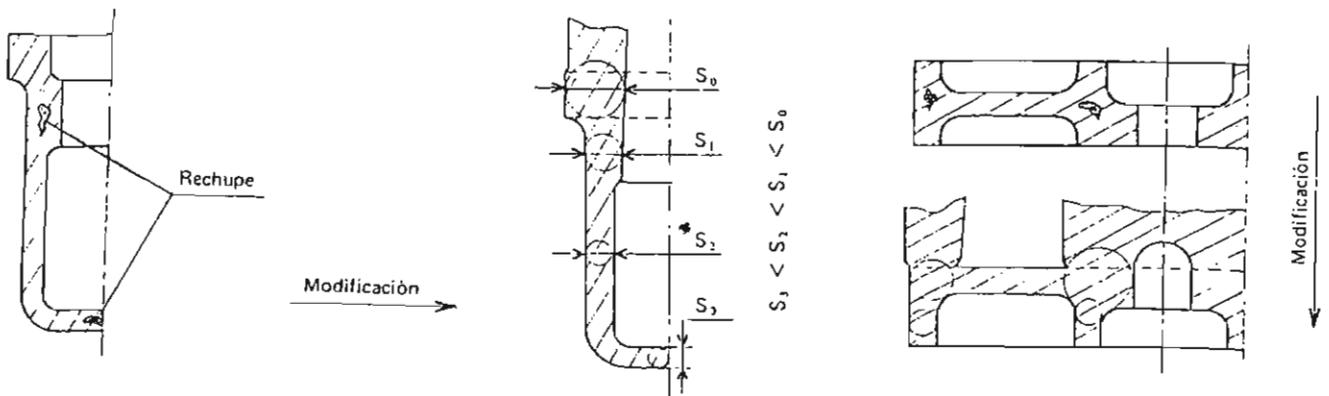


Figura 5.12 Disminución gradual de espesores.

Figura 5.13 Modificación del diseño para evitar defectos de fundición.



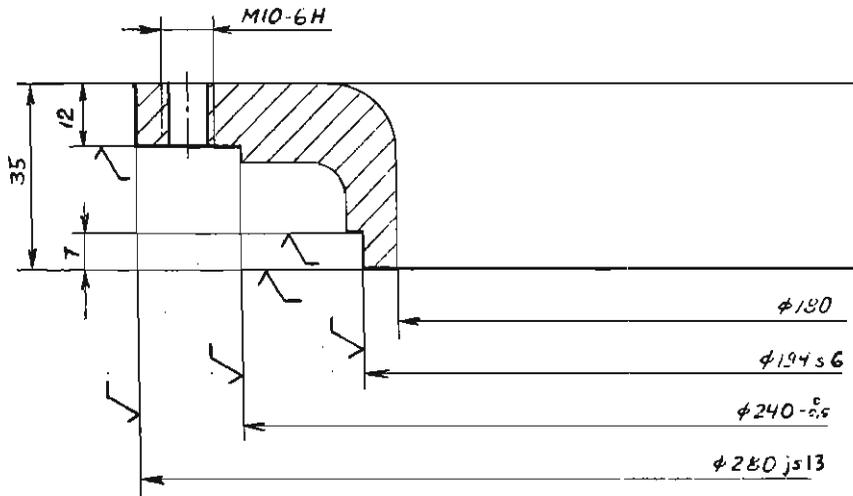


Figura 5.14 Proyecto de un anillo maquinado de acero fundido.

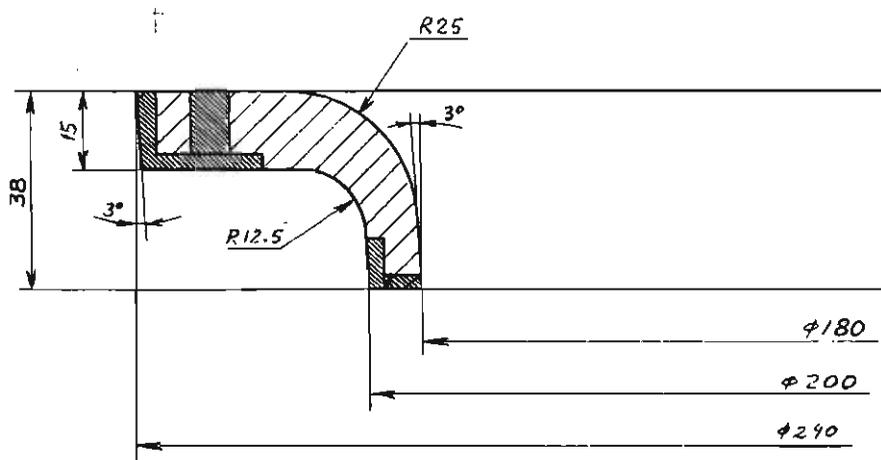
5) Prever detalles que faciliten la sujeción y maquinado de la pieza

En la figura 5.17a se muestra el diseño de un anillo fundido que debe maquinarse totalmente; de acuerdo a este diseño, la secuencia de maquinado sería la siguiente:

- se sujeta en su diámetro exterior, en un mandril de tres mordazas, deformándose de círculo a triángulo (figura 5.17b).

- se tornea el diámetro interior (hay variación en la profundidad de corte): al desmontarse, recupera su forma circular en el exterior pero el diámetro interior se deforma (figura 5.17c).
- se sujeta en el diámetro interior en los puntos adecuados para que recupere su forma circular y se tornea el diámetro exterior (figura 5.17d).
- finalmente se desmonta la pieza y ésta se recupera y nuevamente se deforma (figura 5.17e).

Figura 5.15 Diseño de anillo fundido de acero.



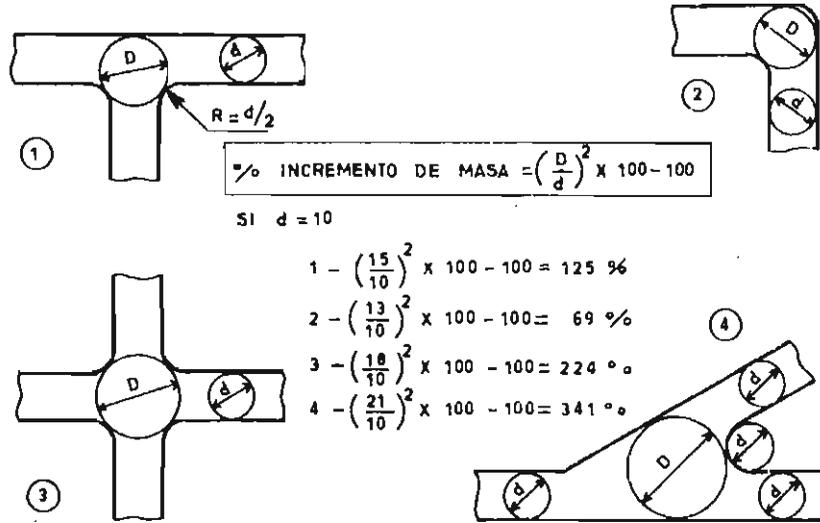


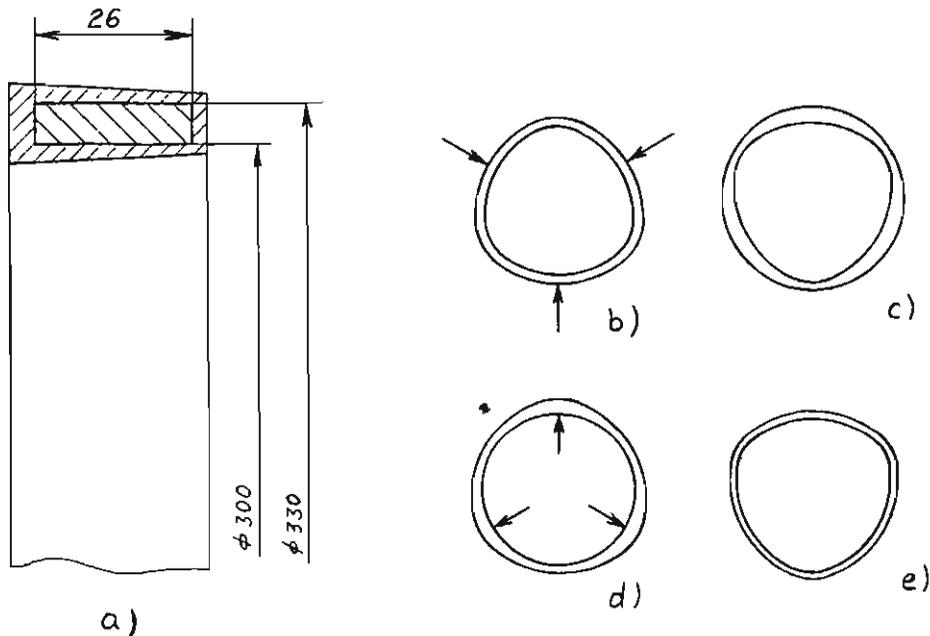
Figura 5.16 Método de los círculos inscritos de Heuvers.

Para evitar los problemas anteriores de maquinado, es conveniente modificar el diseño de la pieza fundida (figura 5.18).

6) Descomponer la pieza en dos o más partes

Cuando la geométrica de una pieza es complicada o de grandes dimensiones, puede fundirse en dos o más partes que se unen posteriormente (previo maquinado) mediante soldadura o con tornillos y tuercas.

Figura 5.17 Anillo fundido y sus operaciones de maquinado.



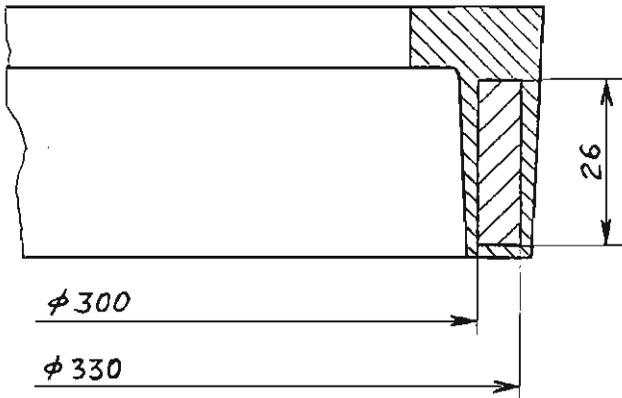


Figura 5.18 Diseño optimizado de anillo fundido.

5.1.2 Especificación del material

a) Fundiciones de hierro

En general, las propiedades de los materiales ferrosos fundidos se regulan no sólo con su composición química sino por el control del proceso de fusión, diseño de la pieza, velocidad de enfriamiento en el molde y tratamiento térmico posterior, por lo que no se recomienda especificar las fundiciones de hierro gris o de acero por su composición química, más bien, por su resistencia a la tensión.

a.1 Fundiciones grises

Contienen un gran porcentaje de su carbono en forma de grafito y un menor porcentaje en forma combinada como carburo de hierro: su fractura es gris, y pueden ser simples o aleadas.

El silicio reduce la capacidad de la fundición para retener carbono en combinación química; con muy poco silicio, el hierro retiene todo su carbono en combinación y se produce hierro blanco, y con alrededor del 3 % de silicio, casi nada de carbono se retiene en combinación química.

El manganeso, cromo, molibdeno y titanio promueven la formación de cementita y contrarrestan la acción del silicio.

El níquel y cobre mejoran la matriz e incrementan la resistencia del hierro, pero no le disminuyen la cantidad de grafito presente y por tanto, le conservan su maquinabilidad.

Los tipos ordinarios de fundición presentan una resistencia considerable contra la corrosión subterránea, y los que contienen un alto porcentaje de cromo (15 a 30 %), níquel y silicio, son especialmente resistentes al ácido sulfúrico y a la corrosión.

La resistencia a la tensión de la fundición varía de 140 a 550 MPa; la norma NOM B-8-1988 (ASTM A48) proporciona 9 clases de resistencia a la tensión: 20,000 - 25,000 - 30,000 - 35,000 - 40,000 - 45,000 - 50,000 - 55,000 y 60,000 libras/pulg². Véase anexo A.

El límite de elasticidad de las fundiciones grises está próximo a su resistencia máxima a la ruptura.

La fundición gris puede soportar por tiempo indefinido una carga estática que sea un poco menor que su resistencia a la tensión, sin deformación ni fractura.

Tiene baja ductilidad y se rompe sin deformación perceptible; con carga estática, la resistencia final a la tensión es menor a la que muestra a compresión, carga transversal o cizallamiento.

La resistencia al impacto es baja

La resistencia a la tensión se reduce a temperaturas mayores de 370 °C; el código ASME para recipientes sujetos a presión no expuestos al fuego, limita la temperatura de trabajo de la fundición gris a un valor máximo de 230 °C, ya que hasta esta temperatura no hay cambio perceptible en su resistencia a la tensión.

Su capacidad de amortiguamiento (absorción de vibración mecánica) es alta.

La facilidad de maquinado de la fundición es inversamente proporcional a su resistencia. El enfriamiento por coquilla o aceración, el tratamiento térmico y la adición de elementos aleantes reducen su maquinabilidad.

Algunas de las especificaciones ASTM para piezas de fundición gris son las siguientes:

- **ASTM A74:** Fundición para tubos y accesorios de tubería de evacuación.
- **ASTM A126:** Fundiciones grises para válvulas, bridas y accesorios de tuberías.
- **ASTM A142:** Fundición para tubos de alcantarillas.
- **ASTM A159 (NOM B-2):** Fundiciones grises automotrices.
- **ASTM A278:** Fundiciones grises para partes de recipientes de presión para temperaturas hasta de 650 °F (340 °C).
- **ASTM A319 (NOM B-62):** Fundiciones grises para temperaturas elevadas para piezas de recipientes que no están sujetas a presión.
- **ASTM A377:** Fundición para tubos de presión.

a.2 Fundición gris en coquilla

Es una fundición gris con alguna sección enfriada a propósito por coquillas o partes metálicas, tan rápidamente que el carbono es retenido en la forma combinada (hierro blanco o fundición blanca), mientras que otras secciones se dejan enfriar más lentamente, reteniéndose el carbono en la forma de laminillas o escamas como de la fundición gris. Piezas fundidas como quijadas de trituradoras, rodillos de laminación o ruedas de vagones de ferrocarril, que requieren superficies duras con resistencia al desgaste y cuerpos suaves, se fabrican de hierros de bajo contenido de silicio.

a.3 Fundiciones grises especiales

Se producen por procesos con licencia o controlados por patente para propósitos específicos. Meehanita es el nombre con que se conocen numerosas fundiciones de este tipo.

De acuerdo con su uso, se clasifican en:

- Fundiciones de uso general para ingeniería
- Fundiciones resistentes al calor
- Fundiciones resistentes al desgaste
- Fundiciones resistentes a la corrosión

De acuerdo con su microestructura, se clasifican en:

- Perlíticas finas (sorbíticas): contienen Si, Ni y Mo.
- Bainíticas: contienen mayores porcentajes de Si, Ni y Mo.
- martensíticas: contienen Si, Cr y Ni.
- Austeníticas: contienen hasta un 20 % de elementos de aleación, distinguiéndose tres clases principales:
 - al Ni (13 a 35 %) – Cu (8 %) – Cr (6 %), su denominación comercial es “Ni-Resist”
 - al Ni (13 al 21 %) – Si (5 a 6 %) - Cr (1.5 a 5.5. %), su denominación comercial es “Nicrosilal”
 - al Ni (5 a 10 %) – Mn (5 a 12 %) – Cu (5 %), su denominación comercial es “Nomag”.

a.4 Fundiciones grises nodulares.

Son fundiciones dúctiles de hierro con grafito en forma esferoidal y libre de grafito laminar. El cerio o magnesio son los elementos de aleación para la nodulación.

Su resistencia a la tensión varía de 400 a 800 MPa. Tienen las ventajas del hierro fundido (fluidez, bajo punto de fusión, facilidad de maquinado), junto con la resistencia a la tensión del acero al carbono fundido.

Las especificaciones para estas fundiciones son:

- **ASTM A339 Grado 60-45-10:** Fundición de hierro nodular con microestructura ferrítica (grado 60-45-10: resistencia mínima a la tensión de 60,000 psi – resistencia mínima de cedencia de 45,000 psi – 10 % de alargamiento en 50.8 mm de longitud calibrada).
- **ASTM A339 Grado 80-60-03:** Fundición de hierro nodular con microestructura perlítica.

- **ASTM A395:** Hierro nodular fundido para piezas de recipientes a presión para uso a temperaturas elevadas.
- **ASTM A396 Grados 100-70-03 y 120-90-02:** Fundiciones de hierro nodular de alta resistencia (contienen de 5 a 6 % de níquel).
- **ASTM A436:** Piezas de fundición de hierro gris austenítico (antimagnético), contienen 20 % de Ni – 2 % de Cr o 30 % de Ni – 2.5 % de Cr.

a.5 Fundiciones grises maleables

Son fundiciones grises dulces y tenaces obtenidas mediante un recocido apropiado de una fundición blanca.

Si el recocido es **grafitizante**, se conocen como de núcleo negro (fundición maleable americana). Se clasifican en dos tipos:

- De calidad estándar, con resistencia mínima a la tensión que varía de 50,000 a 53,000 psi. Las piezas de maquinaria y automotrices son de aplicación corriente (especificación ASTM A47: Fundiciones de hierro maleable).

La composición química de la fundición blanca a partir de la cual se obtiene este hierro maleable es la siguiente: C de 2 a 2.7 % – Si de 0.8 a 1.2 % – menos de 0.55 % de Mn – menos de 0.2 % de P – menos de 0.18 % de S.

- Fundición maleable perlítica (especificación ASTM A220), con resistencia mínima a la tensión de 65,000 a 100,000 psi; se obtienen a partir de una fundición de núcleo negro mediante tratamiento térmico adicional. Esta fundición posee prácticamente las características del acero.

Si el recocido es **descarburante**, se conocen como de núcleo blanco, y tienen buena soldabilidad (fundición maleable europea).

b) Fundiciones de acero

Hay cinco clases comerciales de acero fundido:

- Aceros de bajo carbono (de 0.05 a 0.25 % de carbono).
- Aceros de mediano carbono (de 0.26 a 0.50 % de carbono).
- Aceros de alto carbono (de 0.53 a 0.95 % de carbono).
- Aceros de baja aleación (menos de 8 % de elementos aleantes).
- Aceros de alta aleación (más de 8 % de elementos aleantes) resistentes al calor y a la corrosión.

La resistencia a la tensión del acero fundido varía de 415 a 1,725 MPa, dependiendo de su composición y tratamiento térmico.

b.1 Aceros al carbono fundidos

Contienen menos de 1.7 % de carbono, junto con otros elementos de aleación normalmente presentes en los porcentajes siguientes:

Mn	de 0.50 a 1.00 %
Si	de 0.20 a 0.70 %
P	0.05 % máximo
S	0.06 % máximo

Como impurezas, contienen otros elementos en pequeños porcentajes residuales de la pedacería o chatarra de acero usada como parte de la carga de fusión.

El acero fundido se compra especificando sus propiedades mecánicas (normas ASTM), más bien que su composición química (normas SAE o AISI). Las especificaciones ASTM más utilizadas son:

- **ASTM A27 (NOM B 352) Grados 60-30, 65-35 y 70-36:** Fundiciones de acero al carbono de baja a mediana resistencia para aplicaciones generales. (grado 60-30: resistencia mínima a la tensión de 60,000 psi – resistencia mínima de cedencia de 30,000 psi).

- **ASTM A95:** Aceros al carbono fundidos para válvulas, bridas y accesorios para servicio a alta temperatura.
- **ASTM A148 (NOM B 353) Grados 80-40, 80-50, 90-60, 105-85, 120-95, 150-125 y 175-145:** Fundiciones de acero alta resistencia para usos estructurales.
- **ASTM A216 (NOM B 356):** Aceros al carbono fundidos adecuados para soldadura por fusión y servicio a alta temperatura.

b.2 Acero aleado fundido

Un acero fundido se considera aleado cuando los elementos de aleación, ya sean agregados o residuales, están presentes en porcentajes mayores que los siguientes: 1 % de Mn - 0.7 % de Si - 0.5 % de Cu - 0.25 % de Cr - 0.1 % de Mo - 0.05 % de V - 0.05 % de W - 0.05 % de Al - 0.05 % de Ti. Las limitaciones en cuanto a los contenidos de fósforo y azufre que se aplican al acero aleado fundido son iguales a las del acero al carbono fundido, a no ser que se especifiquen con el fin de obtener un efecto aleante.

Algunas especificaciones para éstos aceros son:

- **ASTM A128 (NOM B 351):** Aceros fundidos austeníticos al manganeso.
- **ASTM A296 (NOM B 354):** Aceros fundidos aleados al Cr y Cr-Ni para aplicaciones generales, resistentes a la corrosión.
- **ASTM A297 (NOM B 355):** Aceros fundidos aleados al Cr y Cr-Ni, para aplicaciones generales, resistentes al calor.
- **ASTM A351:** Aceros fundidos ferríticos o austeníticos para servicio a alta temperatura.
- **ASTM A352:** Aceros fundidos ferríticos para piezas a presión adecuadas para servicio a baja temperatura.

- **ASTM A356:** Aceros fundidos de acero al carbono y de bajo contenido de aleación, de pared gruesa para turbinas de vapor.
- **ASTM A362:** Fundiciones centrífugas tubulares aleadas al Cr y Cr-Ni para aplicaciones generales.
- **ASTM A389:** Fundiciones de acero aleado normalizadas y estiradas para servicio a alta presión y elevada temperatura.
- **ASTM A447:** Fundiciones aleadas al Cr-Ni (clase 25-12) para servicio a alta temperatura.
- **ASTM A448:** Fundiciones aleadas al Ni-Cr (clase 35-15) para servicios a alta temperatura.

5.1.3 Especificación de tolerancias de fundición

La tabla 5.3 (norma internacional ISO 8062) proporciona los grados de tolerancia dimensional (CT) previstos para piezas fundidas: dichos grados pueden especificarse en el dibujo de la pieza fundida como tolerancias generales para toda la pieza, o como tolerancia particular para alguna característica de la misma: "tolerancias generales ISO 8062 - CT 16". A menos que otra cosa se especifique, la tolerancia para los espesores de paredes debe ser un grado mayor que la tolerancia general para las demás dimensiones.

El grado de tolerancia para una pieza depende del método de fundición y del metal de la misma, véanse tablas 5.4 y 5.5 siguientes (contenidas también en la norma ISO 8062).

Los valores máximos admisibles para el descentrado de las partes superior e inferior de una pieza respecto a su línea de partición (véase figura 5.19) se dan en la tabla 5.6.

5.1.4 Dimensiones

Las dimensiones máximas que pueden tener las piezas fundidas de acero, de hierro gris y sus alea-

Fundición en bruto dimensión básica (mm)		Tolerancia total de fundición mm															
		Grado de tolerancia de fundición CT															
más de	hasta e incluyendo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
-	10			0.18	0.26	0.36	0.52	0.74	1.0	1.5	2.0	2.8	4.2	-	-	-	-
10	16			0.20	0.28	0.38	0.54	0.78	1.1	1.6	2.2	3.0	4.4	-	-	-	-
16	25			0.22	0.30	0.42	0.58	0.82	1.2	1.7	2.4	3.2	4.6	6	8	10	12
25	40			0.24	0.32	0.46	0.64	0.90	1.3	1.8	2.6	3.6	5.0	7	9	11	14
40	63			0.26	0.36	0.50	0.70	1.00	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8	10	12	16
63	100			0.28	0.40	0.56	0.78	1.10	1.6	2.2	3.2	4.4	6	9	11	14	18
100	160			0.30	0.44	0.62	0.88	1.20	1.8	2.5	3.6	5.0	7	10	12	16	20
160	250			0.34	0.50	0.70	1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	5.6	8	11	14	18	22
250	400			0.40	0.56	0.78	1.1	1.6	2.2	3.2	4.4	6.2	9	12	16	20	25
400	630				0.64	0.90	1.2	1.8	2.6	3.6	5	7	10	14	18	22	28
630	1 000					1.0	1.4	2.0	2.8	4.0	6	8	11	16	20	25	32
1 000	1 600						1.6	2.2	3.2	4.6	7	9	13	18	23	29	37
1 600	2 500							2.6	3.8	5.4	8	10	15	21	26	33	42
2 500	4 000								4.4	6.2	9	12	17	24	30	38	49
4 000	6 300									7.0	10	14	20	28	35	44	56
6 300	10 000										11	16	23	32	40	50	64

NOTA: Para espesor de pared, se aplica un grado más.

Tabla 5.3 Tolerancias de fundición

Método	Grado de tolerancia									
	Acero	Hierro gris	Hierro gris aleado	Hierro maleable	Aleaciones de cobre	Aleaciones de zinc	Aleaciones de metales ligeros	Aleaciones con base de níquel	Aleaciones con base de cobalto	
Vaciado en arena moldeado manual	11 a 13	11 a 13	11 a 13	11 a 13	10 a 12		9 a 11			
Vaciado en arena moldeado en máquina y en cáscara	8 a 10	8 a 10	8 a 10	8 a 10	8 a 10		7 a 9			
Molde metálico permanente (gravedad y a baja presión)		7 a 9	7 a 9	7 a 9	7 a 9	7 a 9	6 a 8			
Vaciado a presión					6 a 8	4 a 6	5 a 7			
Vaciado a la cera perdida	4 a 6	4 a 6	4 a 6		4 a 6		4 a 6	4 a 6	4 a 6	
Vaciado en molde cerámico	7 a 9	6 a 8	6 a 8	6 a 8						

Tabla 5.4 Tolerancias para grandes series de piezas fundidas.

Material de moldeo	Grado de tolerancia CT					
	Acero	Hierro gris	Hierro gris aleado	Hierro maleable	Aleaciones de cobre	Aleaciones de metales ligeros
Arena verde	13 a 15	13 a 15	13 a 15	13 a 15	13 a 15	11 a 13
Materiales autosecantes	12 a 14	11 a 13	11 a 13	11 a 13	10 a 12	10 a 12

Tabla 5.5 Tolerancias para series pequeñas o unitarias de piezas fundidas.

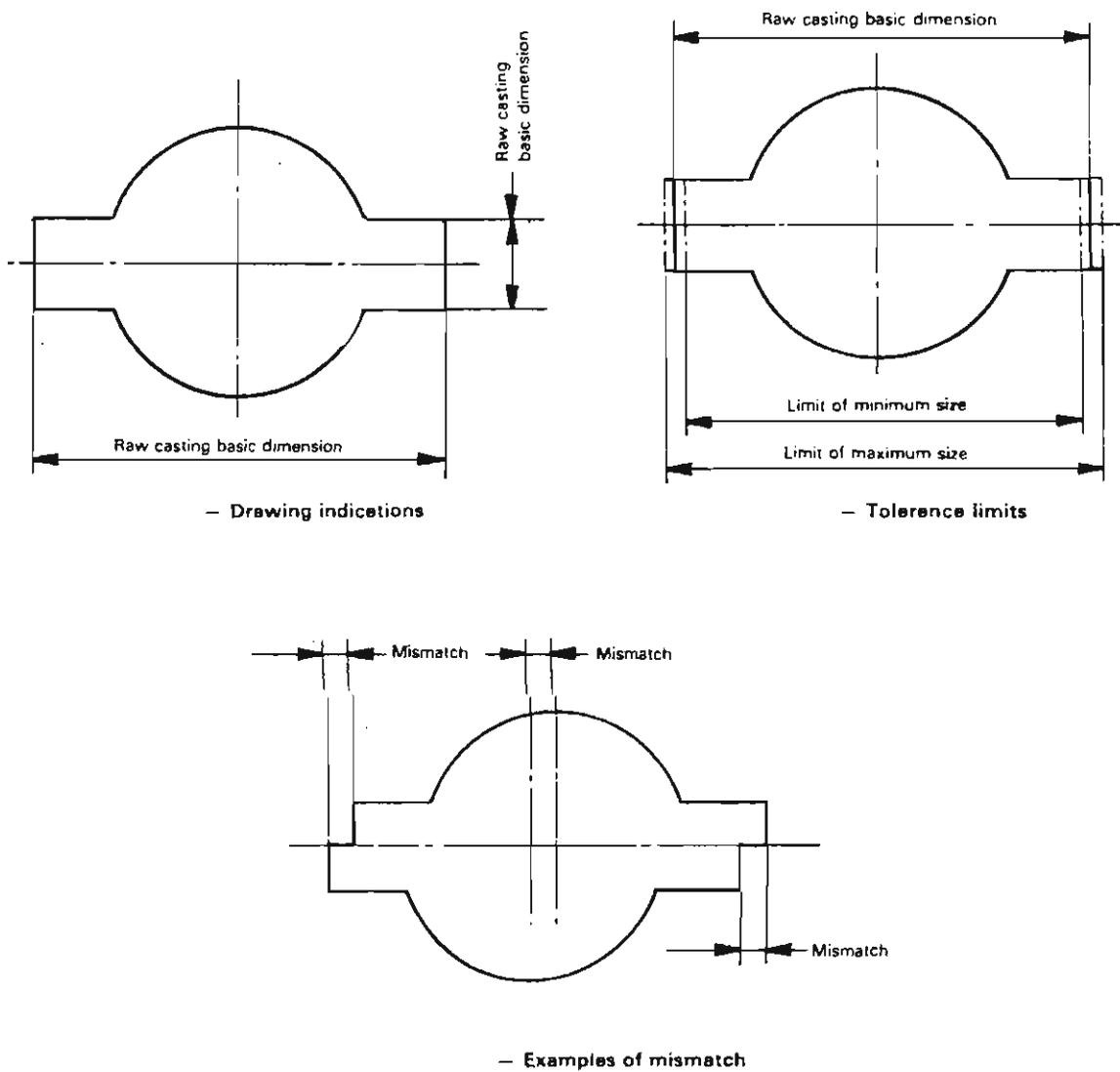


Figura 5.19 Descentrado de piezas fundidas.

Tabla 5.6 Descentrado máximo.

Grado de tolerancia CT	Descentrado máximo mm
3 a 4	* véase tabla 5.3
5	0.3
6 a 8	0.7
9 a 10	1.0
11 a 13	1.5
14 a 16	2.5

Estos valores no se añaden a los que se dan en la tabla 5.3

ciones, o de materiales no ferrosos, dependen de la capacidad de fusión de los hornos o cubilotes de las fundiciones así como también del herramental para moldeo. Para acero fundido, una capacidad normal de fusión es de 500 kg/carga, y en hierro gris, de 300 kg/carga; para que el llenado del molde con el metal fundido sea completo, debe considerarse tanto el peso propio de la pieza como el peso del sistema de alimentación.

Cuando la cantidad necesaria de metal fundido para el llenado del molde excede la capacidad de fusión, el diseño de la pieza fundida puede modificarse para fundirla en dos o más partes.

5.1.5 Rugosidad superficial

La rugosidad superficial de una pieza depende del tamaño del grano de la arena de moldeo; los valores (en micrómetros) de rugosidad con que normalmente resultan las piezas son: Ra6.3, Ra12.5, Ra25 y Ra50.

Es práctica común que la planta de fundición procura siempre dar un buen acabado superficial sin necesidad de alguna especificación por parte del comprador, limpiando la pieza con chorro de arena después del desmoldeo.

5.1.6 Especificaciones adicionales

Tratamiento térmico. Las piezas fundidas de acero y de hierro gris altamente aleado deben tratarse térmicamente mediante un recocido de ablandamiento, para que puedan ser maquinadas posteriormente. Esta es una necesidad bien conocida por parte de la planta de fundición, no obstante, es recomendable que haya un acuerdo entre comprador y fundidor para especificar un rango de dureza (Brinell) para las piezas.

Pintura. El pintado de las piezas de hierro gris y de acero (no inoxidable) es también una práctica común en la mayoría de las plantas de fundición, para protegerlas contra la oxidación, pues generalmente se

almacenan a la intemperie; el comprador puede especificar un color para cada tipo o aleación de metal fundido, por ejemplo: verde para las piezas de hierro gris normal, gris para las de acero al carbón, etc.

5.2. DISEÑO DEL MODELO

Después que ya se tiene el diseño de la pieza fundida, donde se han previsto los márgenes para su maquinado, la localización de la línea de partición, los ángulos de salida, la uniformidad de espesores y radios de enlace, la siguiente fase es el diseño del modelo.

5.2.1 Definición de las formas geométricas

Las formas geométricas del modelo dependen de las formas geométricas correspondientes a la pieza fundida.

De acuerdo con sus formas geométricas exteriores, los modelos se clasifican como:

Modelos naturales: Si sus formas geométrica son iguales a las de la pieza fundida, y pueden ser de una sola pieza, bipartidos o en general, de dos o más piezas o con secciones desmontables, con o sin cama falsa, véanse figuras 5.20 a 5.24 y 5.26)

Modelos con caja de corazón: Son modelos para piezas que se desean fundir y que tienen alguna contrasalida en su geometría exterior o interior que se moldea por separado (en caja de corazón) y después se coloca en el molde, en apoyos moldeados con el modelo (véanse figuras 5.25 y 5.26).

En la figura 5.25 se observa que las formas geométricas del modelo comprenden las formas geométricas de la pieza fáciles de moldear más los apoyos para el corazón.

Placa-modelo: es el montaje de uno o varios modelos (naturales o con caja de corazón) en una placa

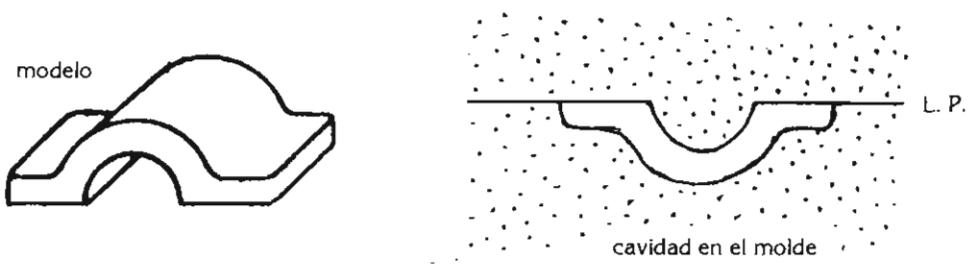


Figura 5.20 Modelo natural de una sola pieza.

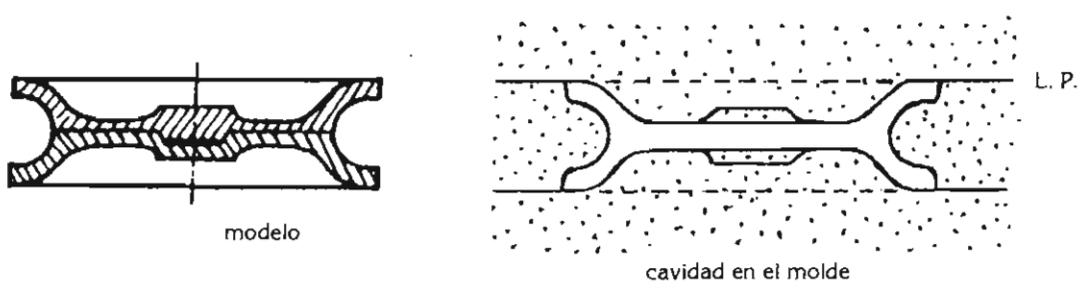


Figura 5.21 Modelo natural bipartido.

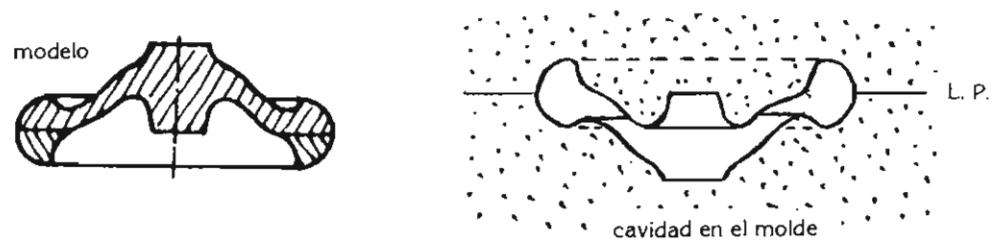


Figura 5.22 Modelo natural de dos piezas.

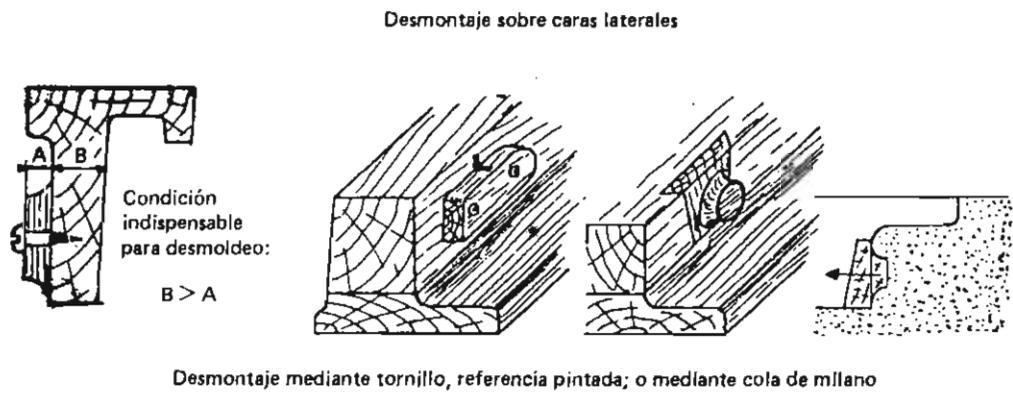


Figura 5.23 Modelos naturales con partes desmontables.

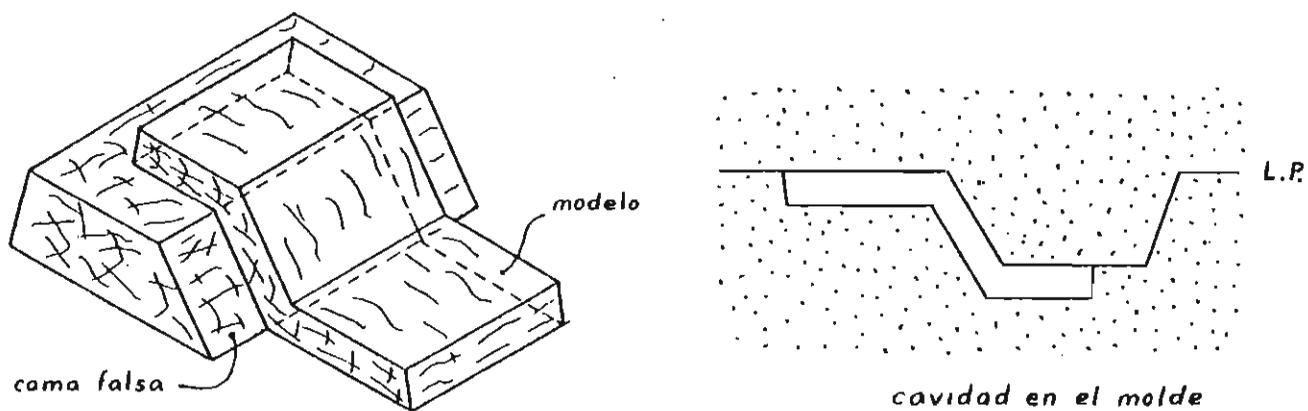
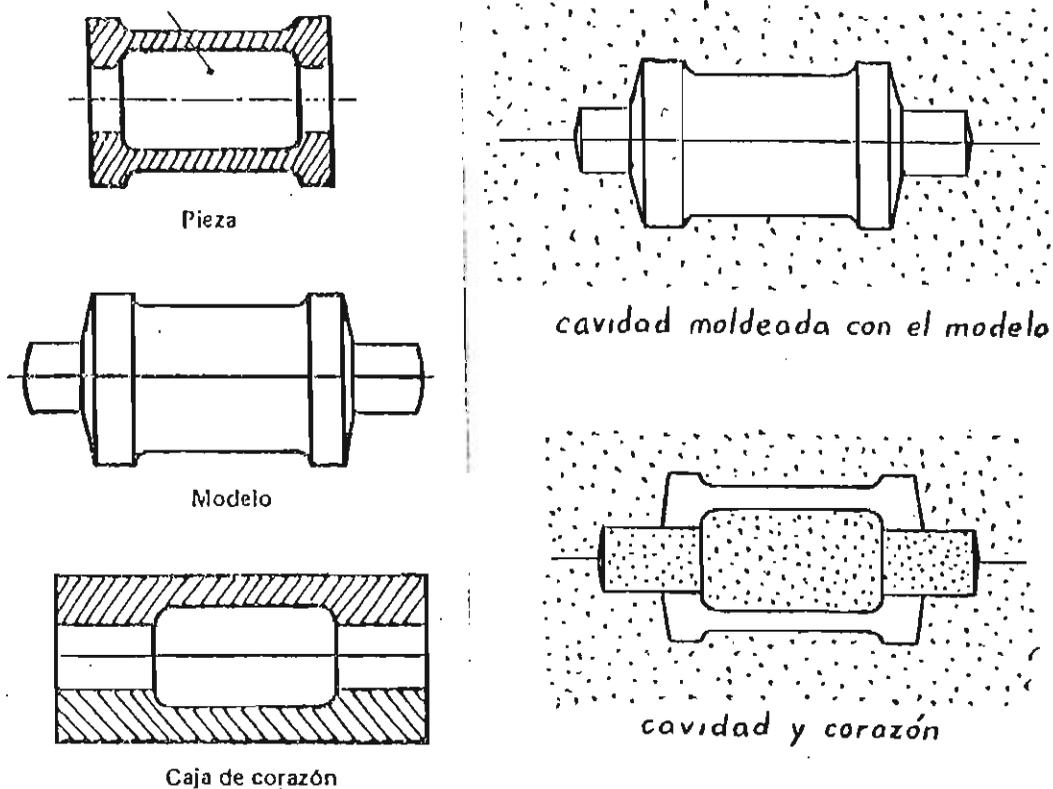


Figura 5.24 Modelo natural de una sola pieza con cama falsa.

Figura 5.25 Modelo con caja de corazón.



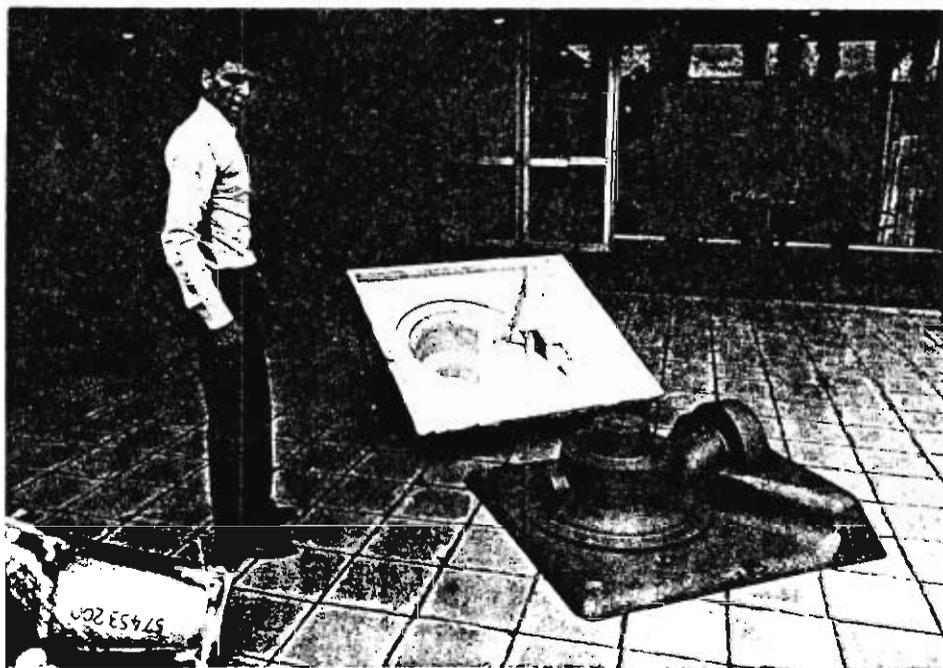
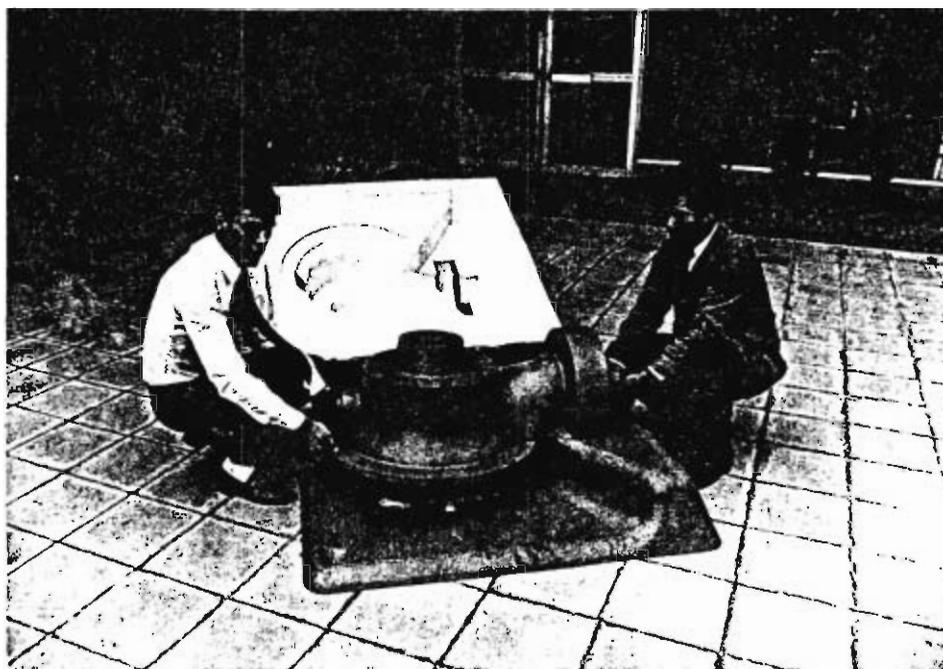


Figura 5.26 Modelo de resina epóxica con cama falsa y caja de corazón, para fundir carcaza de descarga de bomba rotodinámica horizontal (junto al modelo está el modelo negativo también de resina epóxica).

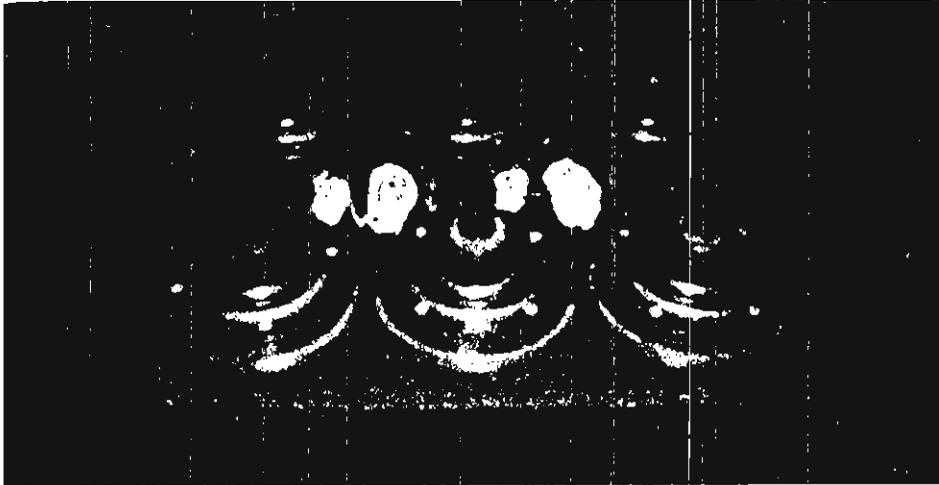


Figura 5.27 Placa-modelo con varias impresiones.

cuadrada o rectangular, con el propósito de hacer posible el moldeo cuando la pieza que se desea fundir tiene contrasalidas, moldear varias piezas en un solo molde cuando estas son pequeñas (figura 5.27), o permitir el moldeo mecánico.

Por lo general, tanto el modelo como la placa son de aluminio, y las dimensiones de la placa se dan de acuerdo con las dimensiones de las cajas de moldeo que van a utilizarse. Según la geometría de la pieza a fundir, la placa-modelo puede tener la impresión en un solo lado o en ambos lados, y en el caso de modelos con caja de corazón, además de la placa-modelo, se tiene la caja de corazón independientemente (figura 5.28).

Plantilla - modelo: Son plantillas para el moldeo de piezas de revolución muy grandes y de baja producción (unas cuantas piezas), en cuyo caso fabricar un modelo resultaría muy caro. La plantilla está provista de una chumacera que se ajusta a un eje vertical alrededor del cual se hace girar para repro-

ducir los perfiles exterior e interior de la pieza en la arena, véase figura 5.29.

5.2.2 Dimensionamiento

Las dimensiones de un modelo deben prever la contracción que ocurre durante la solidificación y enfriamiento de la pieza, para que las medidas finales de ésta sean las especificadas en su diseño; por tanto, para dimensionar al modelo, las dimensiones correspondientes de la pieza fundida se multiplican por un factor que depende del material a fundir:

- 1.01 para fundición normal
- 1.015 para fundiciones no ferrosas en general
- 1.02 para aceros fundidos y fundiciones grises aleadas

Las dimensiones resultantes para el modelo generalmente se redondean en escalones de 0.1 a 0.5 mm, según el tamaño del mismo.

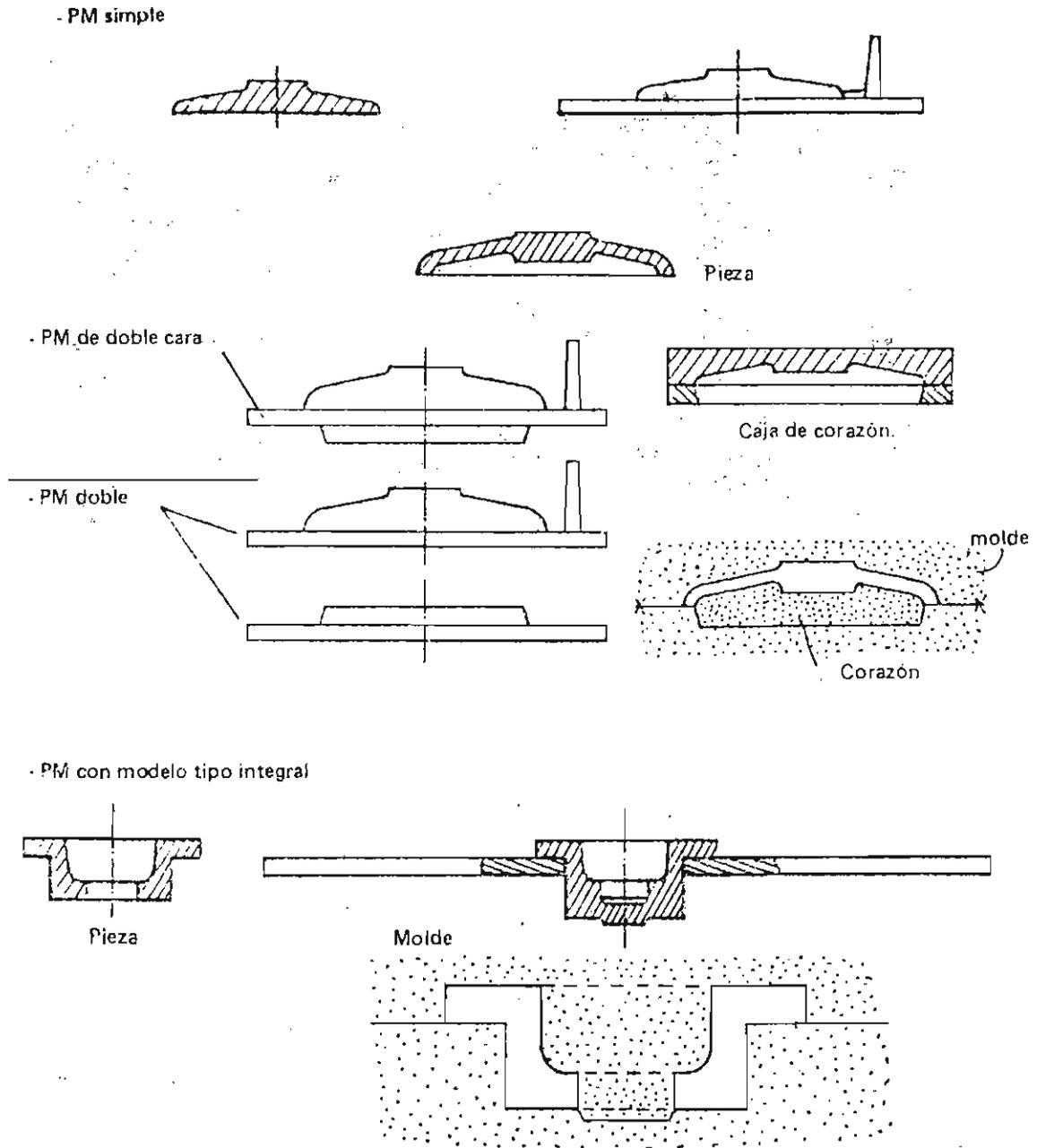


Figura 5.28 Ejemplos de placas-modelo.

Ejemplo 5.3

La figura 5.31 muestra el diseño preliminar de la

pieza fundida para el maquinado de la pieza de la figura 5.30, y las figuras 5.32 a 5.34 muestran las opciones de diseño para el modelo respectivo.

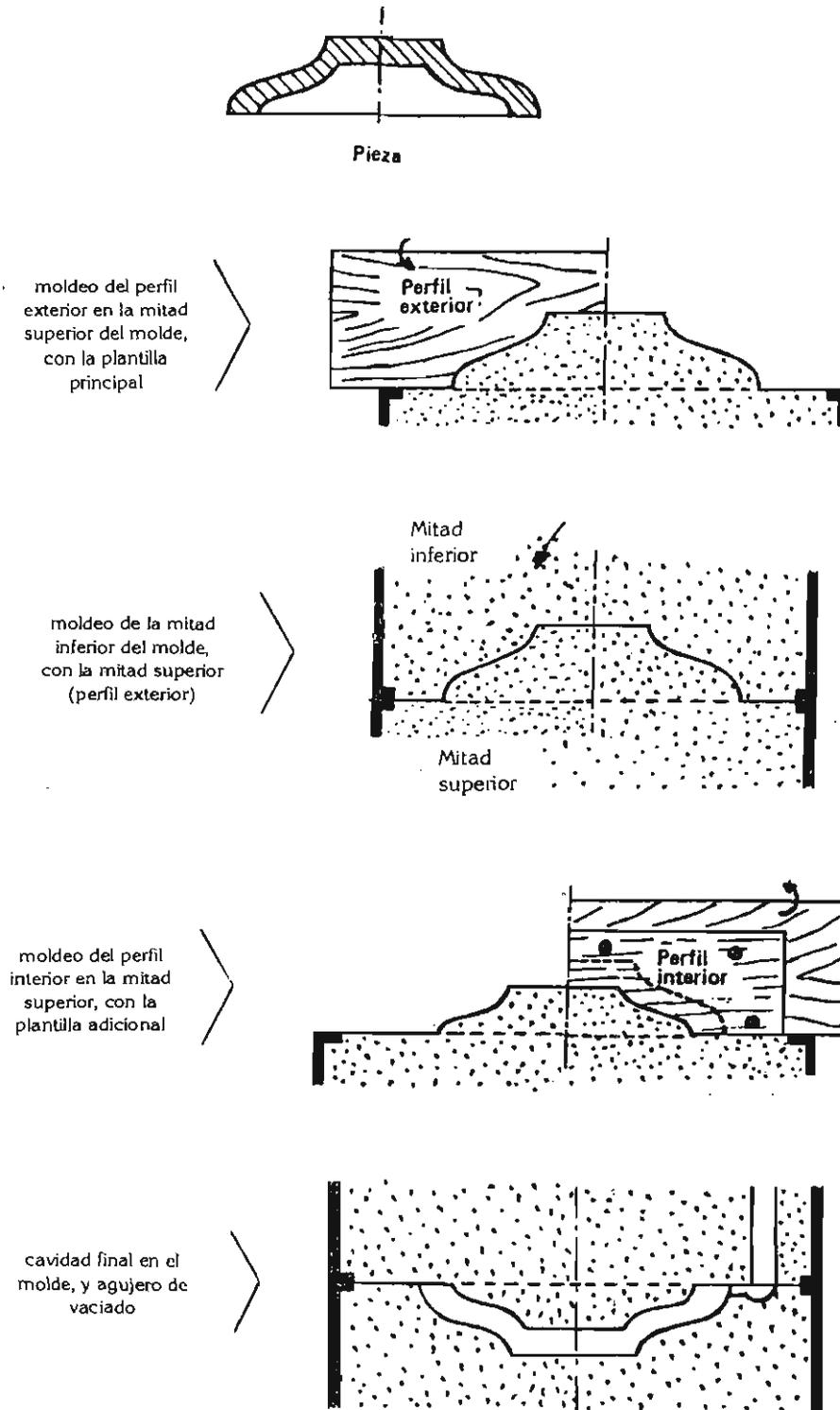


Figura 5.29 Plantilla-modelo y operaciones de moldeo.

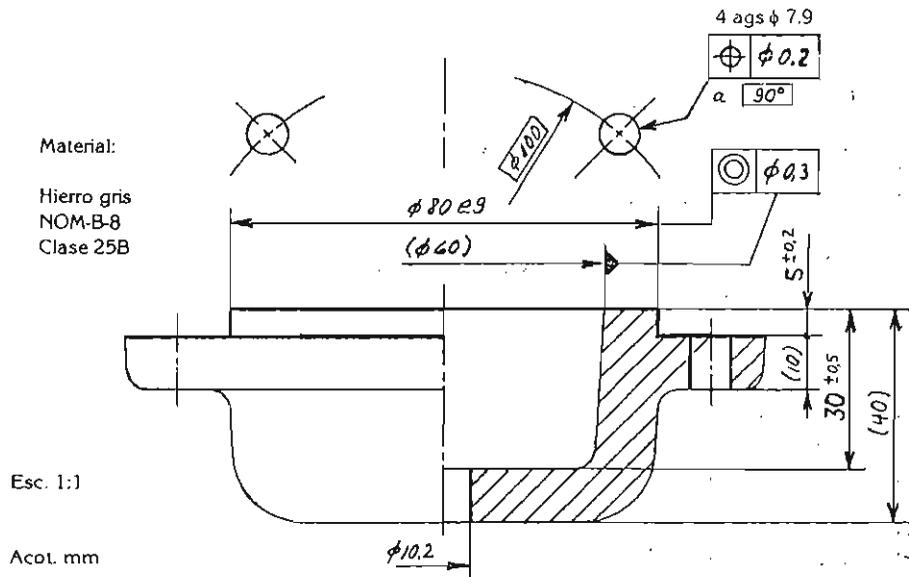


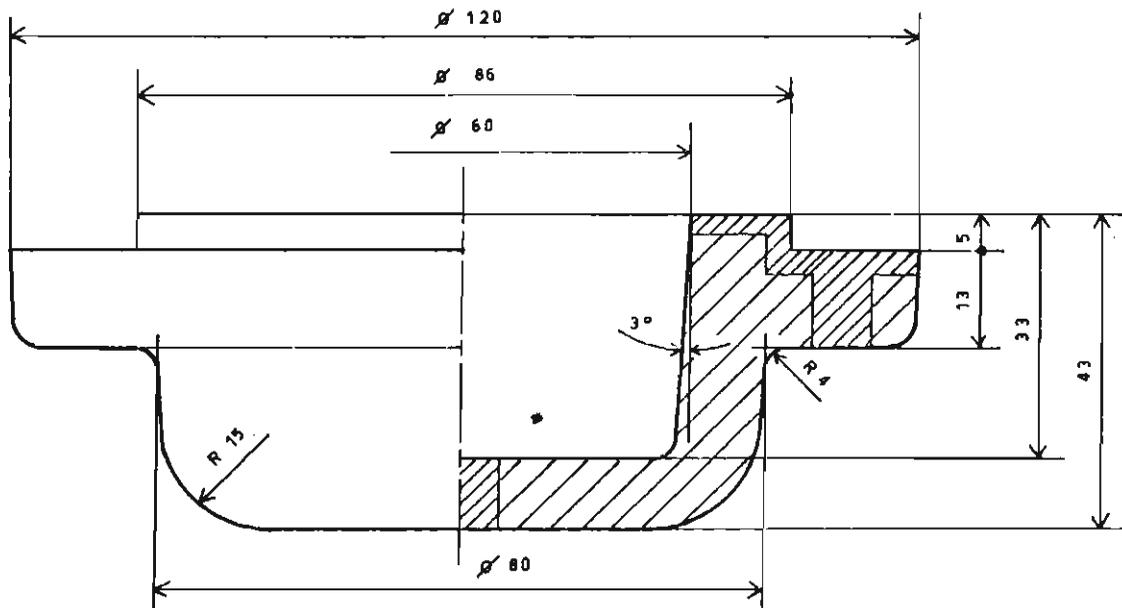
Figura 5.30 Dibujo de definición para una tapa fundida.

5.3a Diseño de la pieza fundida

De acuerdo con la tabla 5.1, los márgenes de ma-

quinado a considerar son de 2.5 y 3.0 mm, pero para facilidad de diseño, se darán 3 mm como margen general.

Figura 5.31 Diseño preliminar de pieza fundida.



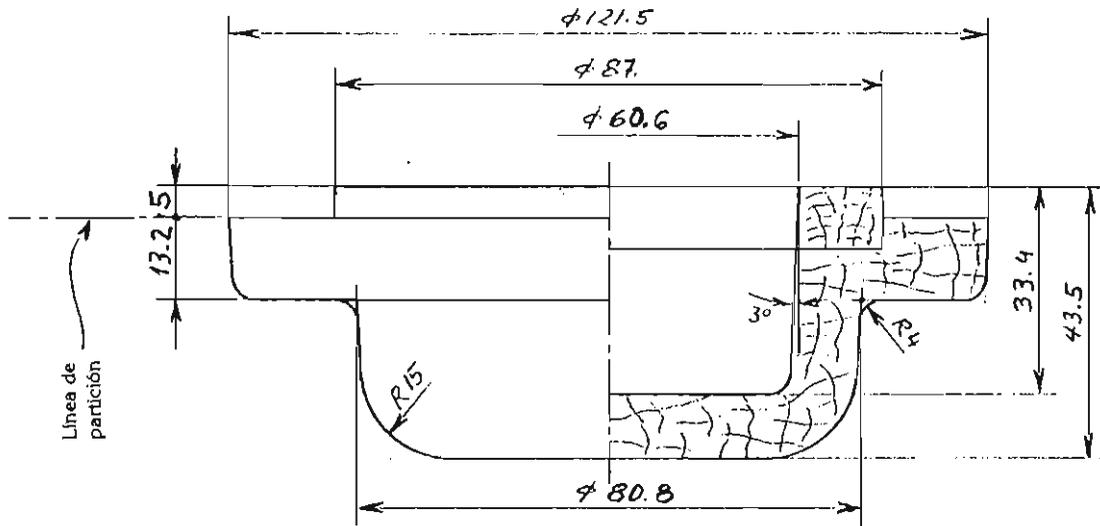


Figura 5.32 Modelo natural de dos partes.

Las cotas del dibujo de definición que deben sobredimensionarse son 30, 40, ϕ 80 y 10: 33, 43, ϕ 86 y 13.

Si se da margen para el taladrado de los agujeros ϕ 10.2 y ϕ 7.9, los diámetros de éstos en la pieza fundida serían: ϕ 4.2 y ϕ 1.9, pero esto no es práctico para el moldeo, pues los espesores de la pieza fundida son 10 y 13 mm, por lo que en el diseño de ésta no se prevé ningún agujero. La cota de 5 mm se mantiene constante.

El ángulo de salida dado es de 3° considerando la posición de la línea de partición en la cara ϕ 80 / ϕ 60.

Los radios de enlace son R4 para evitar adherencia de granos de arena quemados y R15 para mantener constante el espesor, véase figura 5.31.

5.3b Diseño del modelo

Cálculo de las dimensiones:

$120 \times 1.01 = 121.2$	$60 \times 1.01 = 60.6$	$33 \times 1.01 = 33.33$
$86 \times 1.01 = 86.86$	$5 \times 1.01 = 5.05$	$43 \times 1.01 = 43.43$
$80 \times 1.01 = 80.80$	$13 \times 1.01 = 13.13$	

Figura 5.33 Modelo natural con cama falsa.

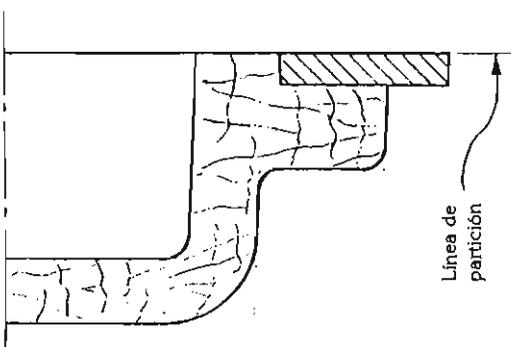
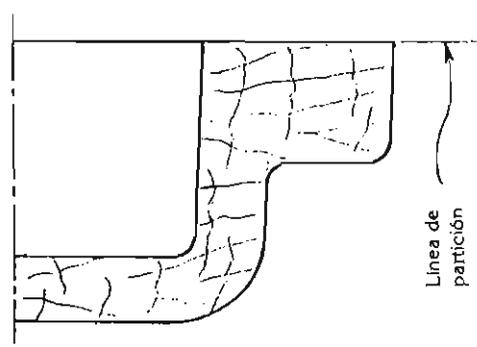


Figura 5.34 Modelo natural de una sola pieza.



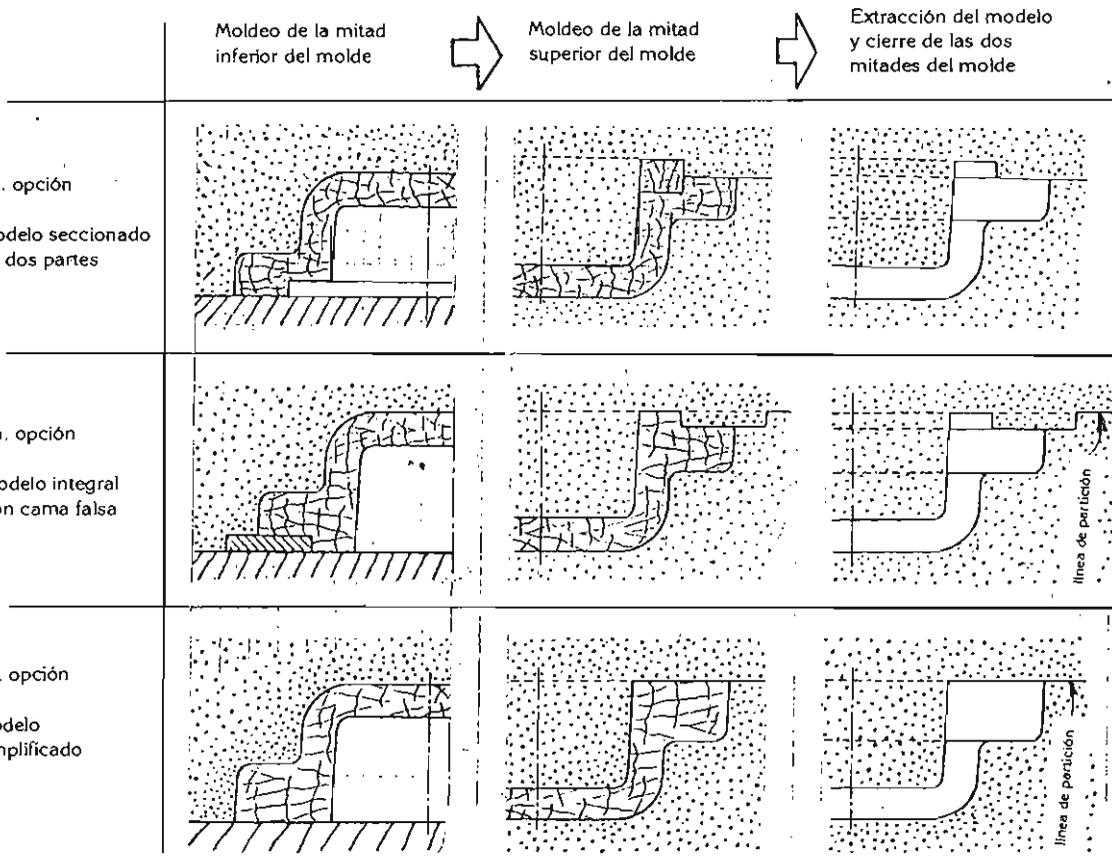


Figura 5.35 Opciones de moldeo.

Opciones de diseño:

- Si la línea de partición se sitúa en la superficie plana $\phi 120 / \phi 86$, el modelo debe seccionarse en dos partes, véase figura 5.32.
- Puede cambiarse la línea de partición a la superficie plana $\phi 86 / \phi 60$ para fabricar el modelo de una sola pieza, pero se requiere adicionalmente de una cama falsa, véase figura 5.33.
- Puede aumentarse el margen de maquinado de la superficie plana $\phi 120 / \phi 80$ para simplificar la fabricación del modelo, véase figura 5.34.

En la figura 5.35 se muestra la preparación del molde para cada una de las tres opciones anteriores.

Ejercicio 5.1

Considerando la tercera opción de diseño del modelo del ejemplo 5.3 anterior, haga el diseño de la pieza fundida resultante.

Ejercicio 5.2

- Diseñar la pieza fundida para el maquinado de la tapa de la figura 5.30 pero aumentando a 30 mm el diámetro del agujero central de 10.2 mm.
- Diseñar el modelo (totalmente maquinado de fundición de aluminio), pero montado en placa de aluminio, de 12.7 mm de espesor, consideran-

Puesto que la base de la sección anular del anillo-modelo debe ser de 60.69 mm, el diámetro interior debe calcularse entonces restando al diámetro exterior dos bases:

$$\phi 316.2 - 2 \times 60.69 = \phi 316.2 - 121.38 = \phi 194.82$$

Si el diámetro interior del anillo-modelo se determina directamente multiplicando el diámetro interior del anillo fundido por el factor correspondiente:

$$\phi 191 \times 1.02 = \phi 194.82 \text{ mm}$$

¡Se obtiene el mismo valor anterior!

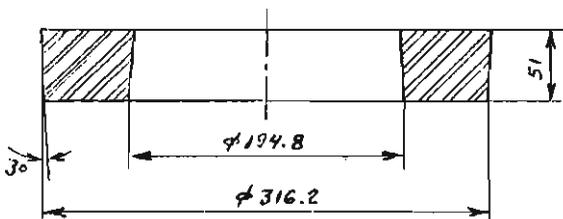
Se comprueba entonces lo dicho en 5.2.2: para determinar las dimensiones del modelo, deben multiplicarse las dimensiones (tanto externas como internas) de la pieza fundida, por el factor para compensación de la contracción correspondiente al material de la pieza. El autor ha podido constatar esto en la práctica.

Finalmente, las dimensiones para el anillo-modelo se muestran en la figura 5.39.

Ejemplo 5.5

En la figura 5.40 se tiene el dibujo de definición de una polea diseñada para fundirse, maquinarse y balancearse (estáticamente) en prácticas de las

Figura 5.39 Dimensiones para el anillo-modelo.



UEA's de Taller de Procesos de Manufactura I y II y de Laboratorio de Dinámica y Vibraciones del área mecánica.

La secuencia de diseño y fabricación se muestra en las siguientes figuras:

- Diseño de la polea fundida (figura 5.41)
- Diseño del modelo natural bipartido (figura 5.42)
- Diseño de aluminio, fundido y maquinado totalmente (figura 5.43)
- Molde de arena listo para el vaciado (figura 5.44)
- Polea fundida, aún con su colada (figura 5.45)
- Polea maquinada y balanceada (figura 5.46)

Ejemplo 5.6

A continuación se muestra gráficamente la secuencia de diseño en el proceso de fundición en molde de arena desechable:

Información como punto de partida: dibujos de ensamble y de definición (figuras 5.47 y 5.48).

1. Diseño de la pieza fundida (hierro gris), figura 5.49
2. Diseño del modelo con caja de corazón (figuras 5.50 y 5.51).

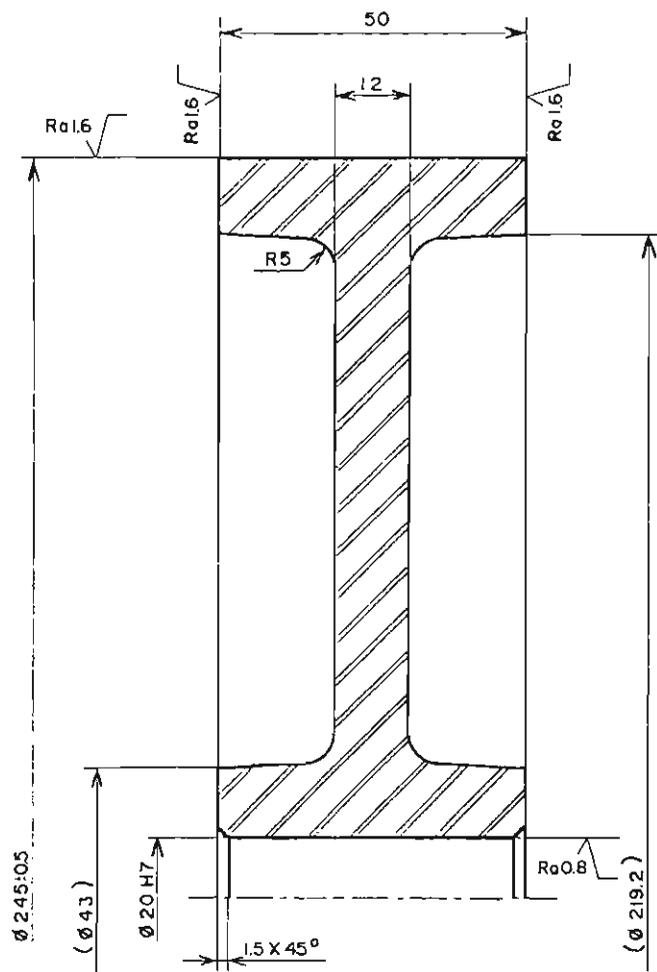
Se muestra también el molde de arena listo para el vaciado, figura 5.52.

Ejercicio 5.3

Diseñar la pieza fundida y el modelo maquinado de aluminio para las partes 7 y 8 de fundición gris NOM B-8 Clase 25B (figura 5.53) del husillo de máquina de la figura 5.47 anterior.

5.2.3 Selección del material para la fabricación del modelo

Para seleccionar el material del modelo, deben considerarse los tres criterios siguientes:

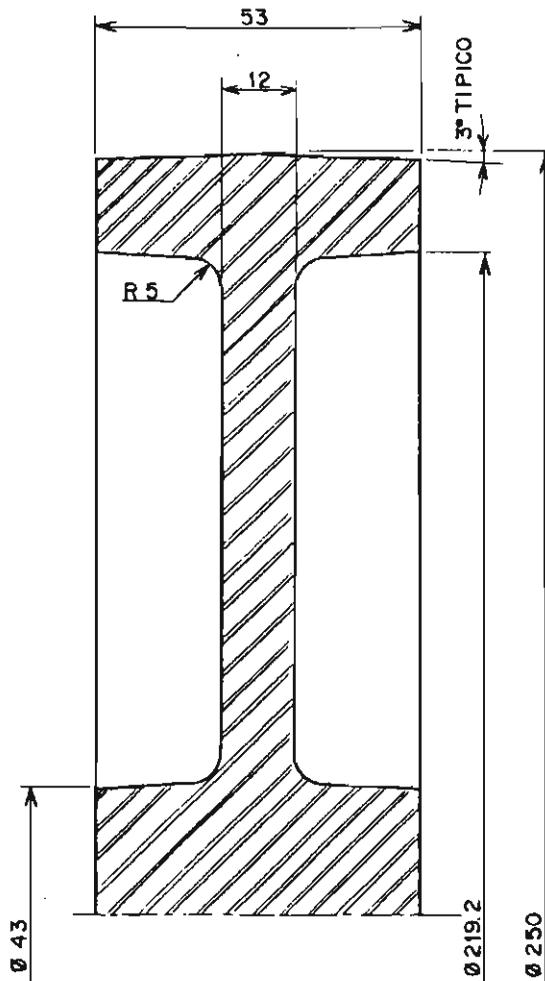


Tolerancias generales: JS 13, js 13

Material: Aluminio fundido

UAM-A.	UEA: TALLER DE PROCESOS DE MANUFACTURA II	Dibujó: Gustavo Hidalgo M.
ESCALA 1:1	UEA: LABORATORIO DE DINÁMICA Y VIBRACIONES	Diseño: Ing. Zeferino Damían
ACOTACIÓN: mm.	POLEA PLANA	Fecha: 09.12.91
		DIBUJO No.

Figura 5.40 Dibujo de definición de la polea.



Material : Aluminio fundido

UAM- A	UEA: TEORIA Y TALLER DE PROCESOS DE MANUF. I	DIBUJO: RUBEN GARCIA O.
ESCALA: 1:1	POLEA PLANA (DIBUJO DE FUNDICIÓN)	DISEÑO: ING. ZEFERINO D. N.
ACOTACIÓN: mm.		FECHA: 29-05-92
		DIBUJO No.

Figura 5.41 Diseño de la polea fundida.

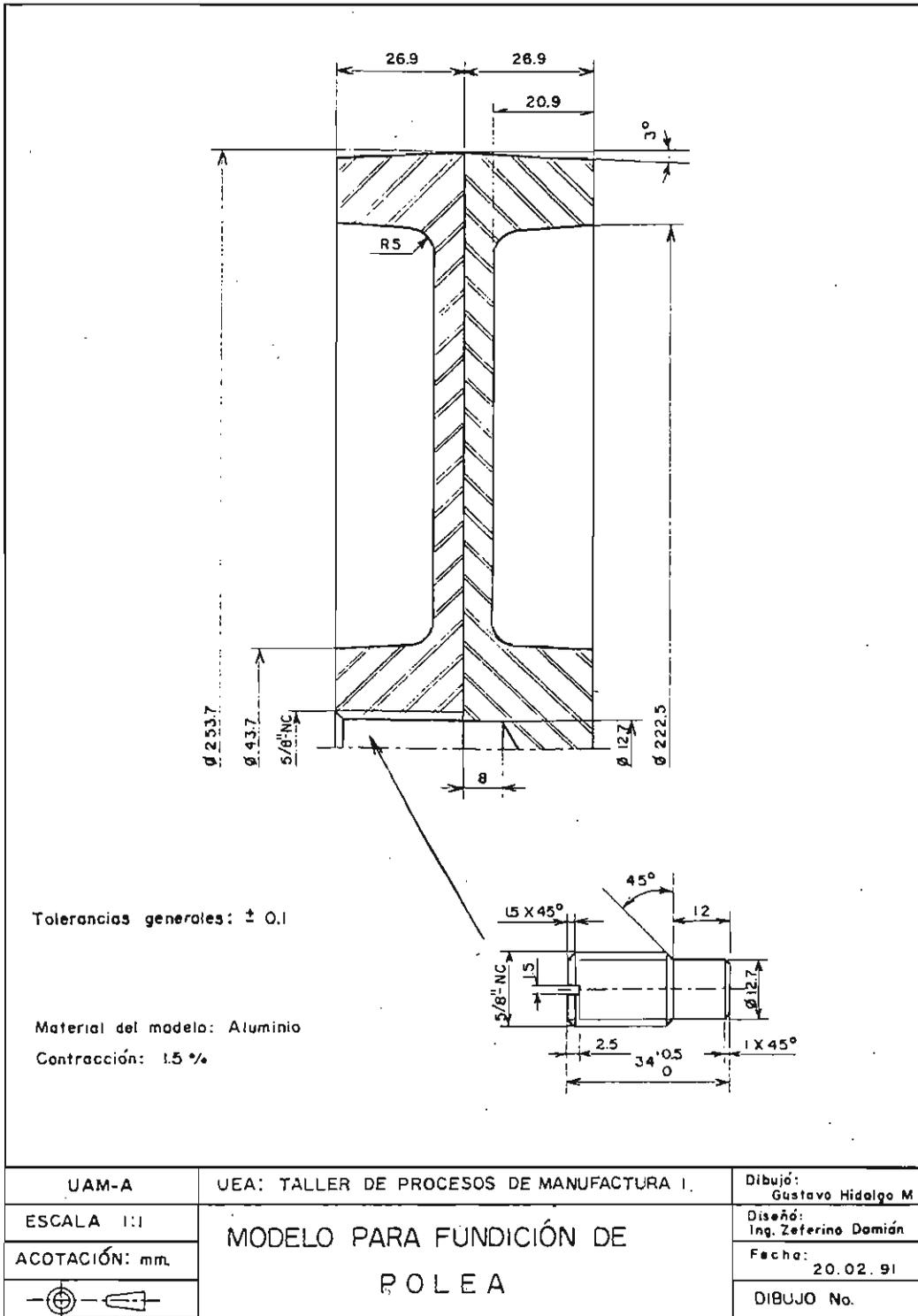


Figura 5.42 Diseño del modelo natural bipartido.

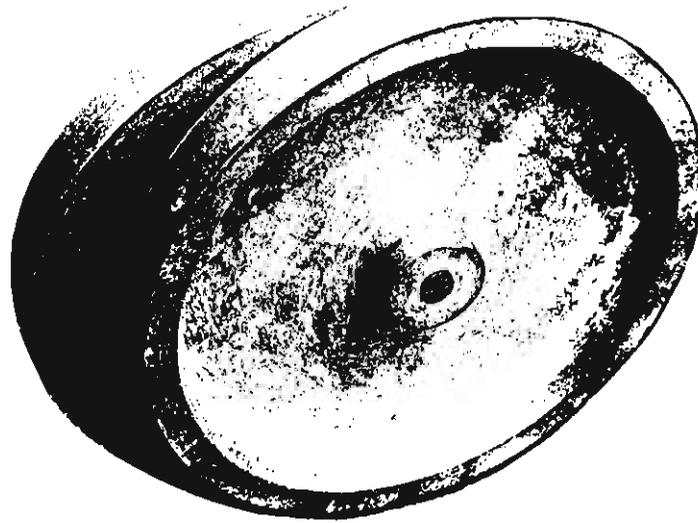


Figura 5.43 Modelo natural bipartido de polea.



Figura 5.44 Molde de arena.

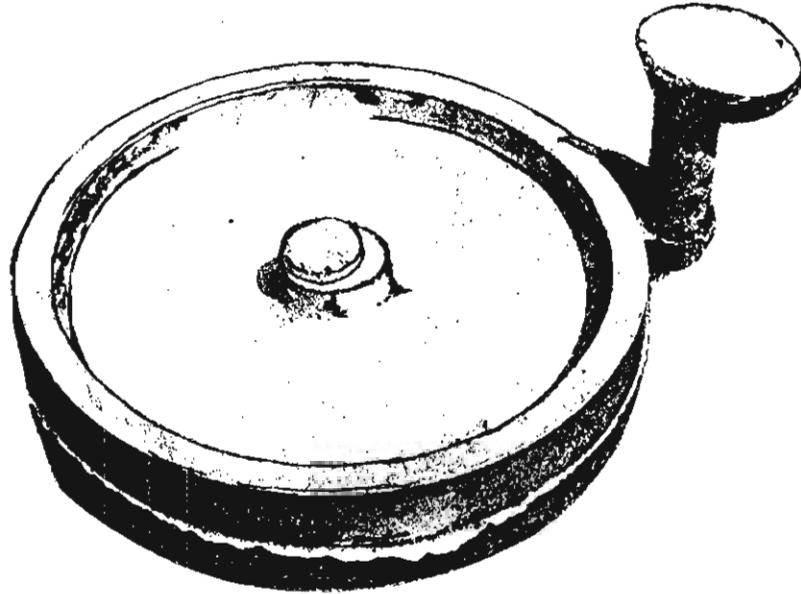
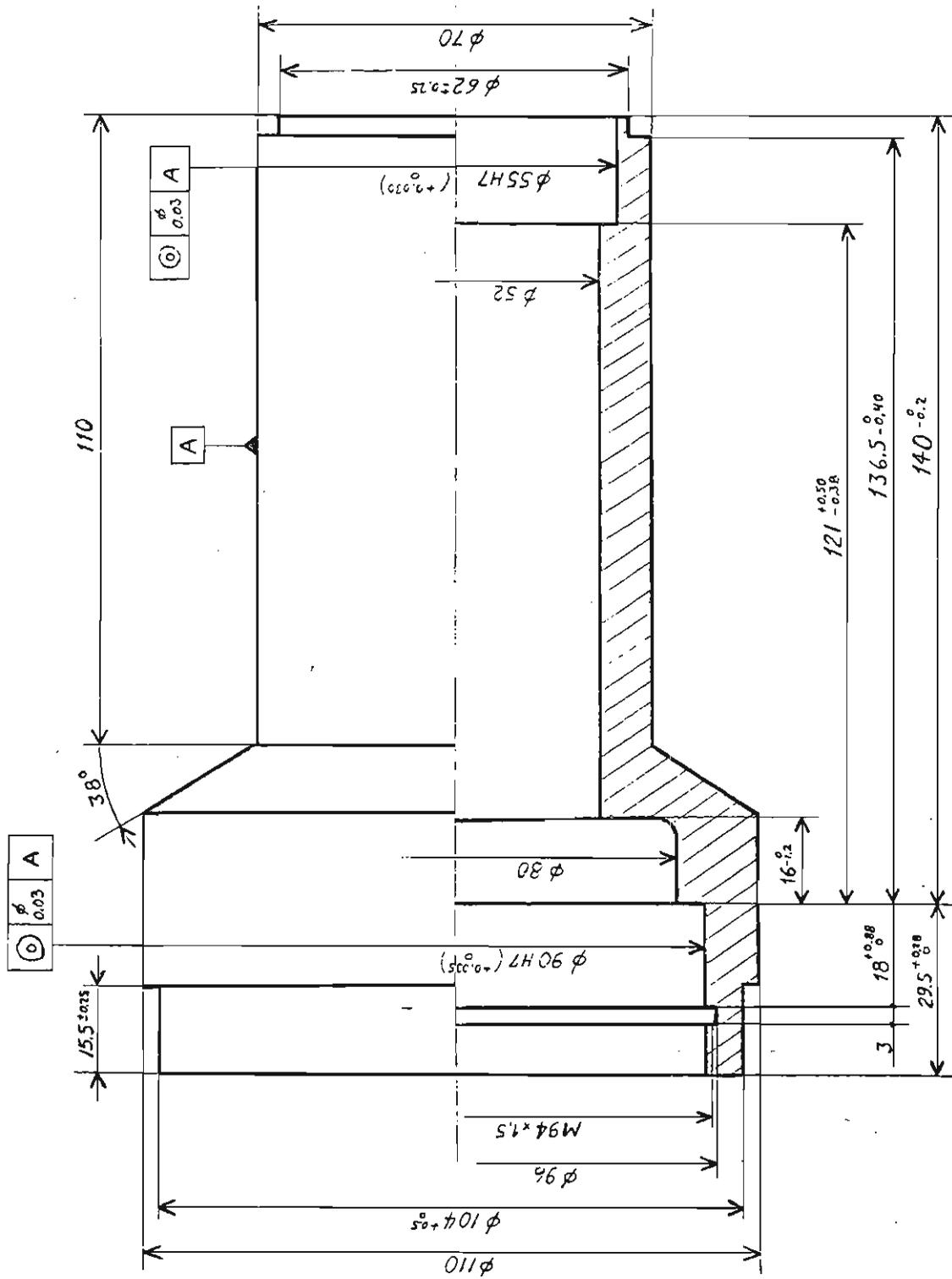


Figura 5.45 Pieza fundida.



Figura 5.46 Polea maquinada y balanceada.



Tolerancias generales : JS13 , js13

Figura 5.48 Dibujo de definición de la parte 2 del husillo.

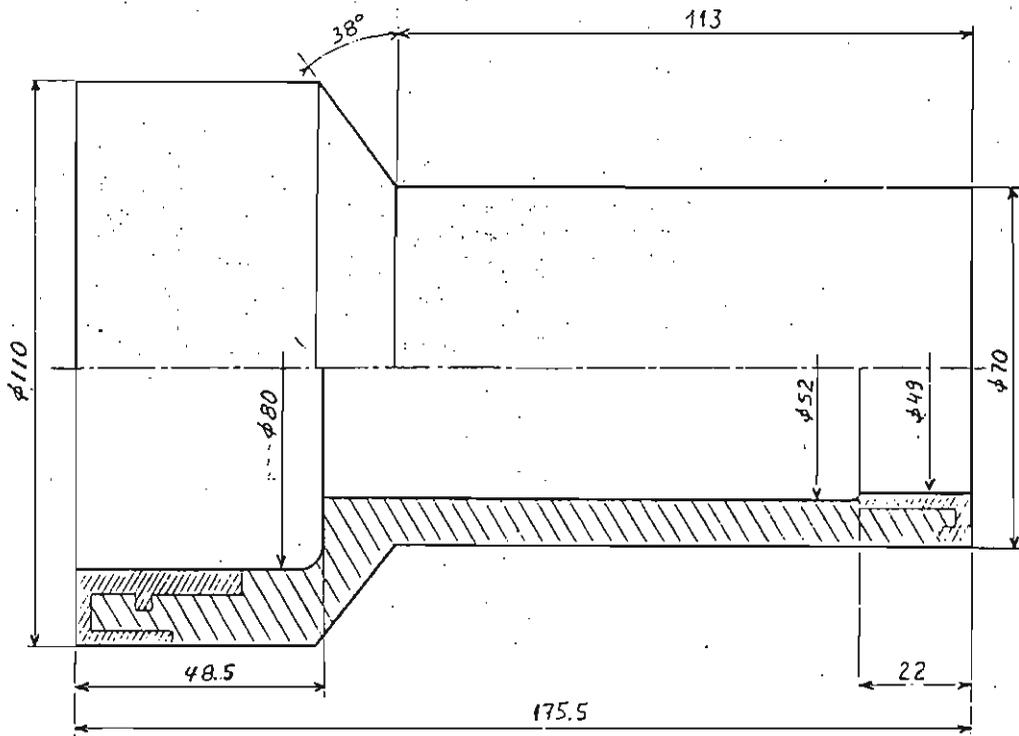


Figura 5.49 Diseño de la pieza fundida.

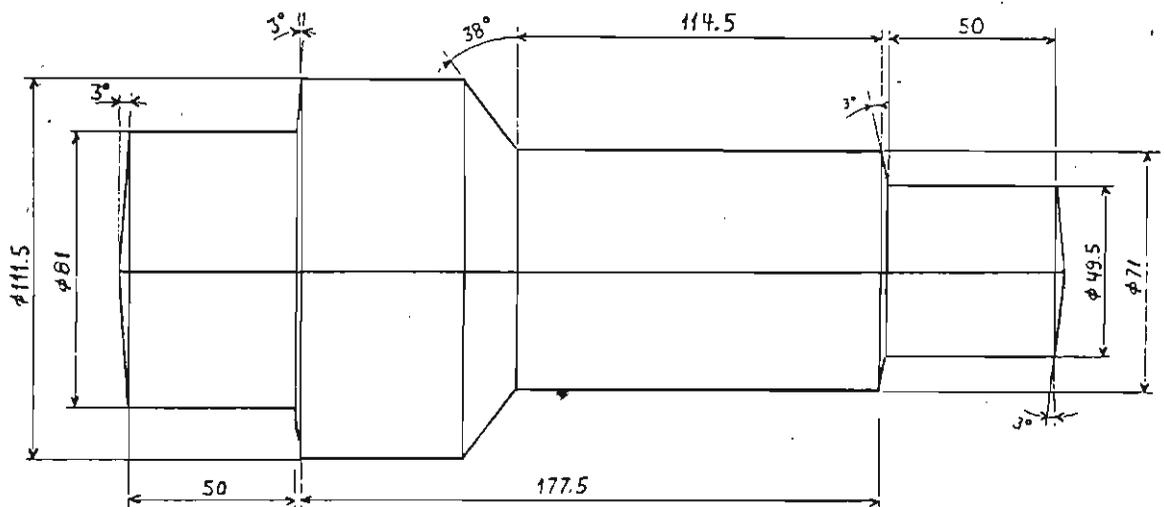


Figura 5.50 Diseño del modelo bipartido con caja de corazón.

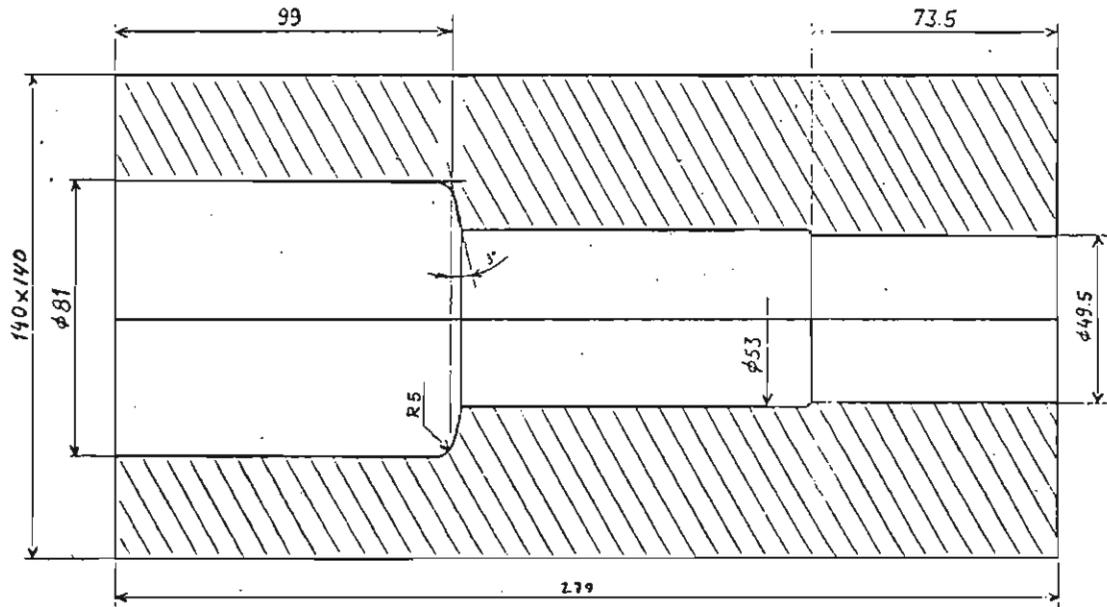


Figura 5.51 Diseño de la caja de corazón bipartida.

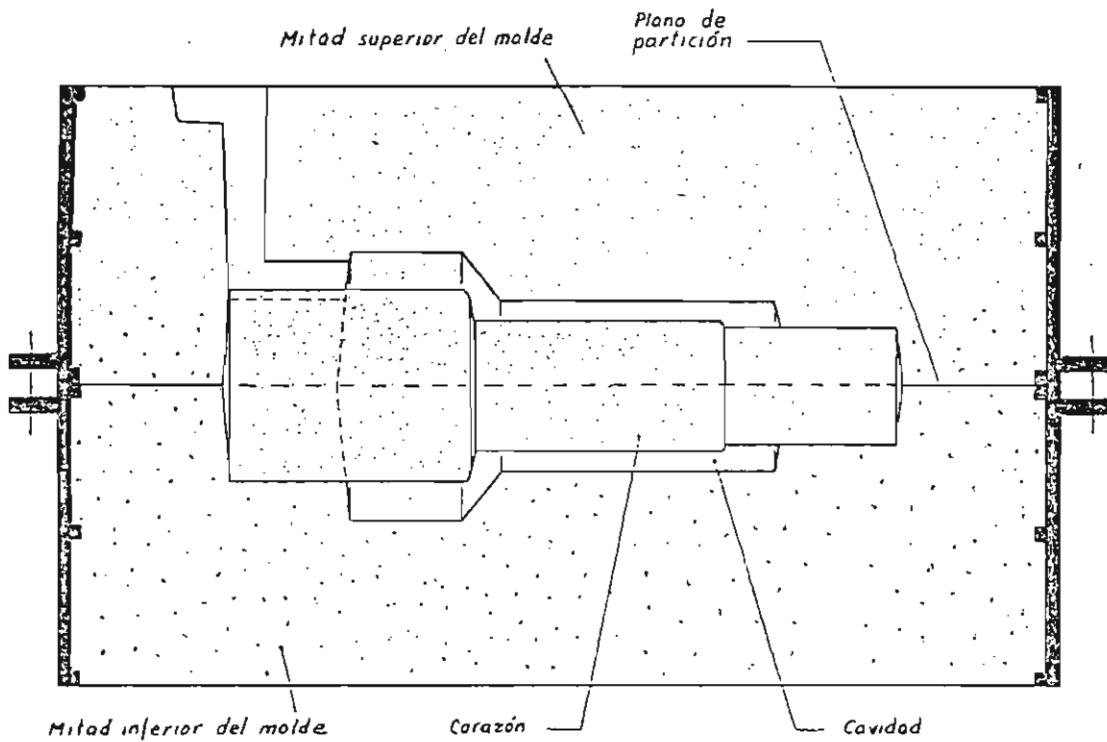


Figura 5.52 Molde listo para el vaciado.

Cuando por la geometría y dimensiones de la pieza no es posible fabricar el modelo a partir de metal laminado de dimensiones comerciales, es necesario fabricar un modelo previo de madera, considerando para éste la contracción del metal del modelo definitivo así como los márgenes para su maquinado (véase ejercicio 5.3 anterior).

La resina epóxica permite reproducir geometrías complicadas, es ligera y es resistente a la abrasión de la arena. Los modelos de resina epóxica para piezas grandes pueden reforzarse con perfiles tubulares metálicos para su transporte y desmoldeo; no requieren de maquinados y su secuencia de fabricación es la siguiente:

- Fabricar un modelo previo de madera
- Cubrir el modelo con resina epóxica y fibra de vidrio, formando así una concha comúnmente conocida como negativo del modelo
- Con el negativo, moldear con resina epóxica y fibra de vidrio, el modelo definitivo

Como un ejemplo de modelos de resina epóxica, véase la figura 5.26.

Ejercicio 5.4

1. Diseñar el modelo para fundir la pieza de acero de la figura 5.15 anterior.
2. Si se desea que el modelo anterior sea de aluminio fundido y completamente maquinado, diseñar el modelo previo de madera.

5.2.4 Identificación del modelo

Para que el moldeador del taller de fundición visualice fácilmente a partir de la geometría del modelo, la geometría resultante para la pieza fundida, es recomendable que los modelos sean pintados con diferentes colores, de acuerdo con la normatividad internacional, para identificar:

- las superficies que van a maquinarse,
- las superficies que no requieren de maquinado,
- los apoyos para corazones,
- las zonas que requieren de plaquitas de enfriamiento,
- las zonas donde deben colocarse alimentadores,
- las zonas de asiento para partes desmontables.

Los colores utilizados dependen del metal con que se va a fundir la pieza. Para esto puede consultarse la norma alemana DIN 1511.

5.3 PREPARACIÓN DEL MOLDE

Según la cantidad de piezas a fundir, la preparación del molde puede ser manual, si la cantidad de piezas es pequeña, mecánica si la serie es mediana, o automática si la serie es grande.

5.3.1 Moldeo manual

El moldeo manual es el proceso más común en las fundiciones y su ejecución requiere de la habilidad y experiencia del moldeador; excepto el apisonado que puede ser automático, las demás operaciones de moldeo son totalmente manuales.

Según el tamaño del molde, el moldeo puede hacerse: en banco, para moldes pequeños, en mesa, para moldes medianos, o en fosa, si el molde es grande.

A. Métodos de moldeo manual

Moldeado en verde

El molde se prepara con arena, aglomerante y agua, y el metal fundido se vacía antes de que la arena del molde pierda su humedad.

Las ventajas de este tipo de molde son: es un procedimiento simple y rápido, los problemas de contracción son mínimos, el tiempo de solidifica-

ción y enfriamiento es corto, la precisión de la pieza es buena, y es adecuado para colada continua.

Las desventajas son: el molde tiene baja resistencia mecánica y nula resistencia a la erosión y a la abrasión, las piezas resultan superficialmente templadas, su preparación requiere de mano de obra calificada.

Moldeado en verde con secado superficial

El método consiste en preparar un molde de arena verde y secarlo superficialmente para: poder vaciar piezas más pesadas, dar mayor firmeza a los apoyos de los corazones y evitar así su caída debido a su propio peso, evitar el templado de piezas de fundición gris con poco contenido de Silicio, mejorar el acabado superficial.

Se recomienda vaciar lo más pronto posible después del secado superficial, pues la humedad restante se desplaza a las superficies secadas por efecto de capilaridad.

Moldeado en verde y secado completo

El molde preparado por este método no tiene los inconvenientes del molde en verde, y con frecuencia se utiliza cuando se tiene un modelo-plantilla.

Las ventajas de este molde son: genera menos gases al momento del vaciado, tiene mejor resistencia mecánica, evita el templado superficial de la pieza, y le da un buen acabado superficial a la pieza.

Las desventajas del molde son: su preparación es lenta y su costo de fabricación es alto, la precisión de las piezas es menor debido a la deformación por el secado, dificulta la contracción por solidificación y enfriamiento de la pieza.

Moldeado con arena y cemento

El cemento se emplea como aglutinante con una cantidad de agua inferior a la utilizada para el concreto, y la preparación de la mezcla se efectúa en la siguiente proporción: 90 a 92 % de arena extrasilica, 6 a 8 % de cemento, 8 a 10 % de agua.

Se recomienda almacenar la arena en recipientes de lámina y prepararla según se vaya necesitando (3 horas antes de moldear).

Las ventajas de este molde son: la arena tiene buena cohesión y permeabilidad debido a la subhidratación de la mezcla, es adecuado para el vaciado de piezas grandes en fosa, es también adecuado para el moldeo con modelo-plantilla.

Las desventajas del molde son: tiene baja refractabilidad debido al porcentaje de calhidra (60 %) en el cemento, las piezas resultan con impurezas en sus caras superiores, es poco resistente a la erosión, dificulta la contracción durante la solidificación y enfriamiento de la pieza, no es adecuado para el vaciado de piezas pequeñas ni para el moldeo mecánico.

Moldeado en cáscara (shell moulding)

Sobre una placa-modelo calentada a 180 °C se proyecta una mezcla de arena y resina, ésta se funde y aglomera los granos de arena entre sí, formándose una concha dura de arena y resina polimerizada cuyo espesor es función del tiempo y de la temperatura, se separa el excedente de arena y se termina el homeado de la concha a 450 °C (véase figura 5.54).

La arena sílica utilizada debe ser fina y exenta de arcilla, y como aglutinante se utiliza una resina termo-endurecedora líquida del tipo fenol-formol que contiene un endurecedor de hexametileno-tetramina, y un agente de desmoldeo.

Con este tipo de molde es posible obtener piezas con un excepcional acabado superficial, con formas geométricas complicadas y con alta precisión dimensional, pues la concha no se deforma después de su horneado, su preparación es rápida y es posible moldearse mecánicamente.

Las piezas vaciadas pueden ser de fundición gris, bronce, aluminio y aleaciones ligeras.

Mediante este procedimiento se obtienen también corazones y partes de molde.

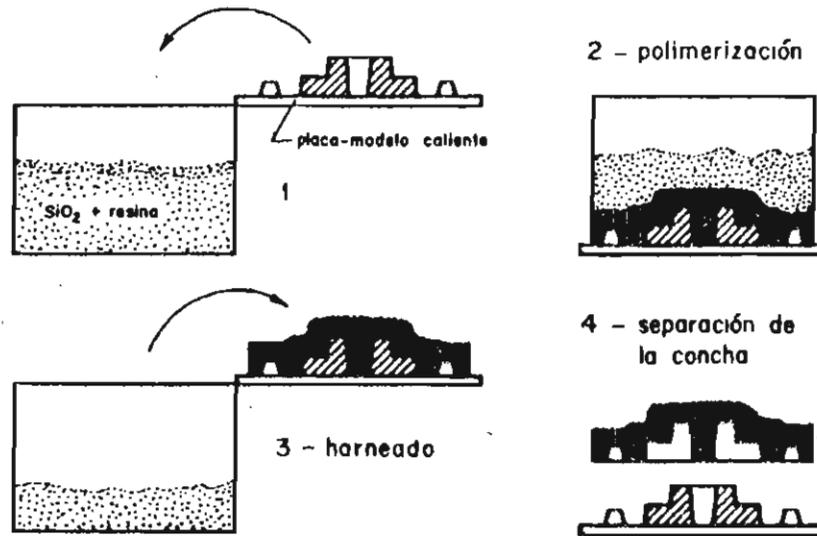


Figura 5.54 Método de moldeo en concha (shell moulding).

Moldeo a la cera perdida (investment casting)

Este método de moldeo consiste en fabricar un modelo de madera de la pieza, y con este maquinar (por copiado) un molde metálico, inyectar cera a presión al interior del molde, abrir el molde y extraer la pieza de cera.

Se montan varias piezas formando un racimo y unidas entre sí por un dispositivo de alimentación también de cera.

El racimo se recubre con una mezcla de material cerámico, aglutinante y agua, se hornea a $1,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ para endurecer el recubrimiento y fundir la cera, que escurre de la concha y posteriormente se regenera para volverse a utilizar.

El vaciado del metal se hace por gravedad, por presión de un gas comprimido que actúa sobre la superficie del metal líquido, o por centrifugación.

Después de la solidificación del metal, la concha se rompe para recuperar la pieza, véase figura 5.55.

Con este tipo de molde se obtienen piezas con formas geométricas complicadas, de poco peso (de 10 g a 2 kg) y de alta precisión (tolerancias de 0.10 mm), con reducidos márgenes de maquinado.

B. Cajas de moldeo

Su forma perimetral puede ser rectangular, cuadrada o redonda, y sus dimensiones interiores (largo, ancho, lado, diámetro) y altura están normalizadas.

Un molde generalmente consta de dos mitades, utilizándose para su preparación un juego de dos cajas de moldeo, y para que éstas coincidan, la inferior tiene por un lado una oreja con un agujero circular y del lado opuesto una oreja con un agujero ovalado, mientras que la superior tiene en cada lado un perno cónico, véanse figuras 5.44 y 5.56.

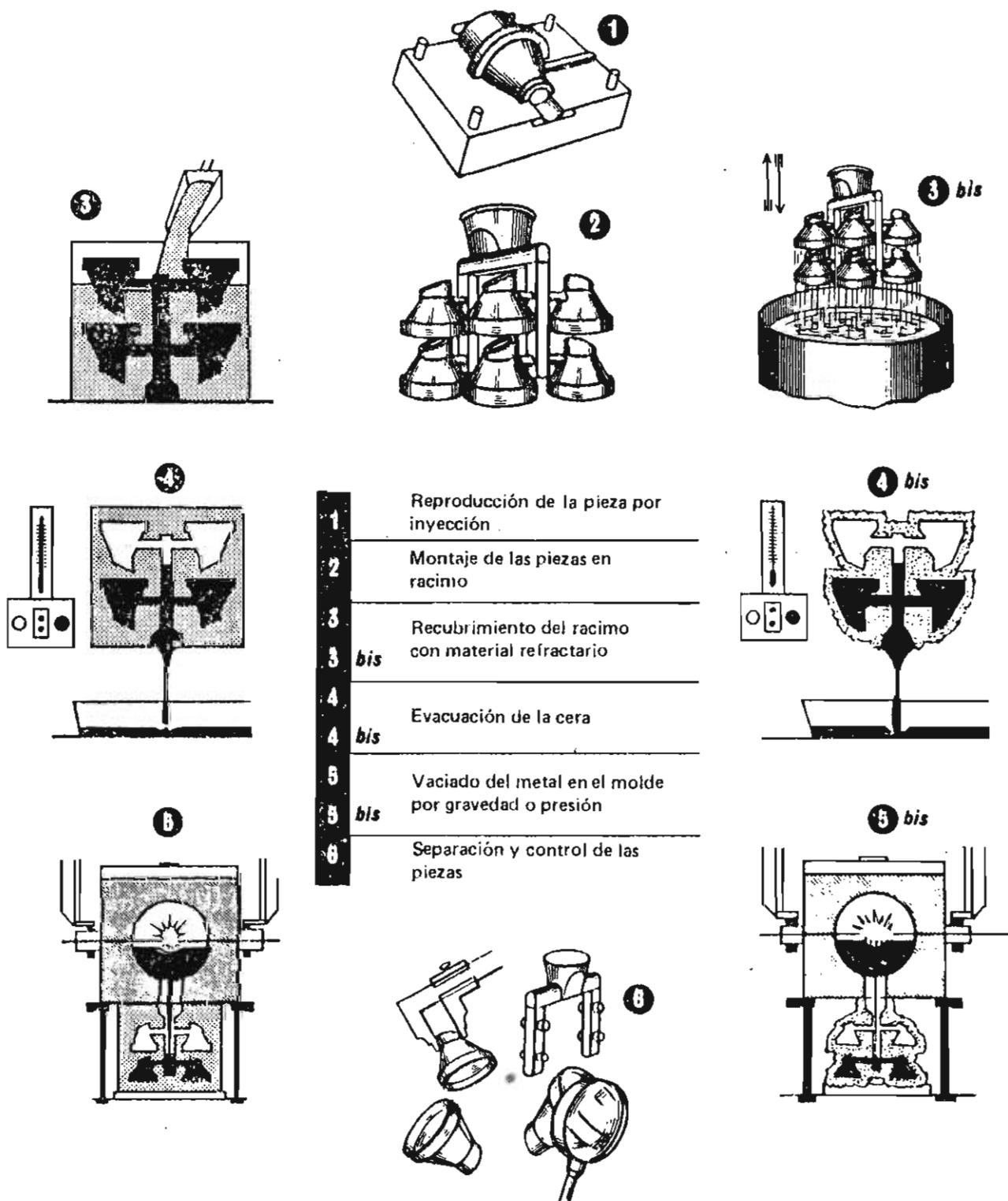


Figura 5.55 Moldeado a la cera perdida.

C. Arena de moldeo

La arena de moldeo está constituida por granos duros de sílice cristalizados, un aglomerante mineral arcilloso (kaolinita, halloysita, bentonita) y agua. La arena de moldeo debe tener las siguientes propiedades:

Refractabilidad: capacidad para resistir una temperatura mayor que la de fusión del metal vaciado:

- 1,260 °C para materiales no ferrosos
- 1,300 °C a 1,450 °C para fundiciones grises
- 1,460 °C a 1,650 °C para aceros

Plasticidad: aptitud para moldearse a las formas geométricas del moldeo o caja de corazón.

Cohesión: capacidad de conservar las formas geométricas antes y después del vaciado.

Permeabilidad: capacidad para dejarse atravesar por los gases que se desprenden al momento del vaciado del metal fundido al molde (cuando el agua se transforma en vapor, su volumen aumenta 1,600 veces).

Compresibilidad: es decir, permitir la contracción de la pieza durante su solidificación y enfriamiento.

Colapsibilidad: facilidad para desmoronarse durante el desmoldeo de la pieza.

La refractabilidad y permeabilidad de la arena dependen del tamaño del grano. Excepto la refractabilidad, las demás propiedades dependen de los porcentajes de humedad y aglomerante contenidos en la arena.

Los contenidos de humedad y de aglomerante, el tamaño del grano, la permeabilidad, la cohesión (resistencia en verde a la compresión, a la tensión y al cizallado) y la plasticidad (aptitud a la fluidez), se determinan mediante ensayos de laboratorio (control de arenas).

D. Corazones

Los corazones son formas geométricas sólidas de arena especialmente preparada para corazones, moldeadas por separado en cajas de corazón (figura 5.57) y que se insertan en el molde apoyándolos en asientos moldeados con el modelo (figura 5.56)

Figura 5.56 Cajas para moldeo manual.

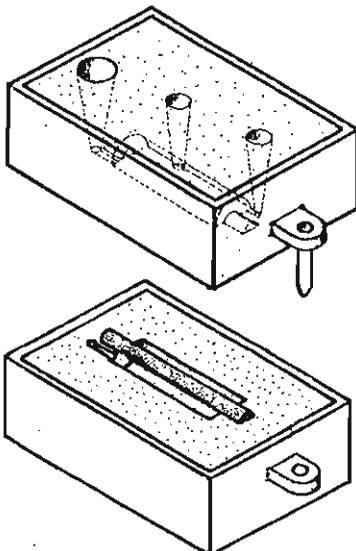
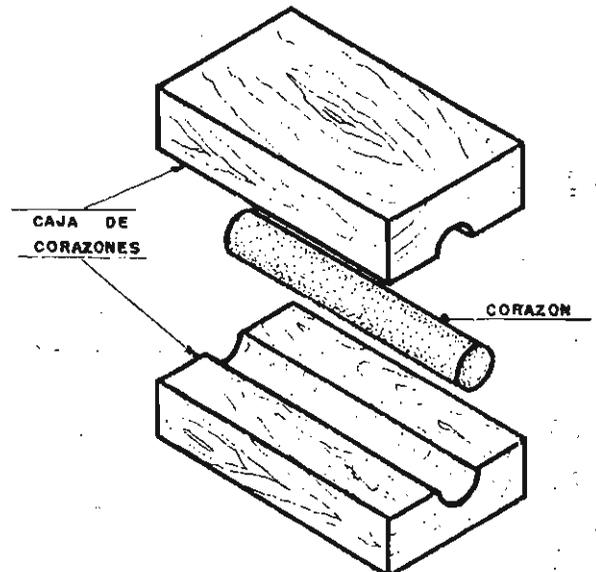


Figura 5.57 Caja de corazón y corazón.



cavidades internas de la pieza fundida o para eliminar contrasalidas en el exterior de la misma.

Según la geometría de la pieza a fundir, el posicionado del corazón en el molde puede ser cualquiera de los que se muestran en la figura 5.58.

En el caso de corazones cilíndricos posicionados según figuras 5.58c y 5.58d, si la relación largo/diámetro es menor o igual a 1, el corazón puede moldearse con la misma arena del molde.

Según la geometría de los corazones y la cantidad de los mismos, su preparación puede hacerse mediante los métodos siguientes:

- Moldeo en caja, extracción de la caja y endurecido con calor.
- Moldeo en caja, endurecido con CO₂ y extracción.

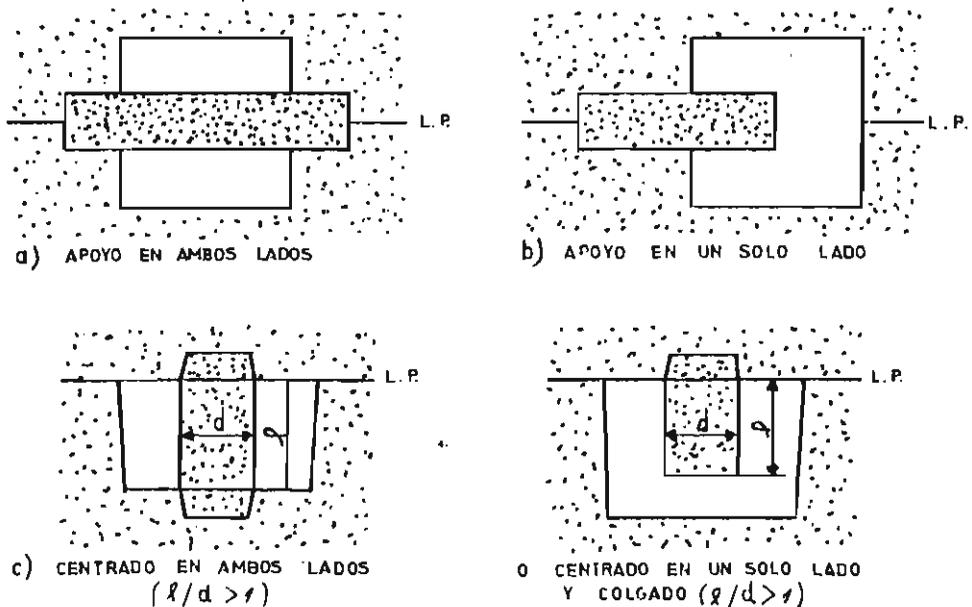
- Inyección (a presión) de la arena a la caja, endurecido por autofraguado y extracción.

E. Colada y alimentadores

La colada es un agujero localizado en la mitad superior del molde por donde se vierte el metal fundido, a la entrada tiene un ensanchamiento para facilitar el vaciado; el metal fundido no debe caer directamente a la cavidad del molde sino lateralmente y luego entrar a la cavidad, figura 5.59.

El alimentador o mazarota es también un agujero que se hace en la mitad superior del molde y tiene dos propósitos: asegurar que el molde se ha llenado completamente, y alimentar de metal líquido a la pieza durante su solidificación, si ésta es de acero o de fundición gris aleada, véase también figura 5.60.

Figura 5.58 Posiciones diversas para un corazón.



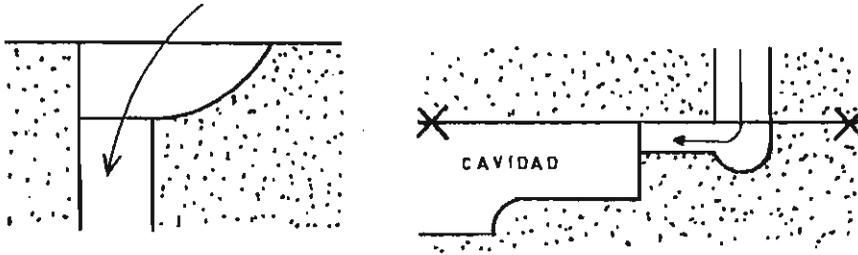


Figura 5.59 Agujero de vaciado y entrada a la cavidad.

La cantidad y dimensiones de los alimentadores deben calcularse para asegurar la calidad de la pieza.

5.3.2 Moldeo mecánico

El modelo mecánico disminuye el trabajo y la fatiga del moldeador y reduce los tiempos y costos de fabricación; es posible entonces moldear y vaciar lotes grandes de piezas hasta de unos 60 kg.

El modelo y la caja de moldeo se colocan sobre la mesa de trabajo de la máquina de modelo mecánico y éste puede realizarse:

- Por vibración de la mesa de trabajo, después de llenada la caja con arena.

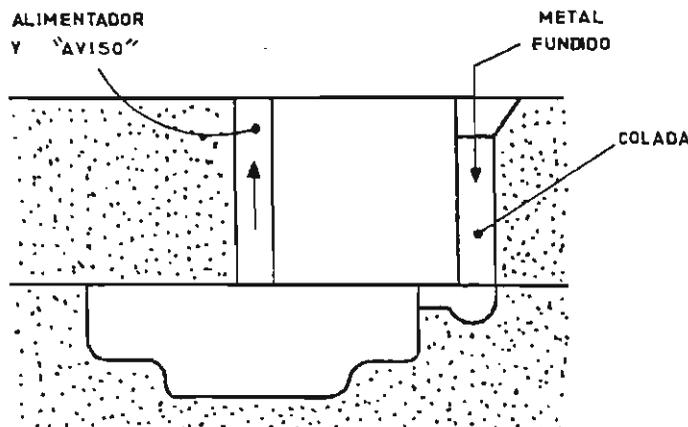
- Por prensado con una placa, de la arena que se vierte a la caja.
- Por presión con diafragma de hule, de la arena que se vierte a la caja.
- Por impulsión de la arena sobre el modelo y caja de moldeo.

Terminada la operación de moldeo, se coloca el molde en el piso y se retira la caja de moldeo, abriéndose ésta por una esquina.

5.3.3 Moldeo automático

El moldeo automático utiliza circuitos neumáticos para sincronizar las diversas operaciones del ciclo de moldeo: inyección de la arena de moldeo auto-

Figura 5.60 Colada y alimentador.



fraguante a la caja de moldeo formada por dos placas laterales (delantera y trasera), compresión de la arena, desmoldeo de la placa delantera y avance de la fila, desmoldeo de la placa trasera y cierre de la caja, véase figura 5.61.

5.4 FUSIÓN Y VACIADO DEL METAL

Según el metal, la fusión de éste se hace en:

- Homo de cubilote (hierro gris común).
- Hornos eléctricos (aceros al carbón y aleados,

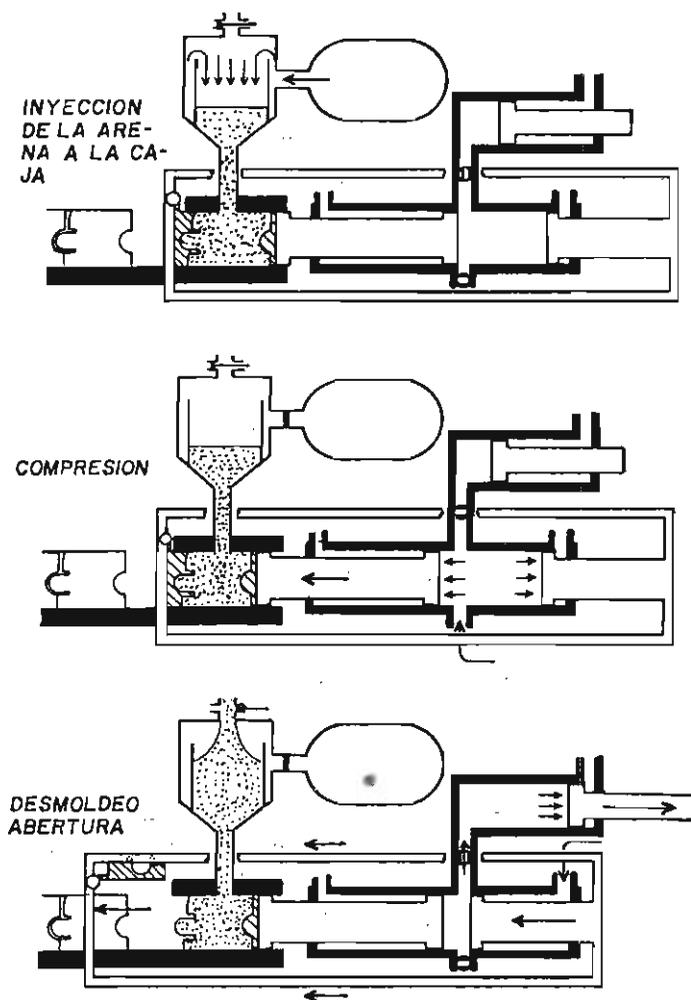
aleaciones grises).

- Crisoles calentados con diesel gasificado para aleaciones no ferrosas.

Debe tenerse control de las temperaturas de fusión y de vaciado del metal: para el hierro gris, dichas temperaturas deben ser de 1,450 °C y de 1,350 °C respectivamente.

Antes del vaciado al molde, se determina la fluidez del metal fundido llenando un molde de una probeta en espiral.

Figura 5.61 Moldeo automático (operaciones iniciales).



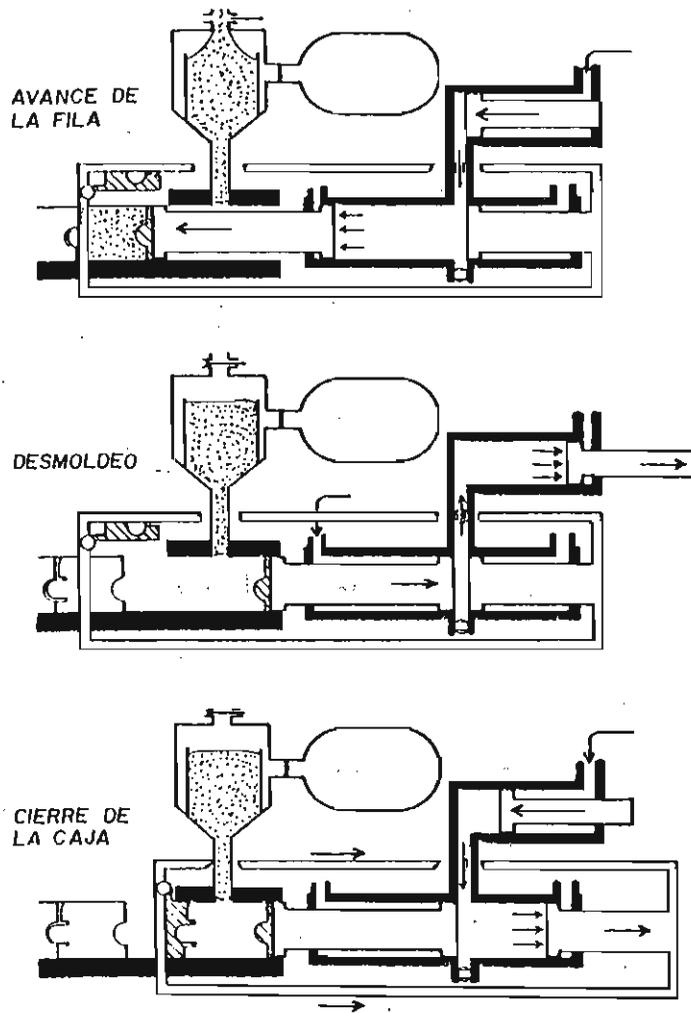


Figura 5.61 Moldeo automático (operaciones finales).

5.5 SOLIDIFICACIÓN Y ENFRIAMIENTO

a) Formas de solidificación

Para metales puros:

De la fase líquida pasan directamente a la fase sólida (solidificación corta).

Para aleaciones metálicas:

— Solución sólida

De la fase líquida a una fase líquido-sólida (pastosa) y finalmente a la fase sólida (solidificación prolongada).

— Mezcla normal

Solidifica igual como la solución sólida.

— Mezcla eutéctica

Solidifica igual como los metales puros.

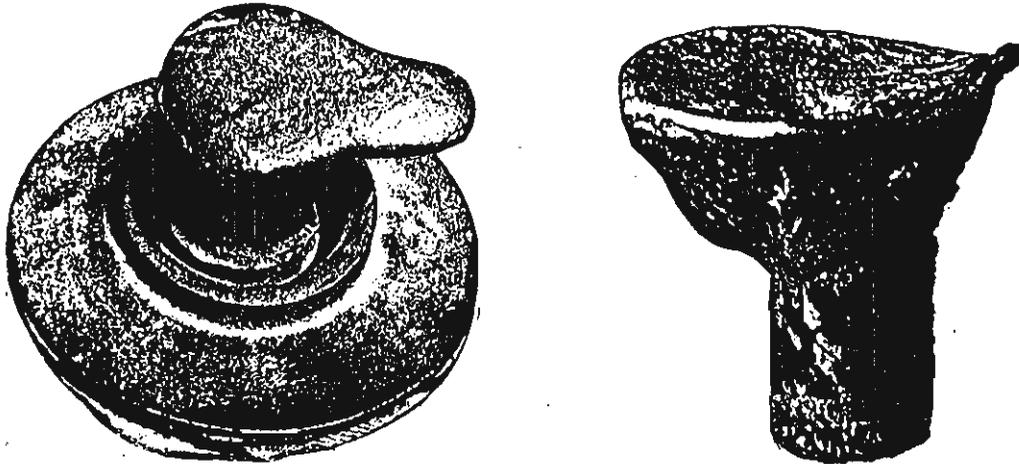


Figura 5.62 Solidificación corta (izquierda) y prolongada (derecha).

La forma en que una pieza fundida solidificó puede observarse en la colada de la misma (figura 5.62): la solidificación corta deja una colada rebosante mientras que la solidificación prolongada deja un escurrimiento o rechupe del material al centro de la colada.

b) Mecanismos de enfriamiento

Durante el enfriamiento de la pieza, el calor se disipa en tres formas:

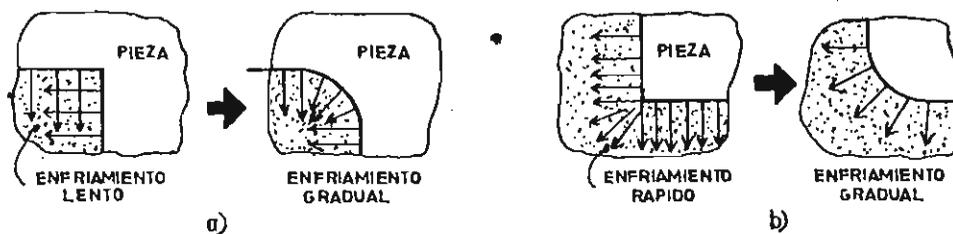
- Por conducción: a través de la arena, de grano a grano.
- Por convección: por los gases y vapor generados al momento de hacer contacto el metal fundido con la arena.

- Por radiación: el metal líquido que queda expuesto directamente al aire.

La disipación del calor por conducción y convección hace necesario prever radios de enlace en la pieza:

- Interiores o cóncavos: para evitar que los granos de arena se quemen por la concentración local de calor y queden adheridos a la pieza, lo que ocasionaría desgaste rápido de la herramienta de corte durante su maquinado (figura 5.63a).
- Exteriores o convexos: para evitar enfriamiento rápido local que ocasionaría zonas de mayor dureza en la pieza, difíciles de maquinar (figura 5.63b).

Figura 5.63 Radios de enlace para la pieza fundida.



c) Determinación del orden de solidificación

Para soluciones sólidas y mezclas normales, es necesario determinar el orden en que solidifican las diversas secciones de la pieza para prever alimentadores para las secciones que solidifican al último y que no pueden ser alimentadas por secciones superiores o adyacentes.

Para determinar el orden de la solidificación, se descompone la pieza fundida en elementos geométricos simples (figura 5.64) y a cada elemento se le calcula su **Módulo de enfriamiento (M)**, que es su relación volumen (V) / superficie expuesta a la arena (A) :

$$M = V / A \quad [\text{cm}]$$

Las secciones que solidifican al último deben situarse en lo posible sobre las secciones que solidifican primero.

Módulos de enfriamiento para los elementos geométricos simples de la figura 5.64:

– Para la barra cuadrada y el cilindro:

$$M = \frac{d \cdot L}{2d + 4L} \quad [\text{cm}]$$

Si $L \ll d$ entonces $M \rightarrow L / 2$ [cm]

Si $L = d$ entonces $M = d / 6$ [cm]

Si $L \gg d$ entonces $M \rightarrow d / 4$ [cm]

– Para la esfera:

$$M = d / 6 \quad [\text{cm}]$$

– Para el anillo:

$$M = \frac{\text{Superficie de la sección}}{\text{Perímetro de la sección}} \quad [\text{cm}]$$

o bien

$$M = \frac{(d - D) L}{2(d - D) + 4L} \quad [\text{cm}]$$

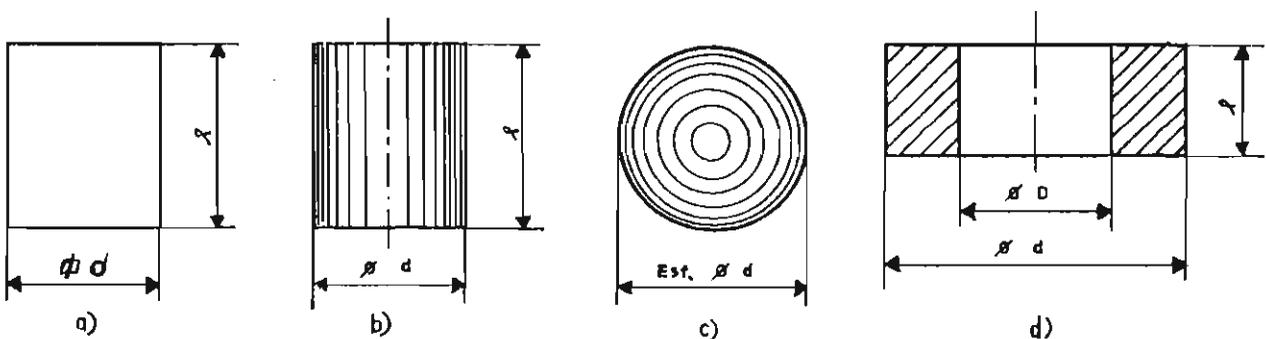
d) Cálculo del tiempo de solidificación

A cada elemento geométrico simple se le calcula su tiempo T_s de solidificación:

$$T_s = K \cdot M^2 \quad [\text{min}]$$

donde: $K = 2.1 \text{ min/cm}^2$

Figura 5.64 Elementos geométricos simples.



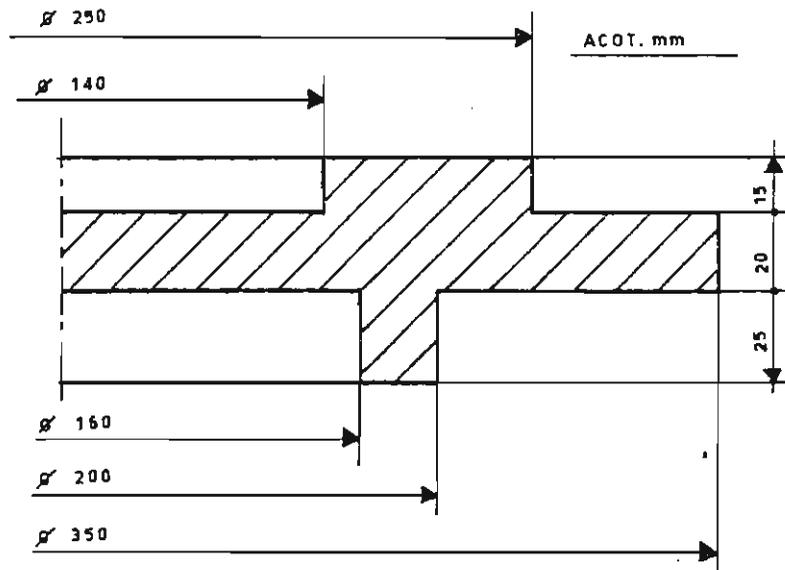


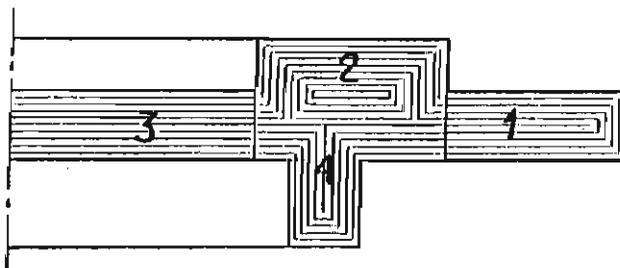
Figura 5.65 Pieza fundida de acero.

Ejemplo 5.7

Determinación del orden y tiempo de solidificación de cada uno de los elementos geométricos simples de una pieza fundida de acero (figura 5.65), y la posición de la pieza en el molde.

- Descomposición de la pieza en elementos geométricos simples: para determinar los elementos geométricos simples de la pieza, puede simularse la solidificación (prolongada) del exterior al interior de capas sucesivas y continuas del mismo espesor (figura 5.66).

Figura 5.66 Identificación de las secciones.



5.7a Cálculo de los módulos de enfriamiento:

$$M_1 = \frac{5 \times 2}{5 + 2 + 5} = \frac{10}{12} = 0.83 \text{ cm}$$

$$M_2 = \frac{5.5 \times 3.5}{2.5 + 1 + 1.5 + 5.5 + 1.5}$$

$$M_2 = \frac{19.25}{12} = 1.604 \text{ cm}$$

$$M_3 = \frac{7 \times 2}{7 + 7} = \frac{14}{14} = 1 \text{ cm}$$

$$M_4 = \frac{2 \times 2.5}{2.5 + 2 + 2.5} = \frac{5}{7} = 0.71 \text{ cm}$$

5.7b Cálculo de los tiempos de solidificación:

$$Ts_1 = 2.1 \times (0.83)^2 \approx 1.45 \text{ min}$$

$$Ts_2 = 2.1 \times (1.604)^2 \approx 5.40 \text{ min}$$

$$Ts_3 = 2.1 \times (1)^2 = 2.1 \text{ min}$$

$$Ts_4 = 2.1 \times (0.71)^2 \approx 1.06 \text{ min}$$

5.7c Orden de solidificación de las secciones:

4 - 1 - 3 - 2

5.7d Posición en el molde:

Según se muestra en la figura 5.65, puesto que la sección 2 enfría al último y por lo tanto puede alimentar a las secciones 1, 3 y 4, pero debe alimentarse a la sección 2.

e) Cómo modificar el orden de solidificación

A la sección que no puede alimentarse por sus partes superior o lateral se le puede acelerar su enfriamiento disminuyéndole su módulo de enfriamiento y para esto, se le colocan plaquitas metálicas o de grafito llamadas enfriadores, que cubren parcial o totalmente alguna de sus superficies lateral o inferior.

La superficie E del enfriador que está en contacto con la sección absorbe el calor equivalente al absorbido por tres superficies de arena, por lo que si a una sección se le coloca un enfriador que sólo cubra parte de la superficie A, su módulo de enfriamiento modificado M' es:

$$M' = \frac{V}{A + 2E} \quad [\text{cm}]$$

Ejemplo 5.8

Determinación del orden de solidificación de cada una de las secciones o elementos geométricos simples de la pieza de acero fundido de la figura 5.67, y la posición de la pieza en el molde. ¿Es necesario acelerar el enfriamiento de alguna de sus secciones?

5.8a Identificación de los elementos geométricos simples de la pieza (figura 5.68).

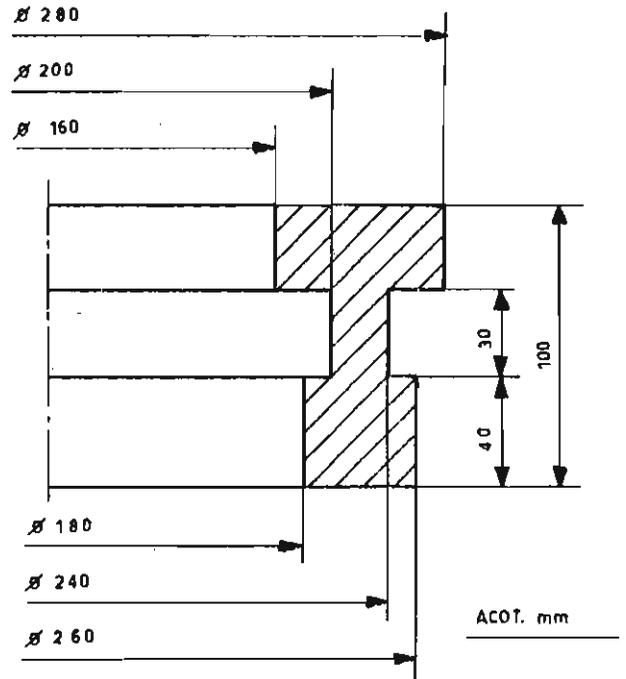
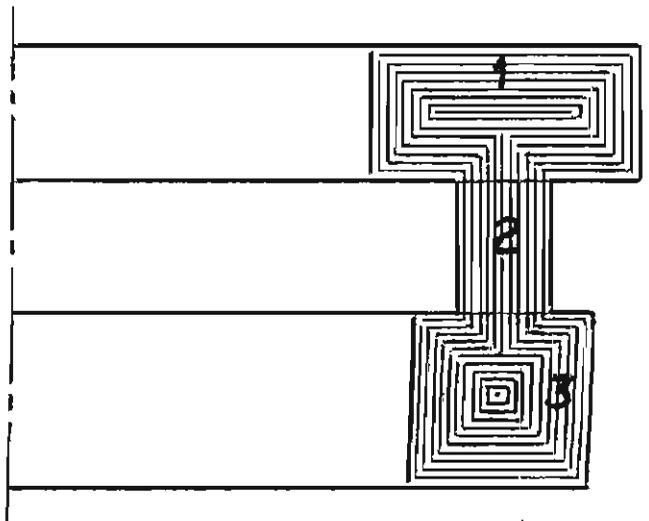


Figura 5.67 Proyecto de pieza fundida de acero.

Figura 5.68 Simulación de la solidificación prolongada para la identificación de elementos geométricos simples.



5.8b Cálculo de los módulos de enfriamiento:

$$M_1 = \frac{6 \times 3}{2 + 3 + 6 + 3 + 2} = \frac{18}{16} = 1.125 \text{ cm}$$

$$M_2 = \frac{2 \times 3}{3 + 3} = \frac{6}{6} = 1.00 \text{ cm}$$

$$M_3 = \frac{4 \times 4}{1 + 4 + 4 + 4 + 1} = \frac{16}{14} = 1.14 \text{ cm}$$

5.8c Orden de solidificación de las secciones:

2 - 1 - 3

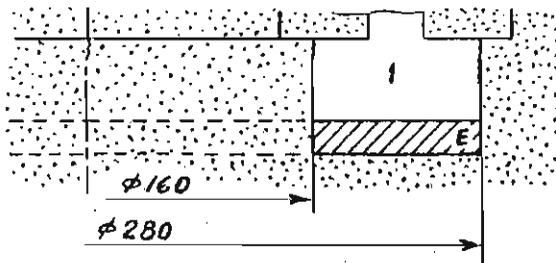
5.8d Posición de la pieza en el molde:

Puesto que la sección 3 solidifica después de la sección 1, hay que invertir la posición de la pieza para que la sección 3 quede sobre la sección 1 y acelerar el enfriamiento de la sección 1 de tal forma que $M_1' < M_2$.

Si se coloca un enfriador a la sección 1 en su superficie plana limitada por los diámetros exterior de 280 e interior de 160 (figura 5.69), entonces el nuevo módulo de enfriamiento de la sección 1 es:

$$M_1' = \frac{18}{16 + (2 \times 6)} = \frac{18}{28} = 0.64 \text{ cm}$$

Figura 5.69 Plaquetas de enfriamiento.



El orden de solidificación modificado de las secciones es ahora:

1 - 2 - 3

5.6 ALIMENTACIÓN DE LA PIEZA

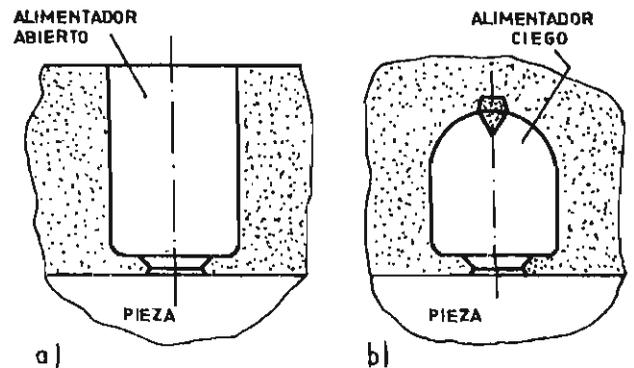
a) Selección y dimensionamiento del alimentador

El alimentador puede ser abierto o ciego a la atmósfera (véase figura 5.70) y debe cumplir con las siguientes condiciones:

1. Solidificar después de la sección que alimenta.
2. Permitir el escurrimiento del metal líquido hacia la pieza.
3. Poder ser retirado sin ningún problema después de desmoldearse la pieza, y reducir al mínimo el desbarbado.
4. Abastecer un volumen suficiente de metal líquido para compensar la contracción de la sección que alimenta.

Si se determinan las superficies de un cubo, un cilindro de altura igual a su diámetro, y de una

Figura 5.70 Alimentadores ciegos y abiertos.



esfera, todos de un mismo volumen, se tendrá que la esfera es el cuerpo de menor superficie, y por tanto la que tardaría más tiempo en solidificar; por ejemplo, si se considera un volumen de 1,000 cm³, las superficies del cubo, del cilindro y de la esfera serían de 600 cm², 553.6 cm² y de 483.6 cm² respectivamente, y los tiempos de solidificación serían de 5.83 min, 6.85 min y 8.98 min respectivamente. Esto indica que la esfera es la forma geométrica más adecuada para un alimentador, pero es más fácil moldear una forma cilíndrica que una esférica si el alimentador es abierto o una forma semiesférica combinada con una cilíndrica si el alimentador es ciego (figura 5.70).

Si el alimentador es ciego, en su parte superior debe colocársele una aguja de arena para mantener un punto caliente que evite el cierre del “techo” por la solidificación gradual del metal fundido del exterior hacia el núcleo, siendo así posible mantener la acción de la presión atmosférica sobre el metal fundido para que éste pueda descender y alimentar a la pieza (figura 5.70).

Para que el alimentador cumpla con la primera condición, es necesario que su módulo de enfriamiento (Ma) esté en función del módulo de enfriamiento (Mp) de la sección de la pieza en que se le coloca: según el tipo de molde y de acuerdo a la regla de los módulos, en las tablas 5.7 y 5.8 se dan las condiciones de diseño para el alimentador.

Tabla 5.7 Módulo de enfriamiento (Ma) del alimentador en función del módulo de enfriamiento (Mp) de la pieza que alimenta.

Tipo de alimentador	Módulo Ma	
	Molde deformable	Molde rígido
ordinario*	1.2 Mp	0.60 Mp
exotérmico ⁺	0.9 Mp	0.45 Mp

* Se moldea con la misma arena del molde (alimentador ciego o abierto).
⁺ Se moldea con una cámara exotérmica (alimentador abierto)
 – Molde deformable: molde de arena verde.
 – Molde rígido: molde secado con CO₂ o autofraguado.

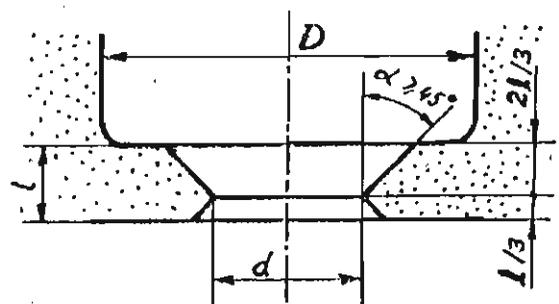
Tipo de alimentador	Diámetro d	Longitud L
ordinario	5.0 Ma	1.5 d
exotérmico	5.4 Ma	1.0 d

Tabla 5.8 Diámetro d y longitud L para alimentadores cilíndricos abiertos

b) Dimensionamiento de la entrada a la pieza

Para que el alimentador pueda cumplir con las condiciones 2 y 3, entre el alimentador (ciego o abierto) y la sección que va a ser alimentada, debe preverse una garganta de entrada a la pieza o sección de ataque para conservar la temperatura de vaciado, véase figura 5.71.

Figura 5.71 Sección de ataque de un alimentador.



Dimensiones para el ataque:

Aleaciones	d	l
Fundición	2/3 D	0.14 a 0.18 D
Aceros	0.4 D	0.14 a 0.18 D
De Cu y Al	2/3 D	0.25 a 0.35 D



Bibliografía

Capítulo 1

1. Alfonso Alfonso A. Acero - Fascículo 1 - Resumen de las normas oficiales mexicanas sobre el acero. México, 1975.
2. Damián Noriega Z. Tecnología de fabricación metalmeccánica. 1a. Ed. AGT Editor. México, 1986.
3. ISO. ISO Memento 1987. International Standard Organization. Suiza (DGN-SeCoFI. México).
4. ISO: ISO Technical Programme 1988. International Standard Organization. Suiza (DGN-SeCoFI. México).
5. Shärer Säuberli U., Rico Mora J., Cruz Sánchez J., Solares Gerardo L. y Moreno Ponce R. Ingeniería de manufactura. 1a. Ed. CECSA. México, 1984.
6. Villanueva Pruneda S.A. y Ramos Watanave J. Manual de Métodos de fabricación metalmeccánica. 3a. Ed. AGT Editor. México, 1983.

Capítulo 2

1. Alfonso, Alfonso A. Acero - Fascículo 1 - Resumen de las normas oficiales mexicanas sobre el acero. México, 1975.

2. Damián Noriega Z. Tecnología de fabricación metalmeccánica. 1a. Ed. AGT Editor. México, 1986.
3. D.G.N. Arrabio para fundición. Dirección General de Normas. Norma Oficial Mexicana NOM B-7-1986. México.
4. D.G.N. Arrabio para la fabricación de acero. Dirección General de Normas. Norma Oficial Mexicana NOM B-232-1986. México.
5. Shärer Säuberli U., Rico Mora J., Cruz Sánchez J., Solares Gerardo L. y Moreno Ponce R. Ingeniería de manufactura. 1a. Ed. CECSA. México, 1984.
6. Sordo C. y Ordoñez C. Apuntes de tecnología de materiales 1a. Ed. ESIME-IPN. México, 1973.

Capítulo 3

1. Alfonso, Alfonso A. Acero - Fascículo 1 - Resumen de las normas oficiales mexicanas sobre el acero. México, 1975.
2. Avner S.H. Introducción a la metalurgia física. 2a. Ed. McGraw Hill. México, 1979.
3. Shärer Säuberli U., Rico Mora J., Cruz Sánchez J., Solares Gerardo L. y Moreno Ponce R. Ingeniería de manufactura. 1a. Ed. CECSA. México, 1984.

Capítulo 4

1. Amstead B.F., Ostwald P.F. y Begeman M.L. Procesos de manufactura versión S.I. 1a. Ed. CECSA. México. 1981.
2. Hasbach Ruiz G.E. y Delgado Jaralillo J. Procesos de manufactura. 6a. Ed. ESIME-IPN. México. 1977.
3. Shärer Säuberli U., Rico Mora J., Cruz Sánchez J., Solares Gerardo L. y Moreno Ponce R. Ingeniería de manufactura. 1a. Ed. CECSA. México, 1984.

Capítulo 5

1. Amstead B.F., Ostwald P.F. y Begeman M.L. Procesos de manufactura versión S.I. 1a. Ed. CECSA. México. 1981.
2. Damián Noriega Z. Tecnología de fabricación metalmecánica. 1a. Ed. AGT Editor. México, 1986.
3. Chardon M. Fonderie - Analyse de fabrication. ENSAM. Francia. 1977.
4. Chardon M. Fonderie - Laboratoire sable. ENSAM. Francia. 1977.
5. Chardon M. Fonderie - Le messelottage. 3éme. année. ENSAM. Francia. 1977.
6. Chardon M.; Fonderie - Les fontes de premiere fusion, les fours de fusion, defauts de pieces coulees. 1ére année. ENSAM. Francia. 1977.
7. Chardon M. Technologie de fonderie - Les fontes de 2éme fusion. 3éme. année. ENSAM. Francia. 1977.
8. Hasbach Ruiz G.E. y Delgado Jaralillo J. Procesos de manufactura 6a. Ed. ESIME-IPN. México. 1977.
9. Pignol M. Atelier de modelerie. 1ére. année. ENSAM. Francia. 1977.
10. Shärer Säuberli U., Rico Mora J., Cruz Sánchez J., Solares Gerardo L. y Moreno Ponce R. Ingeniería de manufactura. 1a. Ed. CECSA. México, 1984.

Notas de Procesos de
Manufactura I Primera parte
Se terminó de imprimir
en el mes de septiembre del año 2004
en los talleres de la Sección
de Impresión y Reproducción de la
Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco

La edición
estuvo a cargo de
la Sección de Producción
y Distribución Editoriales
Se imprimieron
400 ejemplares más sobrantes
para reposición.

**UAM
TS183
D3.566
1997**

**2892934
Damián Noriega, Zeferino
Notas de procesos de manu**



...transformando el diálogo por la razón

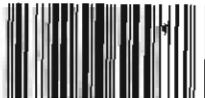
NOTAS DE PROCESOS DE MANUFACTURA I (PRIMER
DAMIAN NORIEGA ZEPER * SECCION DE IMPRESION)

ISBN: 970-654-971-4

14646



\$ 15.00
\$ 15.00



978-97065-49716

Division de Ciencias Básicas e Ingeniería
Departamento de Energía



Coordinación de Extensión Universitaria
Sección de Producción y Distribución Editoriales