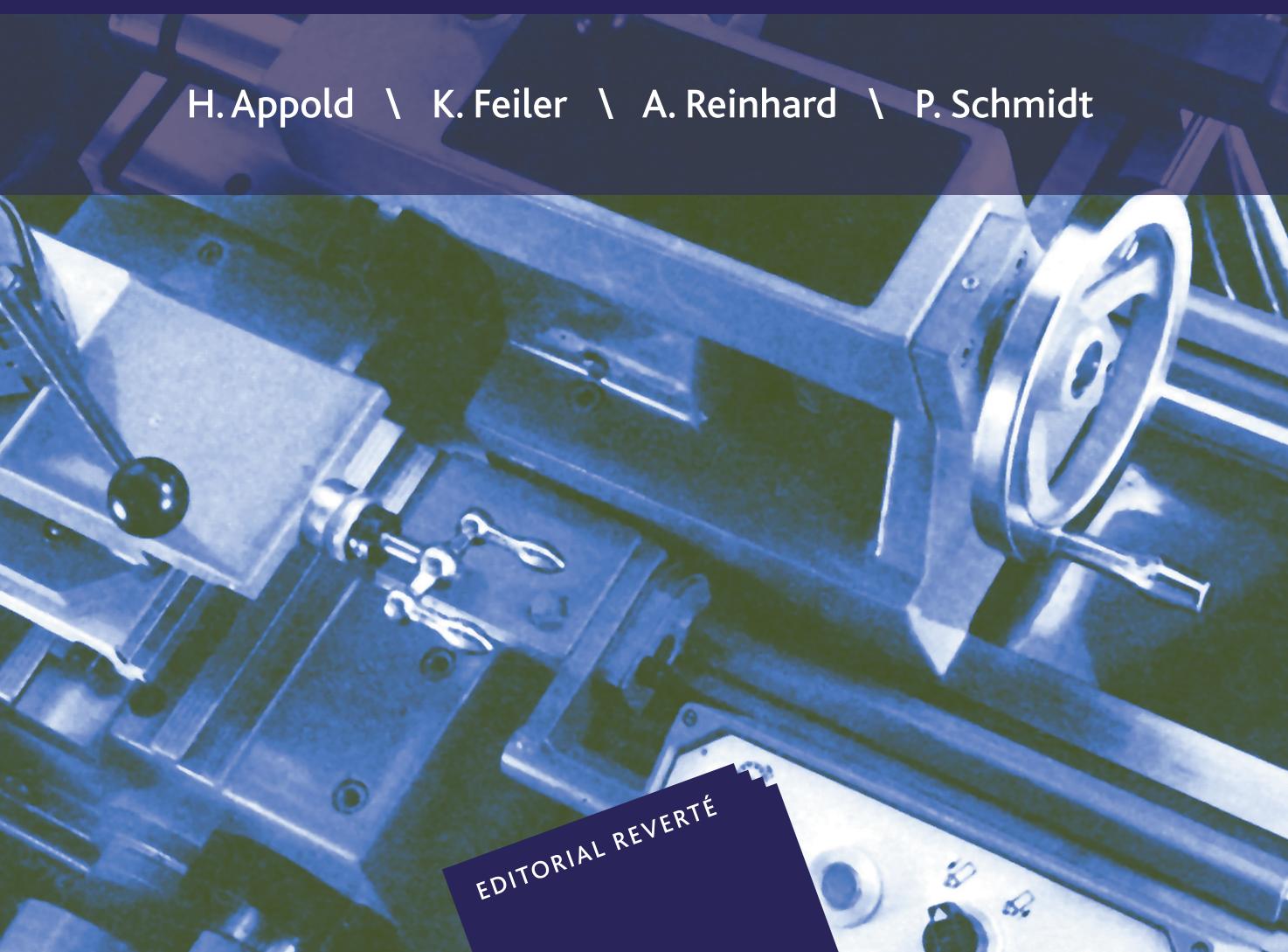


# Tecnología de los metales

H. Appold \ K. Feiler \ A. Reinhard \ P. Schmidt



EDITORIAL REVERTÉ



# Tecnología de los metales

para profesiones  
técnico-mecánicas

---

Hans Appold, Kurt Feiler, Alfred Reinhard, Paul Schmidt

---



EDITORIAL  
REVERTÉ

Barcelona · Bogotá · Buenos Aires · México

*Título de la obra original:*

**Technologie Metal für Maschinentechnische  
Berufe, 13. Auflage**

*Edición original en lengua alemana publicada por:*

**Verlang Handwerk und Technik, Hamburg. Alemania**

**Copyright © by Verlang Handwerk und Technik  
GmbH, Hamburg**

Edición en papel:

© Editorial Reverté, S. A., 1985

ISBN: 978-84-291-6014-7

Edición e-book (PDF):

© Editorial Reverté, S. A., 2020

ISBN: 978-84-291-9146-2

*Versión española por:*

**Dr. D. Francisco Besante Besante**

Ingeniero Industrial

*y*

**Dr. D. Miquel Jubera Aguilera**

Ingeniero Industrial

*de*

DIORKI, traductores

*Propiedad de:*

**EDITORIAL REVERTÉ, S. A.**

Loreto, 13-15, Local B

08029 Barcelona - España

Tel: (34) 93 419 33 36

e-mail: reverté@reverte.com

www.reverte.com

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la regrafía y el tratamiento informático, queda rigurosamente prohibida, salvo excepción prevista en la ley. Asimismo queda prohibida la distribución de ejemplares mediante alquiler o préstamo públicos, la comunicación pública y la transformación de cualquier parte de esta publicación (incluido el diseño de la cubierta) sin la previa autorización de los titulares de la propiedad intelectual y de la Editorial. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal). El Centro Español de Derechos Reprográficos (CEDRO) vela por el respeto a los citados derechos.

## Prólogo

*Las exigencias económicas y la continua evolución de las estructuras requieren no sólo una buena formación frente a la situación actual, sino que se espera que el profesional cualificado esté a la altura de las necesidades técnicas continuamente cambiantes. Por esta razón se han vuelto a incluir en todos los planes de estudios modernos los fundamentos físicos de los procedimientos técnico-mecánicos y las funciones de los equipos que intervienen.*

*Este libro está destinado a la asignatura de Tecnología de los Metales de los tres años de la Escuela Profesional, en particular para las profesiones de fabricación y mecanización con arranque de viruta. La subdivisión del libro tiene en cuenta tanto los imperativos específicos profesionales como la distribución usual de las materias que se estudian. Nos parece muy importante hacer hincapié en que los campos especializados cerrados en sí mismos, como por ejemplo el torneado, forman aquí un apartado temático aparte en el que la subdivisión en niveles básico y superior se deja al criterio del profesor. Para la enseñanza de la Matemática Técnica y del Dibujo Técnico se desarrollaron en su día tomos paralelos publicados por la misma editorial, por lo que con estos tres tomos queda cubierta toda la teoría de la especialidad.*

*El libro aparece ahora como edición revisada y ampliada, atendiendo a los planes de estudios puestos en práctica en los últimos años en muchos estados federales, los cuales comprenden los objetivos y el contenido del plan general de estudios del Ministerio de Cultura, pero con una subdivisión diferente. También han influido los avances de la industria, reflejados también en las normas. La subdivisión de los procedimientos de fabricación según DIN sirvió de base para estructurar el apartado de la «Técnica de la Fabricación», adaptando también a los nuevos conocimientos la normalización de los materiales metálicos. Los procedimientos ya en desuso se citan únicamente porque reflejan el desarrollo de la técnica.*

*Los temas docentes científicos deben estar presentes en toda la enseñanza tecnológica. Este principio queda satisfecho al asignar a cada campo tecnológico parcial el correspondiente fenómeno científico.*

*La Electrotecnia se trata como un campo aparte, con el fin de asegurar la lógica relacionada y la sistemática docente.*

*La elección de la materia y la estructuración de cada capítulo obedecen a una enseñanza orientada con objetivos didácticos. Las unidades docentes relativamente pequeñas permiten al profesor fijar sus puntos clave de acuerdo con cada situación de la enseñanza, así como elegir los temas. El gran número de ejercicios permite al educando efectuar un repaso que asegura un aprendizaje en profundidad.*

*Los autores y la editorial esperan proporcionar al alumno los conocimientos tecnológicos que le capaciten para incorporarse a los nuevos avances técnicos, así como a dominar de forma rápida y segura las exigencias laborales del futuro.*

Los autores



# Índice analítico

<b>1</b>	<b>Verificación de longitudes . . . . .</b>	
1.1	<b>Fundamentos . . . . .</b>	
1.1.1	Magnitudes, unidades, símbolos . . . . .	1
	Magnitudes físicas y unidades . . . . .	1
	Múltiplos y submúltiplos de las unidades . . . . .	1
	Definiciones de las unidades fundamentales . . . . .	1
	Unidades de longitud . . . . .	2
1.1.2	Resumen de los medios de verificación . . . . .	2
	Instrumentos de medición y calibres . . . . .	3
1.1.3	Actividades de verificación . . . . .	4
	Diferencia entre medición y calibrado . . . . .	4
	Proceso de medición . . . . .	4
	Proceso de calibrado . . . . .	5
1.1.4	Conceptos de metrología . . . . .	5
	Elementos característicos de los instrumentos de medición . . . . .	5
	Procedimientos de medición directos . . . . .	5
	Inseguridad de la medición . . . . .	6
1.1.5	Errores de medición . . . . .	6
	Los errores apreciables hacen incorrecto el resultado de la medición . . . . .	6
	Los errores accidentales hacen inseguro el resultado de la medición . . . . .	6
1.2	<b>Medios para la verificación de longitudes . . . . .</b>	
1.2.1	Verificación con elementos de medición . . . . .	8
	Medición de longitudes con la regla graduada . . . . .	8
	Medición directa con el compás . . . . .	8
	Medición de longitudes con galgas . . . . .	9
1.2.2	Verificación con instrumentos indicadores . . . . .	10
	Medición de longitudes con el pie de rey . . . . .	10
	Medición de longitudes con el tornillo micrométrico . . . . .	11
	Medición de longitudes con comparadores . . . . .	12
	Diferencias admitidas para las cotas sin indicación de tolerancia . . . . .	13
1.2.3	Verificación con comparadores de precisión . . . . .	13
	Empleo de comparadores de precisión . . . . .	13
	Comparador de precisión con multiplicador por palanca . . . . .	13
	Comparador de precisión con multiplicación por palanca y rueda dentada combinadas . . . . .	14
	Comparador de precisión con multiplicación por fleje tensor . . . . .	14
	Comparador de precisión con palpador mecánico y amplificación óptica . . . . .	15
	Comparador de precisión con contactos limitadores eléctricos . . . . .	15
1.2.4	Verificación con instrumentos neumáticos . . . . .	16
	Procedimientos de medición automáticos . . . . .	16
	Modelos de instrumentos de medición neumáticos . . . . .	16
1	<b>1.2.5 Verificación con instrumentos de medición electrónicos . . . . .</b>	17
	Principio de la medición inductiva de longitudes . . . . .	17
	Indicación analógica y digital . . . . .	17
	Medición única, medición suma, medición diferencia . . . . .	18
1.2.6	Verificación de calibres . . . . .	18
	Calibres de forma y calibres de cotas . . . . .	18
	Calibres de tolerancias . . . . .	18
1.3	<b>Medios de verificación de ángulos . . . . .</b>	19
1.3.1	Verificación con calibres de ángulos fijos . . . . .	19
	Escuadras fijas (de ángulo fijo) . . . . .	20
	Galgas angulares . . . . .	20
1.3.2	Verificación con instrumentos de medición de ángulos . . . . .	20
	Transportadores indicadores . . . . .	20
	Medición de ángulos agudos y ángulos obtusos . . . . .	21
	Nivel para ángulos . . . . .	21
	Transportadores de ángulos graduables . . . . .	22
1.4	<b>Trazado de piezas . . . . .</b>	22
1.4.1	Instrumentos de trazar . . . . .	22
	Proceso de trazado . . . . .	23
	Ejercicio de trazado . . . . .	24
	Ejercicios . . . . .	26
<b>2</b>	<b>Materiales . . . . .</b>	29
2.1	<b>Propiedades de los materiales . . . . .</b>	29
2.1.1	Propiedades físicas . . . . .	29
	Cuerpos y sus estados de agregación . . . . .	29
	Dilatación por el calor . . . . .	30
	Temperatura de fusión — Temperatura de solidificación . . . . .	30
	Temperatura de ebullición — Temperatura de condensación . . . . .	31
	Masa, peso, densidad . . . . .	31
2.1.2	Propiedades tecnológicas y mecánicas . . . . .	32
	Propiedades tecnológicas . . . . .	32
	Propiedades mecánicas . . . . .	33
2.1.3	Propiedades químicas . . . . .	33
	Procesos químicos y físicos . . . . .	33
	Representación de la estructura de los átomos . . . . .	34
	Elementos . . . . .	34
	Sistema periódico de los elementos . . . . .	35
	Subdivisión de los elementos . . . . .	35
	Mezclas y combinaciones químicas . . . . .	36
	Estructura de las combinaciones de átomos . . . . .	36
	Tendencia de los átomos a enlazarse . . . . .	37
	Enlace iónico . . . . .	37

Enlace atómico (enlace de pares de electrones) .....	38	2.5 <b>Materiales sinterizados</b> .....	63
Enlace metálico .....	38	2.5.1 Conceptos fundamentales .....	63
Combinaciones con el oxígeno .....	39	Fabricación y propiedades .....	63
Valencia de los elementos .....	39	Aplicaciones .....	65
<b>Ejercicios</b> .....	40	Materiales sinterizados de importancia en la industria .....	65
<b>2.2 Textura de los materiales metálicos</b> .....	41	<b>Ejercicios</b> .....	66
2.2.1 Características comunes .....	41	<b>2.6 Normalización de los materiales metálicos</b> .....	67
Estructura cristalina de los metales .....	41	2.6.1 Designación del acero .....	67
2.2.2 Textura de deformación .....	42	Subdivisión de los tipos de acero .....	67
Fuerzas activas entre partículas de substancias .....	42	Designación de los tipos de acero .....	68
Deformación elástica y plástica .....	42	Designación de los aceros no aleados .....	68
2.2.3 Estructura de las aleaciones .....	43	Designación de los aceros aleados .....	69
Estructura de un metal de una sola substancia y .....	43	Codificación de las designaciones normalizadas .....	69
de una aleación .....	43	Designación de los aceros mediante números de .....	72
Metal de una sola substancia .....	43	Diferentes clases de acero .....	72
Aleaciones .....	43	Aceros de construcción básicos y de calidad .....	72
Dureza y resistencia de una aleación .....	44	Aceros de calidad y aceros finos .....	73
<b>2.3 Materiales ferreos</b> .....	44	Aceros inoxidables .....	75
2.3.1 Combinaciones en el mineral de hierro .....	44	Aceros para herramientas .....	75
Rocas con contenido de hierro .....	44	Designaciones para bandas y chapas .....	75
2.3.2 Obtención del hierro bruto .....	45	Formas comerciales de los aceros .....	76
Reducción de los óxidos metálicos .....	45	Normalización de los productos planos de acero .....	76
Reducción de los óxidos de hierro .....	46	2.6.4 Materiales fundidos/metales no ferreos .....	77
2.3.3 Hierro bruto, acero, fundición .....	46	Designación de los metales colables .....	77
Del hierro bruto al acero y la fundición .....	46	Designación de los metales no ferreos .....	78
2.3.4 Diversas calidades de aceros .....	48	<b>Ejercicios</b> .....	80
Aceros no aleados y aleados .....	48	<b>2.7 Corrosión de los materiales metálicos</b> .....	81
Los componentes de una aleación modifican las .....	49	2.7.1 Causas de la corrosión .....	81
2.3.5 Procedimientos de obtención de acero .....	49	Influencias químicas sobre los metales .....	81
Procedimientos de afino .....	49	2.7.2 Clases de corrosión .....	84
Procedimientos de inyección de oxígeno .....	50	Influencias electroquímicas sobre los metales .....	84
Procedimiento Siemens-Martin .....	50	2.7.3 Protección contra la corrosión .....	85
Procedimiento eléctrico .....	50	Recubrimientos no metálicos .....	85
Procedimiento de refundición .....	51	Recubrimientos metálicos .....	85
2.3.6 Colada de acero .....	51	Recubrimientos químicos .....	86
Tratamiento al vacío .....	51	Protección catódica contra la corrosión .....	86
Acero colado sin calmar .....	52	<b>2.8 Plásticos</b> .....	87
Acero colado calmado .....	52	2.8.1 Fundamentos .....	87
Procedimientos de colada .....	52	Subdivisión y propiedades .....	87
2.3.7 Materiales colados .....	53	Composición química .....	87
Hierro fundido .....	53	2.8.2 Subdivisión tecnológica .....	88
Fundición maleable .....	53	Diversas propiedades de los termoestables y .....	88
Acero moldeado .....	54	termoplásticos .....	88
<b>Ejercicios</b> .....	54	2.8.3 Fabricación de piezas .....	89
<b>2.4 Materiales metálicos no ferreos</b> .....	55	Elaboración de plásticos termoestables .....	89
2.4.1 Metales ligeros .....	55	Elaboración de termoplásticos .....	90
Aluminio, símbolo Al .....	55	2.8.4 Termoplásticos .....	90
Aleaciones de aluminio .....	56	Plásticos importantes .....	90
Magnesio, símbolo Mg .....	57	Comportamiento de los termoplásticos sometidos .....	90
Aleaciones de magnesio .....	57	a calentamiento .....	91
Titanio, símbolo Ti .....	58	2.8.5 Conformación y pegado .....	92
2.4.2 Metales pesados .....	58	Conformación de los plásticos .....	92
Cobre, símbolo Cu (cuprum) .....	58	Pegado de los plásticos .....	93
Aleaciones de cobre .....	59	2.8.6 Materiales combinados .....	93
Cinc, símbolo Zn .....	60	Plásticos reforzados con fibra de vidrio .....	93
Aleaciones de cinc .....	61	<b>Ejercicios</b> .....	94
Estano, símbolo Sn (stannum) .....	61		
Aleaciones de estaño .....	62		
Plomo, símbolo Pb (plumbum) .....	62		
Aleaciones de plomo .....	63		

2.8.7	Resumen sobre los plásticos .....	95	Procesos de conformación por aplanado y enderezado .....	139	
<b>2.9</b>	<b>Ensayo de materiales .....</b>	<b>96</b>	Máquinas de conformar .....	141	
2.9.1	Procedimientos mecanotecnológicos .....	96	<b>Ejercicios .....</b>	142	
	Ensayos en el taller .....	96			
	Ensayo de resistencia a la tracción (DIN 50145) .....	97	<b>3.4</b>	<b>Separación por seccionado .....</b>	143
	Ensayo de resiliencia por flexión (DIN 50115) .....	98	3.4.1	La cuña como filo de herramienta .....	143
	Ensayo de dureza .....	99		Fundamentos de la separación de materiales .....	143
	Ensayo de la chispa de esmerilado .....	100		Descomposición de fuerzas en la cuña de corte .....	144
2.9.2	Otros procedimientos .....	104	3.4.2	Corte con cuña .....	144
	Procedimiento de ensayo metalográfico .....	104		Proceso de corte con cuña .....	144
	Procedimientos de ensayo no destructivos .....	105		Herramientas de corte con cuña .....	145
	Aplicaciones de diversos procedimientos de ensayo de dureza .....	105	3.4.3	Cizallado .....	145
	<b>Ejercicios .....</b>	106		Corte con cizalla .....	145
<b>3</b>	<b>Técnica de la fabricación .....</b>	<b>107</b>		Acción de la palanca y fuerza de corte .....	146
<b>3.1</b>	<b>Procedimiento de fabricación .....</b>	<b>107</b>		El trabajo con la tijera manual para chapa (tijera de hojalatero) .....	147
3.1.1	Subdivisión .....	107		Cizallas .....	147
	Formación de brutos, conformación, corte, unión, recubrimiento, modificación de las propiedades de los materiales .....	107		Defectos en el trabajo de cizallado .....	148
3.1.2	Fundamentos físicos .....	108	3.4.4	El corte de forma .....	148
	Composición y descomposición de fuerzas .....	113		Herramientas de corte .....	148
	Rozamiento y fuerza de rozamiento .....	114	<b>3.5</b>	<b>Separación por arranque de viruta a mano .....</b>	150
	Momento torzor, ley de la palanca, par de fuerzas .....	115	3.5.1	Forma de actuación de la cuña de corte .....	150
	Trabajo y energía .....	116		Forma de la cuña y trabajo de arranque de viruta .....	150
	Potencia y mecánica .....	117		Efecto del ángulo de ataque positivo o negativo .....	151
	Rendimiento .....	118	3.5.2	Cincelado .....	151
	Plano inclinado .....	118		Herramientas de cincelado .....	151
	Presión (presión superficial) y tensión .....	119		El martillo como herramienta de percusión .....	151
	<b>Ejercicios .....</b>	120		Trabajos de cincelado .....	152
<b>3.2</b>	<b>Formación de brutos .....</b>	<b>121</b>	3.5.3	A serrado .....	152
3.2.1	Procesos físicos .....	121		Formación de viruta en el aserrado .....	152
	Fundamentos de termodinámica .....	121		Aserrado manual de metales .....	153
	Medición de cantidad de calor .....	123		Sierras mecánicas para metales .....	153
	Propagación del calor .....	123	3.5.4	Limado .....	154
	Dilatación por el calor .....	123		El trabajo con la lima .....	156
	Comportamiento de los materiales líquidos .....	124		Sujección de las piezas .....	157
3.2.2	Formación de brutos mediante fundición .....	126	3.5.5	Rasqueteado .....	157
	Fundición con moldes perdidos .....	126		Rasqueteado y marmoleado .....	157
	Fundición con modelos perdidos .....	128	3.5.6	Escariado .....	158
	Fundición en moldes permanentes .....	128		Proceso de escariado .....	158
	Proceso de fundición .....	129		Escariadores .....	159
	Defectos en la fundición .....	130	3.5.7	Tallado de roscas .....	159
	<b>Ejercicios .....</b>	130		Forma de las roscas .....	159
<b>3.3</b>	<b>Conformación .....</b>	<b>131</b>		Perfiles de las roscas .....	160
3.3.1	Conformación por fuerzas de tracción y compresión .....	131		Tallado de roscas interiores .....	161
	Conformación por compresión con rodillos .....	131		Tallado de roscas exteriores .....	162
	Conformación sin estampa (forja) .....	131		<b>Ejercicios .....</b>	162
	Conformación por compresión en estampa .....	133		Separación por seccionado .....	162
	Conformación por extrusión .....	134	<b>3.6</b>	<b>Corte por arranque de viruta con máquina .....</b>	163
	Conformación por estirado de deslizamiento y embutición profunda .....	135	3.6.1	Procesos de arranque de viruta .....	163
3.3.2	Conformación por momento flector .....	136		Subdivisión de las máquinas .....	163
	Procesos en el plegado .....	136		Procesos de arranque de viruta en máquinas-herramienta .....	164
	Procedimientos de conformación por plegado .....	137		Estructura y movimientos de trabajo de las máquinas-herramienta .....	165

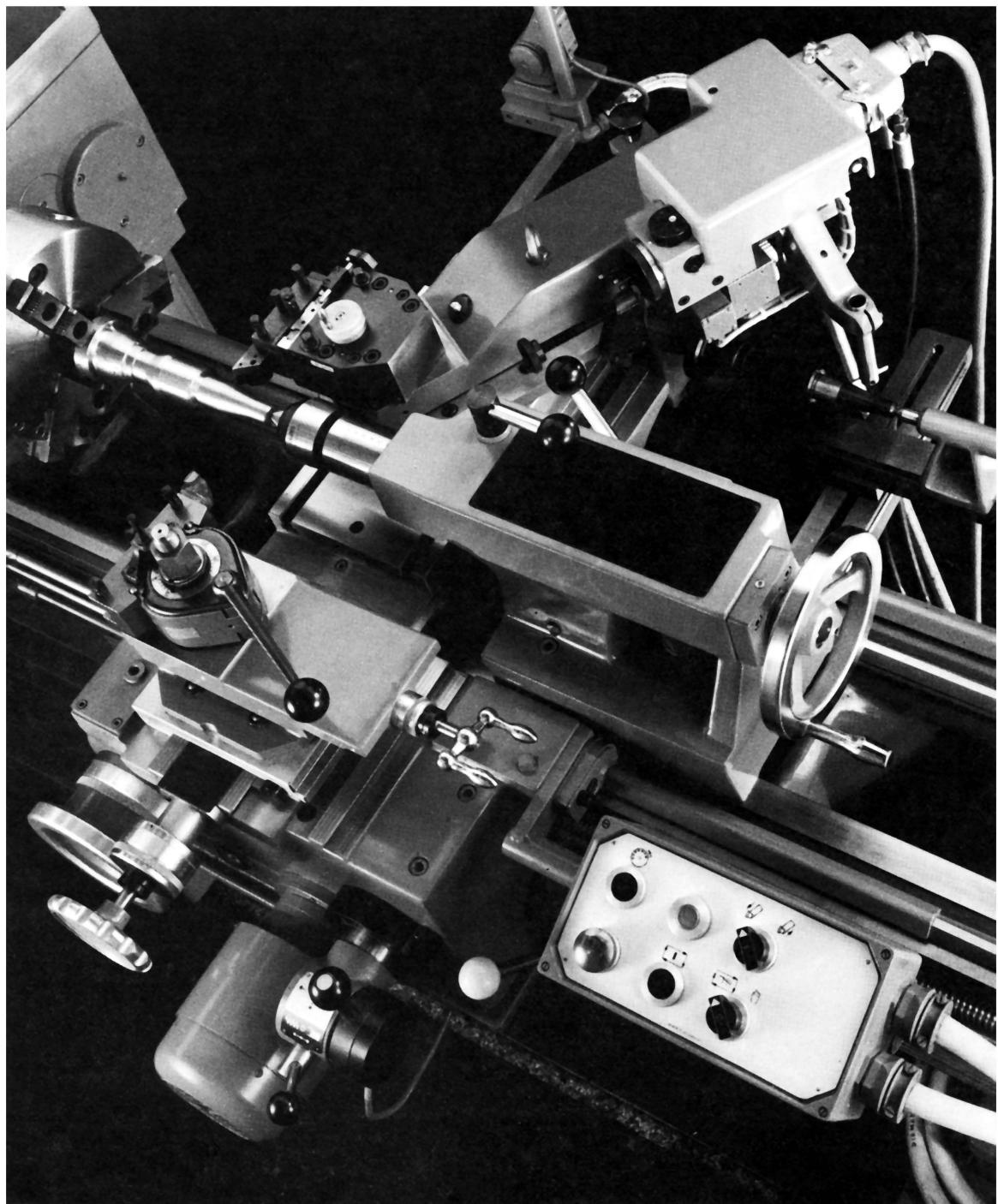
Herramientas de tornear .....	173	Subdivisión según los procedimientos de fabricación .....	239
Materiales de corte .....	175	Subdivisión según la desmontabilidad .....	239
Sujeción de las herramientas de tornear .....	176	Subdivisión según el tipo de cierre .....	239
Sujeción de las piezas .....	178	3.8.2 Uniones por tornillos .....	240
Velocidad de corte y número de revoluciones .....	180	Fuerzas activas .....	240
Trabajos de torneado .....	182	Autobloqueo de las roscas .....	241
Ejemplo de trabajo .....	183	Desgaste y profundidad de carga .....	241
Torneado cónico .....	185	Fabricación de roscas con máquina .....	242
Torneado de roscas .....	186	Dimensiones y tolerancia de las roscas .....	242
Ejemplo de trabajo .....	187	Verificación de las roscas .....	244
<b>Ejercicios</b> .....	189	Designación de los tornillos .....	245
<b>3.6.3 Fresado</b> .....	190	Designación de tuercas .....	246
Formación de viruta .....	190	Resistencia de los tornillos y tuercas .....	246
Fresas y valores de mecanizado .....	191	Uniones por tornillos con cuello de dilatación .....	247
Construcción de las fresadoras .....	193	Solicitaciones transversales de las uniones atornilladas .....	248
Sujeción de la herramienta y de la pieza a mecanizar .....	195	Seguros para tornillos .....	248
Procedimientos de división .....	196	Impermeabilización de las uniones roscadas .....	249
Afilado de las fresas .....	199	<b>Ejercicios</b> .....	250
Ejemplo de trabajo .....	200	<b>3.8.3 Uniones con pasadores</b> .....	252
<b>3.6.4 Taladrado, avellanado, escariado</b> .....	202	Pasadores cilíndricos .....	252
Procedimientos de trabajo .....	202	Pasadores cónicos .....	252
Herramientas para taladrar .....	202	Pasadores estriados .....	252
Proceso de arranque de viruta .....	204	Pasadores de tensión (casquillos de tensión) .....	252
Economía al taladrar .....	205	<b>3.8.4 Uniones enchavetadas</b> .....	253
Trabajos de taladrado .....	206	Fuerzas en las uniones enchavetadas .....	253
Avellanado .....	207	Tipos de chavetas .....	253
Escariado .....	207	<b>3.8.5 Uniones a presión</b> .....	254
Taladradoras .....	208	Uniones a presión con asiento cónico .....	254
Taladradora de coordenadas .....	208	Uniones a presión por contracción y dilatación .....	254
Mandrinadora fresadora horizontal .....	209	<b>3.9 Unión por composición</b> .....	255
Ejemplo de trabajo .....	210	<b>3.9.1 Uniones con bulones</b> .....	255
Proceso de trabajo y herramientas .....	212	Formas de los bulones .....	255
Estructura de las cepilladoras .....	213	Material de los bulones .....	255
Estructura de las mortajadoras .....	215	Montaje de los bulones .....	255
Forma de actuación de la mortajadora horizontal .....	216	Seguro de los bulones contra desplazamiento axial .....	255
Sujeción de las piezas .....	217	<b>3.9.2 Uniones por encaje (inserción)</b> .....	256
Ejemplo de trabajo .....	217	Uniones con chavetas de guía (chavetas paralelas) .....	256
<b>3.6.6 Brochado</b> .....	219	Uniones con lengüetas .....	256
Herramientas, formación de virutas, valores de trabajo .....	219	Uniones con ejes perfilados .....	256
Brochadoras .....	220	Fabricación de chaveteros .....	257
<b>Ejercicios</b> .....	221	Verificación de chaveteros .....	257
<b>3.6.7 Rectificado</b> .....	222	<b>Ejercicios</b> .....	258
Arranque de viruta con filo indeterminado geométricamente .....	222	<b>3.10 Unión por conformación</b> .....	259
Sujeción del cuerpo rectificador .....	224	<b>3.10.1 Uniones remachadas</b> .....	259
Rectificadoras .....	226	Fundamentos .....	259
Ejemplo de trabajo .....	229	Fabricación de uniones remachadas .....	259
<b>3.6.8 Bruñido</b> .....	230	Solicitudes de las uniones remachadas .....	260
Superacabado y lapeado .....	231	Materiales para los remaches .....	260
<b>3.6.9 Lapeado</b> .....	231	Tipos de uniones remachadas .....	260
<b>3.7 Separación por erosión</b> .....	232	Remaches especiales .....	260
<b>3.7.1 Erosión térmica</b> .....	234	Defectos en el remachado .....	261
Erosión térmica por gas .....	234	<b>3.10.2 Uniones de chapas</b> .....	261
Erosión térmica por chispa eléctrica (electroerosión) .....	234	<b>3.11 Unión con pegamentos (adhesivos)</b> .....	262
<b>3.7.2 Erosión electroquímica</b> .....	235	<b>3.11.1 Uniones pegadas</b> .....	262
<b>Ejercicios</b> .....	237	Aplicación del pegado .....	262
<b>3.8 Unión por apriete y por introducción a presión</b> .....	238	Forma de actuación del pegamento .....	263
<b>3.8.1 Procedimientos de unión</b> .....	238	Superficies y adherencia .....	263
		Tipos de pegamento .....	263

Forma de las uniones pegadas . . . . .	264	4.1.3	Control hidráulico . . . . .	309
Modo de hacer y deshacer una unión pegada . . . . .	264		Fundamentos . . . . .	309
<b>3.12 Unión por soldadura blanda y fuerte . . . . .</b>	<b>265</b>		Principio del desplazamiento volumétrico en las bombas . . . . .	311
3.12.1 Fundamentos . . . . .	265		Bombas hidráulicas . . . . .	313
Proceso de la soldadura blanda y fuerte . . . . .	265		Equipo de accionamiento . . . . .	315
Condiciones para una buena soldadura blanda y fuerte . . . . .	266		Regulación del caudal . . . . .	316
3.12.2 Materiales para soldadura blanda y fuerte . . . . .	266		Cilindros . . . . .	317
Fundentes . . . . .	266		Válvulas direccionales . . . . .	318
Metales de aportación para soldadura blanda y fuerte . . . . .	267		Retención/aceite hidráulico . . . . .	320
3.12.3 Procedimientos de soldadura . . . . .	267		Válvulas de cierre . . . . .	321
Subdivisión de los procedimientos de soldadura . . . . .	268		Esquema de conexiones . . . . .	323
Trabajos de soldadura blanda y fuerte . . . . .	268		Tuberías . . . . .	325
<b>3.13 Unión por soldadura . . . . .</b>	<b>270</b>		Racorería . . . . .	326
3.13.1 Fundamentos . . . . .	270		Montaje de tuberías . . . . .	327
Subdivisión de los métodos de soldadura . . . . .	270		Ejemplos de conexiones . . . . .	328
Transformación del material . . . . .	271	4.1.4	Comparación entre neumática e hidráulica . . . . .	331
3.13.2 Soldadura por fusión . . . . .	272		Generación del aire a presión . . . . .	333
Soldadura por fusión a gas (soldadura a gas) . . . . .	272		Componentes . . . . .	334
Soldadura por fusión con arcos (soldadura de arco voltaico) . . . . .	275		Elementos de control . . . . .	334
3.13.3 Soldadura a presión . . . . .	279		<b>Ejercicios . . . . .</b>	<b>339</b>
Soldadura por resistencia . . . . .	280			
3.13.4 Soldadura de plásticos . . . . .	281	<b>5 Técnica de montaje . . . . .</b>	<b>341</b>	
Soldadura por elementos calefactores . . . . .	281	5.1	Tolerancias y ajustes . . . . .	341
Soldadura por gas caliente . . . . .	281	5.1.1	Tolerancias . . . . .	341
Soldadura por ultrasonidos . . . . .	281	5.1.2	Tolerancias ISO . . . . .	341
Soldadura por fricción . . . . .	281		Ajustes . . . . .	343
Soldadura por alta frecuencia . . . . .	281		Tipos de ajuste . . . . .	343
3.13.5 Prevención de accidentes . . . . .	282		Sistemas de ajuste . . . . .	344
Precauciones en la soldadura por fusión a gas . . . . .	282		Elección de ajuste . . . . .	345
Precauciones en la soldadura al arco . . . . .	282		Unión de elementos a presión . . . . .	346
<b>Ejercicios . . . . .</b>	<b>283</b>	5.2	<b>Superficies técnicas . . . . .</b>	<b>347</b>
<b>3.14 Modificación de las propiedades de los materiales . . . . .</b>	<b>284</b>	5.2.1	Forma de la superficie . . . . .	347
3.14.1 Procedimientos de tratamiento térmico . . . . .	284	5.2.2	Errores de las superficies . . . . .	347
Modificación de la textura del acero por calentamiento . . . . .	284		Metrología . . . . .	348
Temple . . . . .	286		Cotas de superficie y rugosidad . . . . .	348
Recocido del acero . . . . .	288		Procedimientos de verificación y medición . . . . .	349
Bonificado del acero . . . . .	288		<b>Ejercicios . . . . .</b>	<b>352</b>
Tratamiento térmico de los metales ligeros . . . . .	288	5.3	<b>Piezas de máquinas . . . . .</b>	<b>353</b>
Temple en capas de una pieza . . . . .	289	5.3.1	Ejes, árboles, espigas . . . . .	353
<b>Ejercicios . . . . .</b>	<b>291</b>	5.3.2	Ejes y árboles . . . . .	353
<b>4 Técnica de control . . . . .</b>	<b>293</b>		Espigas (gorrones, etc.) . . . . .	354
4.1 Automatización de la fabricación . . . . .	293	5.3.3	Cojinetes de fricción . . . . .	354
4.1.1 Control y regulación . . . . .	293		Rozamiento y engrase . . . . .	354
Generalidades . . . . .	293		Clases de cojinetes . . . . .	355
Tipos de control . . . . .	293		Materiales de los cojinetes . . . . .	356
Control por guía . . . . .	295		Conducción del lubricante . . . . .	356
Control por programa . . . . .	296		Montaje y mantenimiento . . . . .	357
4.1.2 Control numérico . . . . .	299	5.3.4	Rodamientos . . . . .	358
Control NC . . . . .	299		Fundamentos . . . . .	358
Control CNC . . . . .	304		Fijación de los rodamientos . . . . .	359
Rentabilidad de los controles numéricos . . . . .	306	5.3.5	Montaje y desmontaje de los rodamientos . . . . .	360
<b>Ejercicios . . . . .</b>	<b>308</b>		Juntas de piezas de máquina redondas . . . . .	361
		5.3.6	Acoplamientos . . . . .	362
			Fundamentos . . . . .	362
			Clases de acoplamientos . . . . .	363
			<b>Ejercicios . . . . .</b>	<b>367</b>
			Ruedas dentadas . . . . .	367
			Forma de los dientes . . . . .	367

<b>5.3.7</b>	Fabricación del dentado .....	369	Conexión de resistencias eléctricas .....	391
	Emparejamiento de ruedas .....	370	Clases de corriente .....	392
	Emparejamiento de ruedas dentadas .....	370	Fusibles en los circuitos eléctricos .....	393
	Pares de ruedas cilíndricas .....	370	6.1.3 Transformación de la energía eléctrica .....	393
	Pares de ruedas cónicas .....	371	Energía y trabajo .....	393
	Engranaje sin fin .....	372	Potencia eléctrica .....	394
<b>5.3.8</b>	Engranajes .....	373	Rendimiento .....	395
	Engranajes de ruedas dentadas escalonados .....	373	Efectos caloríficos .....	396
	Escalonamiento de los engranajes .....	374	Efectos químicos .....	396
	Diagramas de cambios de velocidades .....	375	Efectos magnéticos .....	397
<b>5.3.9</b>	Transmisiones .....	376	Fuerzas de un imán .....	398
	Transmisión por cadena .....	376	<b>6.2 Máquinas eléctricas, transformadores .....</b>	398
	Transmisión por correa .....	377	<b>6.2.1 Generadores eléctricos .....</b>	398
	Accionamientos por rueda de fricción .....	380	Generación de una tensión alterna .....	398
<b>5.3.10</b>	Variadores de velocidad sin escalones .....	381	Generadores de corriente alterna .....	398
	Variación continua del número de revoluciones .....	381	<b>6.2.2 Motores eléctricos .....</b>	399
	Variadores de velocidad mecánicos .....	381	Principio de los motores .....	399
<b>5.3.11</b>	Equilibrado .....	383	Motor de corriente continua en derivación .....	399
	Acción de la fuerza centrífuga .....	383	Motores de corriente trifásica .....	400
	Desequilibrio estático .....	384	<b>6.2.3 Transformadores .....</b>	400
	Desequilibrio dinámico .....	384	Motores de corriente alterna monofásica .....	400
	<b>Ejercicios .....</b>	385	Principio del transformador .....	400
<b>6</b>	<b>Electrotecnia .....</b>	387	<b>6.3 Seguridad de los aparatos eléctricos .....</b>	401
<b>6.1</b>	<b>La electricidad como forma de energía .....</b>	387	<b>6.3.1 Riegos de accidente .....</b>	401
<b>6.1.1</b>	El circuito eléctrico .....	387	Efectos de la corriente en el cuerpo humano .....	401
	Percepción de la energía eléctrica .....	387	Primeros auxilios .....	402
	Tensión eléctrica .....	388	<b>6.3.2 Medidas de protección .....</b>	402
	Corriente eléctrica .....	388	Medidas de protección sin conductor de protección .....	402
<b>6.1.2</b>	Leyes fundamentales del circuito eléctrico .....	389	Medidas de protección con conductor de protección .....	403
	Medición de la tensión y la corriente .....	389	Conexión de aparatos eléctricos .....	403
	Resistencia eléctrica .....	389	<b>Ejercicios .....</b>	403
	Requisitos a cumplir por los conductores .....	390	<b>Índice alfabético .....</b>	405
	La corriente en función de la tensión y la resistencia .....	391		

# TECNOLOGÍA

---





# 1 Verificación de longitudes

## 1.1 Fundamentos

### 1.1.1 Magnitudes, unidades, símbolos

Verificar es comprobar que el material y la pieza cumplen las condiciones prescritas.

Verificar es comparar la forma, tamaño, color, estado superficial, resistencia, resistencia al calor, masa, etc., deseados, con los obtenidos realmente.

## MAGNITUDES FÍSICAS Y UNIDADES

Una actividad importante de la verificación es la medición. Se llaman propiedades medibles las magnitudes físicas, p. ej. longitud, tiempo, velocidad, masa y fuerza.

Las magnitudes físicas se caracterizan por símbolos, así la masa es  $m$ , el tiempo  $t$ , la longitud  $l$ . En los textos impresos las letras aparecen en cursiva.

Las magnitudes físicas están determinadas por unidades. Para comparar longitudes entre sí, su diferencia se da en metros. Las unidades se caracterizan también por símbolos que, sin embargo, no se escriben en cursiva.

El Sistema Internacional de Unidades (SI) puede reducirse a siete unidades fundamentales para las magnitudes que suelen medirse en las industrias (figura 1-2).

#### Ejemplos:

1. Longitud de una pieza:  $l=2000 \text{ mm}=200 \text{ cm}=20 \text{ dm}=2 \text{ m}$
2. Masa de un cuerpo:  $m=4000 \text{ g}=4 \text{ kg}=0,004 \text{ Mg}$
3. Tiempo:  $t=3600 \text{ s}=60 \text{ min}=1 \text{ h}$
4. Intensidad de un consumidor de corriente:  $I=200 \text{ mA}=0,2 \text{ A}$
5. Temperatura:  $T=293 \text{ K}$
6. Cantidad de substancia de 44 g de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ):  $n(\text{CO}_2)=2 \text{ mol}$
7. Intensidad luminosa de una lámpara de incandescencia:  $I_v=200 \text{ cd}$

Todas las demás magnitudes físicas pueden formarse partiendo de las unidades fundamentales.

8. Superficie = longitud por anchura  $A=2 \text{ m} \cdot 3 \text{ m}=6 \text{ m}^2$
9. Volumen = longitud por anchura por altura  $V=0,5 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 0,1 \text{ m}=0,01 \text{ m}^3$
10. Velocidad =  $\frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}}$   $v=\frac{20 \text{ m}}{4 \text{ s}}=5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

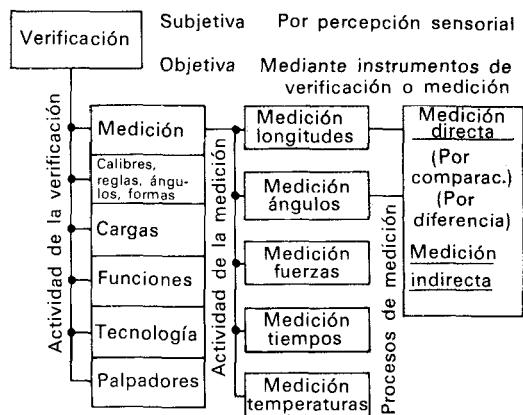


Figura 1-1. Sistematización de los conceptos de la técnica de medición.

Magnitud fundamental Nombre	Símbolo	Unidad fundamental Nombre	Símbolos Nombre
Longitud	$l$	Metro	$\text{m}$
Masa	$m$	Kilo-gramo	$\text{kg}$
Tiempo	$t$	Segundo	$\text{s}$
Intensidad de corriente eléctrica	$I$	Ampere	$\text{A}$
Temperatura termodinámica	$T; \theta$	Kelvin	$\text{K}$
Cantidad de substancia	$n; v$	Mol	$\text{mol}$
Intensidad luminosa	$I_v$	Candela	$\text{cd}$

Figura 1-2. Magnitudes fundamentales y unidades fundamentales.

## MÚLTIPLOS Y SUBMÚLTIPLOS DE LAS UNIDADES

### Múltiplos:

Prefijo	Símbolo antepuesto	Potencia de 10 para	
Tera	T	$10^{12}$	Billones
Giga	G	$10^9$	Miles de millones
Mega	M	$10^6$	Millones
Kilo	k	$10^3$	Miles
Hecto	h	$10^2$	Centenas
Deca	da	10	Decenas

Se forman con prefijos colocados delante del nombre de la unidad y símbolos antepuestos al de aquélla.

### Submúltiplos:

Prefijo	Símbolo antepuesto	Potencia de 10 para	
Deci	d	$10^{-1}$	Décima
Centi	c	$10^{-2}$	Centésima
Mili	m	$10^{-3}$	Milésima
Micro	μ	$10^{-6}$	Millonésima
Nano	n	$10^{-9}$	Mil millonésima
Pico	p	$10^{-12}$	Billonésima

## DEFINICIONES DE LAS UNIDADES FUNDAMENTALES

1 metro es 1 650 763,75 veces la longitud de onda propagada en el vacío de la radiación emitida por el núcleo de Kr<sup>86</sup> al pasar del estado 5d<sub>5</sub> al estado 2p<sub>10</sub> (11.<sup>a</sup> Conferencia General de Pesas y Medidas, 1960).

1 kilogramo es la masa del kilogramo patrón internacional (1.<sup>a</sup> Conferencia General de Pesas y Medidas, 1889).

1 segundo es la duración de 9 192 631 770 períodos de la radiación correspondiente a la transición entre los dos niveles de la estructura hiperfina del estado fundamental del átomo de cesio Cs<sup>133</sup> (13.<sup>a</sup> Conferencia de Pesas y Medidas, 1967).

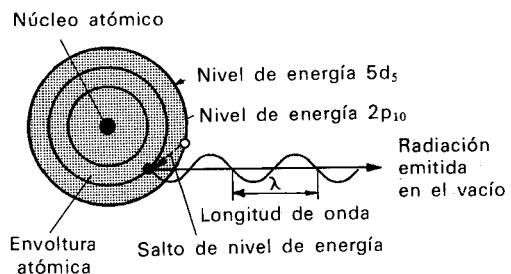


Figura 1-3. Unidad fundamental de longitud.

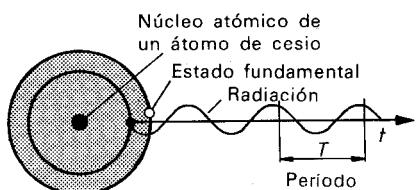


Figura 1-4. Unidad fundamental de tiempo.

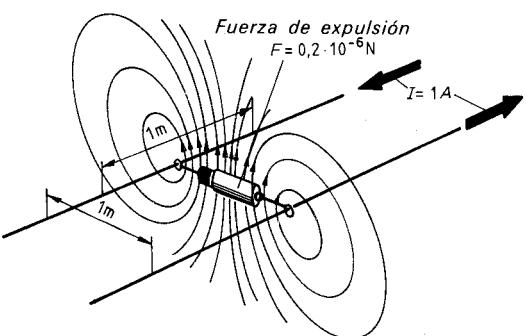


Figura 1-6. Unidad fundamental de intensidad eléctrica.

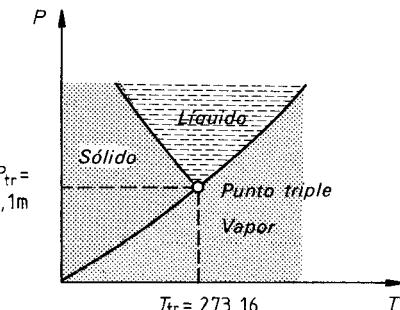


Figura 1-5. Unidad fundamental de temperatura.

1 Kelvin es la 273,16<sup>ta</sup> parte de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (13.<sup>a</sup> Conferencia General de Pesas y Medidas, 1967).

1 candela es la intensidad luminosa con la que luce la superficie (1/600 000)m<sup>2</sup> de un emisor negro a la temperatura de solidificación del platino, a una presión de 101 325 N/m<sup>2</sup> perpendicular a la misma (13.<sup>a</sup> Conferencia General de Pesas y Medidas, 1967).

1 mol es la cantidad de substancia de un sistema compuesto por tantas partículas como átomos existen en 12/1 000 kilogramos de carbono.

El número de gramos de substancia igual a la suma de protones y neutrones, es 1 mol de dicha substancia.

$$\text{H}_2\text{O}:18; \quad 1 \text{ mol H}_2\text{O}=18 \text{ g.}$$

1 ampere es la intensidad de una corriente eléctrica instantáneamente invariable que fluye por dos conductores rectos infinitamente largos situados en el vacío y paralelos entre sí separados 1 m, de sección circular infinitamente pequeña, despreciable, que genera en cada conductor por metro de longitud, una fuerza de  $0,2 \cdot 10^{-6}$  N (9.<sup>a</sup> Conferencia General de Pesas y Medidas, 1948).

## UNIDADES DE LONGITUD

La unidad fundamental de longitud es el metro. Además del metro se emplea también en algunos países la yarda. Resulta: 1 yarda = 3 pies (3'); 1 pie = 12 pulgadas (12"). Para la conversión: 1" (1 pulgada) = 25,400 mm.

Los dispositivos de medición de longitudes indican el valor de la medición como submúltiplo o múltiplo de la unidad básica metro.

### Submúltiplos de la unidad fundamental metro

metro, decímetro, centímetro, milímetro, micrómetro, nanómetro  
 $1\text{ m} = 10^1\text{ dm} = 10^2\text{ cm} = 10^3\text{ mm} = 10^6\text{ }\mu\text{m} = 10^9\text{ nm}$

**Ejemplo:** Valor de la medición =  $400\text{ }\mu\text{m} = 0,4\text{ mm} = 0,04\text{ cm} = 0,004\text{ dm} = 0,0004\text{ m}$

### Múltiplos de la unidad fundamental metro

metro, decámetro, hectómetro, kilómetro, megámetro  
 $10^6\text{ m} = 10^5\text{ dam} = 10^4\text{ hm} = 10^3\text{ km} = 1\text{ Mm}$

**Ejemplo:** Valor de la medición =  $0,2\text{ km} = 2\text{ hm} = 20\text{ dam} = 200\text{ m}$

### 1.1.2 Resumen de los medios de verificación

## INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y CALIBRES

Los medios de verificación necesarios para verificar una pieza son, de acuerdo con DIN 2257, los instrumentos de medición y los calibres.

Los instrumentos de medición son elementos tales como las reglas graduadas o las galgas, o dispositivos indicadores como el pie de rey, el tornillo micrométrico y el reloj comparador.

Los calibres se refieren a la cota o a la forma de la pieza a verificar, o a ambas, p. ej., el calibre de forma, el calibre de cotas y el calibre de tolerancias.

Los medios auxiliares son necesarios como elementos de fijación y de transmisión, y ayudan a utilizar instrumentos de medición, como p. ej., soportes, palancas, prismas y topes.

#### Medios de verificación (DIN 2257)

##### Instrumentos de medición

###### Patrones



Objeto a verificar

###### Instrumentos de medición indicadores

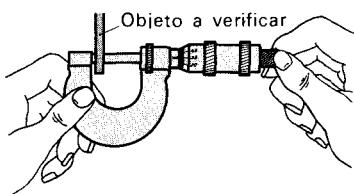


Figura 1-11. Tornillo micrométrico (graduación 1/100 mm)

##### Calibres

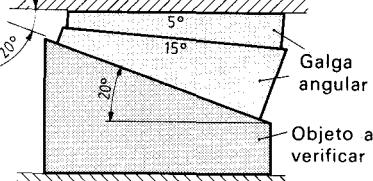


Figura 1-9. Galgas angulares.

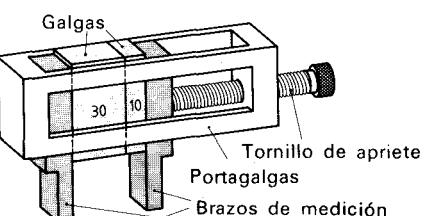


Figura 1-8. Galgas paralelas (montaje de un calibre normal con galgas).

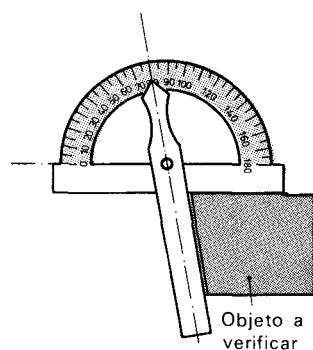


Figura 1-12. Transportador de ángulos (graduación 5°)

Figura 1-10. Pie de rey (valor normal de la escala 1/10. . . 1/50 mm).

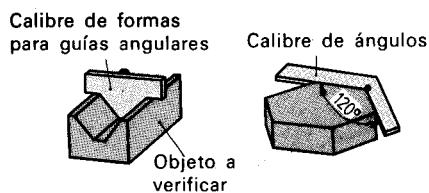


Figura 1-13. Calibres de forma.

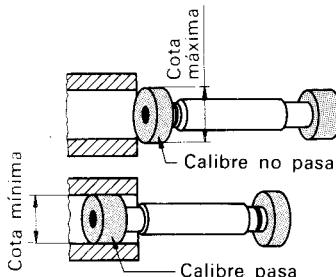


Figura 1-14. Calibre pasa-no pasa.  
El calibre con la cota mínima debe pasar por el taladro.  
El calibre con la cota máxima no debe pasar por el taladro

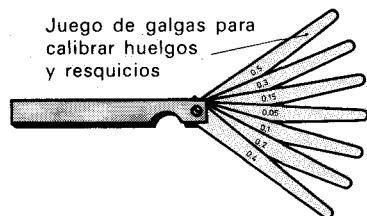


Figura 1-15. Calibres

Medida	=	Valor numérico	Unidad
$t$	=	12	m
Símbolo para la magnitud física «longitud»		Valor numérico	Unidad de longitud

Figura 1-16. Indicación de una medida.

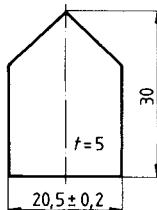


Figura 1-17.  
Plano de la pieza.

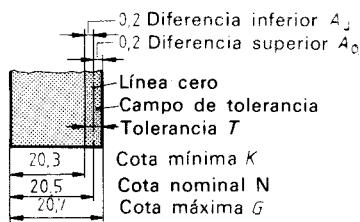


Figura 1-18. Definiciones de las cotas.

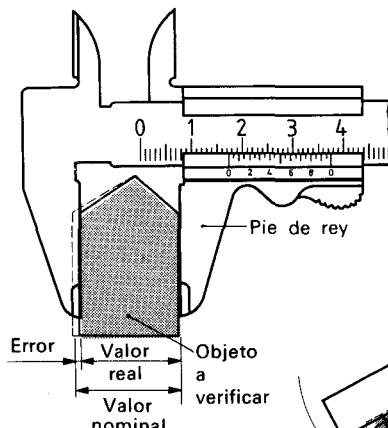


Figura 1-19. Proceso de medición (medición con el pie de rey)

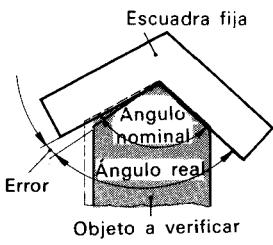


Figura 1-20. Proceso de calibrado (calibrado con escuadra)

### 1.1.3 Actividades de verificación

#### DIFERENCIA ENTRE MEDICIÓN Y CALIBRADO

Las actividades de la verificación de longitudes son la medición y el calibrado.

En fabricación, la medición es la comparación numérica de la longitud a medir con un elemento de medición. El resultado es la medida real.

Mediante el calibrado se determina si la longitud, el ángulo o la forma de un objeto está dentro de los límites prescritos o en qué sentido se superponen.

Se verifica al recibir la pieza o las herramientas (verificación de recepción), durante la fabricación (verificación de fabricación) y al acabar la pieza (verificación final).

#### PROCESO DE MEDICIÓN

La magnitud a medir, p. ej., longitud, ángulo, masa o peso de una pieza, se compara con la correspondiente magnitud fundamental.

Para la longitud es 1 metro, para los ángulos 1 grado, para las masas 1 kilogramo y para las fuerzas 1 newton.

El valor de la medición se determina con una o varias indicaciones de un instrumento de medida, p. ej., la regla graduada, el pie de rey, el transportador, la balanza y el dinamómetro. Se indica con el valor numérico y la unidad.

#### Ejemplo de proceso de medición

Hay que medir la distancia entre las aristas paralelas de una pieza. El dato del plano técnico se llama **valor nominal**. En fabricación no puede conseguirse nunca el valor nominal, por lo que se fijan dos **valores límite** (valores teóricos), entre los que debe encontrarse el valor medido (valor real), para que la pieza sea utilizable.

El mayor valor posible es el **valor máximo**, y el más pequeño posible el **valor mínimo**. La diferencia entre los valores máximo y mínimo se llama **tolerancia**.

El valor nominal del plano es 20,5 mm. Como valor teórico se admite  $20,5 \pm 0,2$  mm. El valor real de la pieza elaborada no debe ser por tanto mayor que el límite superior de 20,7 mm, ni menor que el

límite inferior de 20,3mm. La tolerancia admitida resulta por tanto igual a 20,7 mm – 20,3 mm, o sea 0,4 mm.

Existe un error de fabricación cuando el valor real medido no está dentro de las cotas límite (tolerancia admitida).

#### Ejemplo:

Como resultado real se han medido 20 mm. La cota mínima es 20,3 mm. Error = valor real – valor teórico

$$\text{Error} = 20 \text{ mm} - 20,3 \text{ mm} = -0,3 \text{ mm.}$$

## PROCESO DE CALIBRADO

**Calibrar** es comparar un objeto con un elemento de medida o de forma, el calibre. Se determina si entre la pieza y el calibre existe una desviación, pero no se puede valorar la diferencia.

Si hay que determinar si el valor real de una medición está dentro de la tolerancia prescrita, se utiliza un calibre doble (calibre de tolerancias). En este caso un lado representa la cota máxima y el otro la mínima.

### 1.1.4 Conceptos de metrología

Los elementos característicos de los instrumentos de medición son los indicadores, las escalas graduadas, la subdivisión, el valor de la escala y el intervalo de medición.

Como procedimiento de medición se distingue entre medición directa y medición indirecta.

## ELEMENTOS CARACTERÍSTICOS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

Por **indicación** se entiende la posición de un índice o aguja sobre una escala graduada.

Una **escala graduada** es la sucesión de un número de rayas sobre un soporte. El **intervalo entre rayas divisoras** es la unidad de longitud de la escala.

Por **subdivisión de la escala** se entiende la unidad numérica indicada, sin indicación de la clase de unidad, p. ej., ocho subdivisiones de la escala.

Por **valor mínimo de la escala** se entiende la variación de la magnitud de medición que produce en la escala graduada el desplazamiento de la aguja o índice en una subdivisión de aquélla, p. ej., valor de la escala = 0,1 mm.

El **intervalo de indicación** es el campo de los valores de medición que pueden leerse en un instrumento de medición. El **intervalo de medición** es la parte del intervalo de indicación en el cual está comprendido el límite de error estipulado.

La medida es el valor determinado por el indicador del instrumento de medición. Resulta de multiplicar la indicación por el valor de la escala.

## PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN DIRECTOS

En la medición directa o **absoluta**, el valor de medición de una magnitud buscado se indica inmediatamente en el instrumento de medi-

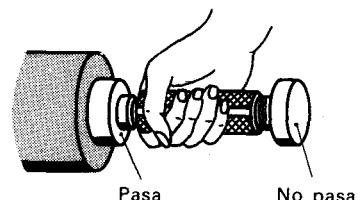


Figura 1-21. Calibre pasa-no pasa

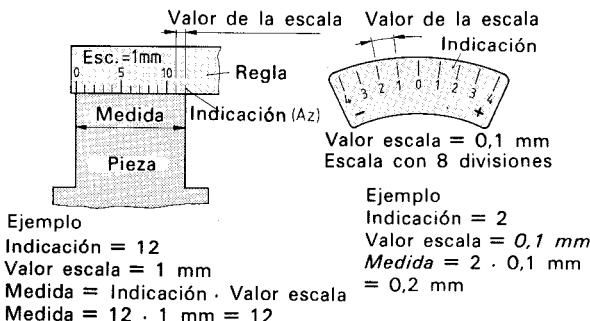


Figura 1-22. Magnitudes características de los instrumentos.

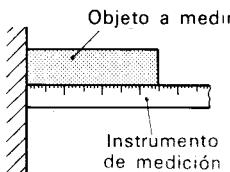


Figura 1-23. Medición directa (regla graduada)

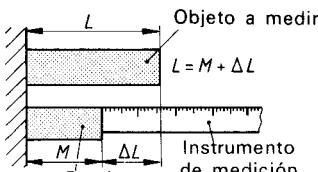


Figura 1-24. Medición por diferencia (regla graduada)

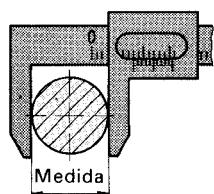


Figura 1-25. Medición directa (pie de rey)

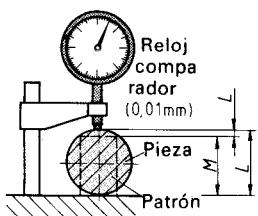


Figura 1-26. Medición por diferencia (reloj comparador)

Inseguridad del resultado de la medición por error (Tolerancia admitida 1/5. . .1/10)

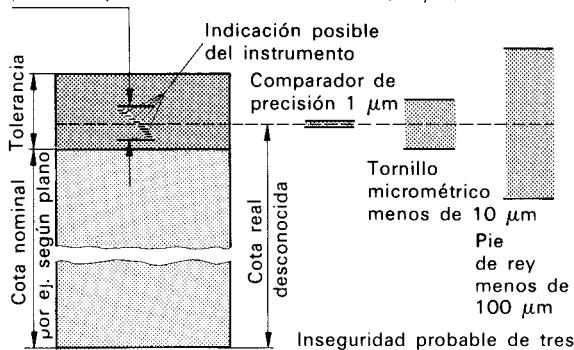


Figura 1-27. Inseguridad en la medición.

ción. La magnitud se compara con un elemento patrón (escala) perteneciente al instrumento. El principio de medición se llama también por esta razón medición de comparación. Ejemplos: regla graduada, pie de rey y tornillo micrométrico.

En la medición indirecta o relativa, denominada también medición de diferencia, en el instrumento de medición se compara solamente la diferencia de la magnitud con el elemento patrón (calibre de ajuste, galgas paralelas). El instrumento de medición se ajusta en primer lugar al valor nominal con un elemento patrón. Si a continuación se efectúa una medición, se indica la diferencia de longitud entre la pieza y el elemento patrón. Ejemplos: el reloj comparador y el comparador de precisión.

Ejemplo:

La cota nominal del elemento patrón es  $M = 20,2$  mm; la diferencia de longitudes entre el objeto y el elemento patrón es  $\Delta L = 0,05$  mm; la longitud verificada es  $L = M + \Delta L = 20,20$  mm + 0,05 mm = 20,25 mm.

## INSEGURIDAD DE LA MEDICIÓN

En un proceso de medición debe determinarse con la mayor exactitud posible la cota real (longitud). El resultado, el valor de medición, se desviará siempre de la cota real. Si se mide una pieza con los siguientes instrumentos: pie de rey, tornillo micrométrico, comparador de precisión y máquina de medir longitudes, cada medición demuestra que la anterior era inexacta, y que la siguiente se aproxima más a la cota real.

Conclusión: Todo resultado de una medición es inseguro.

En metrología, esta diferencia entre la cota real desconocida del objeto (pieza) y el valor determinado, se llama **inseguridad del resultado de la medición**. Los responsables de esta inseguridad son los errores de medición.

### 1.1.5 Errores de medición

Los errores de medición tienen su origen en la imperfección de los objetos de verificación, por ejemplo, la pieza en los elementos patrón, la escala en los mismos instrumentos de medición, juego en los cojinetes, etc., así como en la colocación del instrumento de medición y forma de manejarlo. Por otra parte también actúan las influencias externas tales como temperatura, polvo, humedad, presión atmosférica, así como la atención, la práctica, la agudeza visual, la capacidad de estimación y la concentración del que realiza la medición.

## LOS ERRORES APRECIABLES HACEN INCORRECTO EL RESULTADO DE LA MEDICIÓN

Errores de medición sistemáticos son aquellos que bajo las mismas condiciones tienen siempre la misma magnitud y por tanto pueden tenerse en cuenta. Así, p. ej., una variación en tamaño proporcional a la temperatura del objeto a verificar, cuando se verifica automáticamente mientras se torno o rectifica, puede tenerse en cuenta y eliminar el error del resultado mediante cálculo.

**Influencias del calor.** Debido a la dilatación por el calor, un cuerpo tiene diferentes longitudes a diferentes temperaturas. Por esta razón se fijó para la medición la temperatura de referencia de  $+20^{\circ}\text{C}$ . Para piezas de acero basta generalmente que el instrumento de medición y la pieza tengan la misma temperatura. Las piezas e instrumentos de medición deben protegerse contra las radiaciones solares, contra el calor de los radiadores, contra el calor de las manos, etc. Debe procurarse un equilibrio de temperatura.

**Errores debidos a las fuerzas.** Las superficies de medición del instrumento deben apretarse contra la pieza con una fuerza determinada. Si esta fuerza es excesiva, el instrumento se dobla y los puntos de contacto se aplastan.

**Errores del instrumento.** Errores del paso del husillo, errores de división de las escalas, etc., dan como resultado un error del instrumento de medición. Su magnitud puede calcularse mediante una serie de ensayos, p. ej., «error del instrumento =  $\pm 0,002 \text{ mm}$ ».

Un principio metrológico afirma: «la colocación debe hacerse siempre de forma que la distancia a medir sea la prolongación rectilínea de la graduación que sirve de escala». Por consiguiente, la pieza a medir y el elemento patrón deben alinearse uno detrás de otro.

La figura 1-29 muestra que con el pie de rey, a causa de la posible basculación de la corredera, puede producirse un error de medición, que es tanto más grande cuanto más hacia los extremos hagan contacto los brazos con la pieza. En el pie de rey no se sigue el principio metrológico anterior. En el tornillo micrométrico de estribo sí se cumple el principio.

**Puntos más favorables.** Cuando una pieza está apoyada en dos puntos, se produce sistemáticamente un error a causa de la flecha. La variación de longitud es mínima (muy pequeña), y puede despreciarse si el apoyo se hace en puntos determinados y se mide desde las superficies finales. Para piezas largas debe tenerse esto en cuenta, p. ej., con galgas paralelas y objetos largos.

## LOS ERRORES ACCIDENTALES HACEN INSEGURO EL RESULTADO DE LA MEDICIÓN

Los errores accidentales permanecen como inseguridad en el resultado de la medición. Repitiendo la medición (series de mediciones, p. ej., 20) puede determinarse un valor medio de la inseguridad y tenerse en cuenta en el resultado de la medición.

**Errores del instrumento.** El juego, desgaste y rozamiento de las piezas móviles.

**Error de lectura por paralaje.** Si las subdivisiones de la escala de un instrumento de medición no están en el mismo plano de la pieza, puede producirse un error de lectura si se mira lateralmente. Lo mismo ocurre con la distancia de una aguja a la escala.

**Error de posición.** Si la superficie de medición del instrumento está inclinada respecto a la superficie de la pieza, o se coloca la pieza de forma inclinada, se producen errores notables.

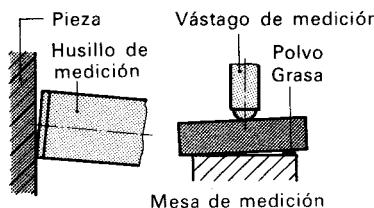


Figura 1-33. Error de posición.

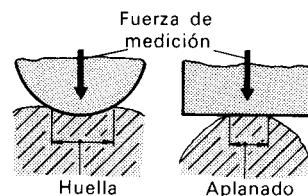


Figura 1-28. Error debido a las fuerzas.

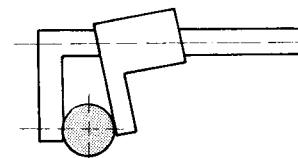


Figura 1-29. El principio metrológico no se cumple en el pie de rey.

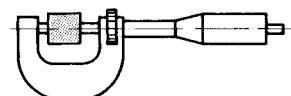


Figura 1-30. El principio metrológico se cumple en el tornillo micrométrico.

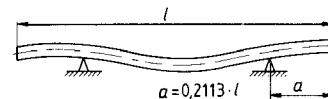


Figura 1-31. Posición con pocos errores de medición, para patrones en forma de barra y objetos a verificar.

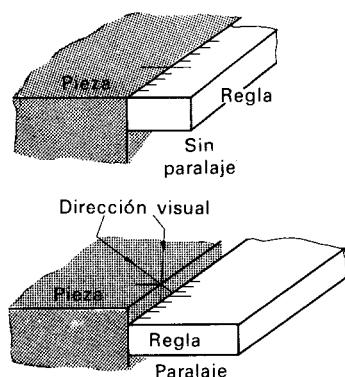


Figura 1-32. Error de paralaje.

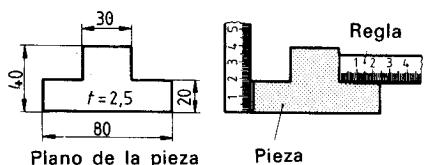


Figura 1-34. Medición directa con regla.

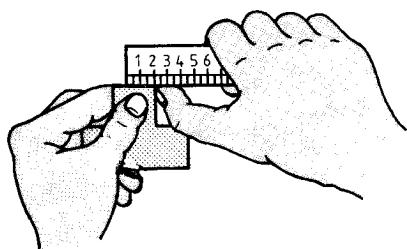


Figura 1-35. Regla graduada.

De esta forma se mide con la regla graduada. Mirar perpendicularmente a la regla.

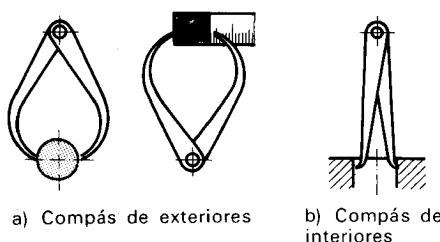


Figura 1-36. Medición indirecta con el compás.

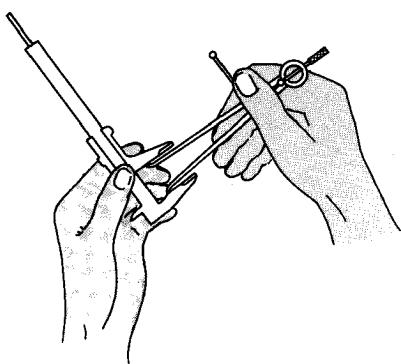


Figura 1-37. Ajuste de la medida.

## 1.2 Medios para la verificación de longitudes

### 1.2.1 Verificación con elementos de medición

#### MEDICIÓN DE LONGITUDES CON LA REGLA GRADUADA

Los elementos patrones representan submúltiplos o múltiplos de la unidad de longitud, o sea el metro.

Los instrumentos de medición con escalas graduadas tienen una subdivisión continua con distancias mínimas entre marcas, de un milímetro entre cada una. El medio milímetro puede medirse únicamente con gran inexactitud, ya que la capacidad del ojo para distinguir entre dos graduaciones es limitada. Las partes de milímetro deben por tanto estimarse.

Las escalas graduadas materializan la medida o cota por la distancia entre dos subdivisiones.

En el taller se emplean reglas metálicas de 100 mm de longitud, 300 y 500, así como cintas métricas de acero y flexómetros. Para comprobar elementos patrones se utilizan reglas de verificación.

En la medición directa se compara directamente la longitud de la pieza con la escala graduada de la regla. En las aristas vivas la inseguridad de medición es de unos 0,2 mm.

En la medición indirecta, la medida se determina manteniendo la pieza dentro de un elemento de medición auxiliar, p. ej., el compás de exteriores o el compás de interiores.

#### MEDICIÓN DIRECTA CON EL COMPÁS

Se emplean dos procedimientos diferentes:

1. En la pieza se toma la medida por medio del compás, por ejemplo el diámetro de un eje con el compás de exteriores, y la medida tomada se lee luego en la escala de la regla graduada o del pie de rey.
2. La medida deseada se ajusta en el compás por medio del pie de rey o la regla, comparándola con la pieza a lo largo de la fabricación. En el compás de interiores con muelle puede fijarse la medida ajustada por medio de un tornillo. Aunque se desplace una punta del compás se mantiene en todo momento la medida ajustada sin mover el tornillo de fijación.

#### Aplicaciones y fuentes de error

El compás se ajusta a mano aproximadamente a la medida. El ajuste fino se hace, en los compases sencillos, dando ligeros golpecitos con una de las puntas sobre una base de madera. No debe golpearse nunca en la superficie de apoyo.

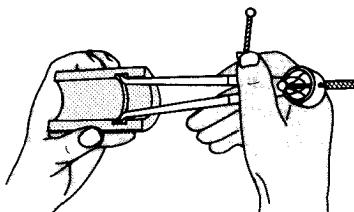


Figura 1-38. Comparación de la pieza con la medida.

Para medir taladros se emplean compases con superficies de contacto planas (no bombeadas).

En los compases con muelle el ajuste se hace con el tornillo de fijación.

Los compases deben tratarse con cuidado y protegerse de la humedad, sudor de las manos y golpes fuertes.

Las puntas deben poderse desplazar uniformemente aplicando una pequeña fuerza pero nunca tan flojas que se muevan por su propio peso.

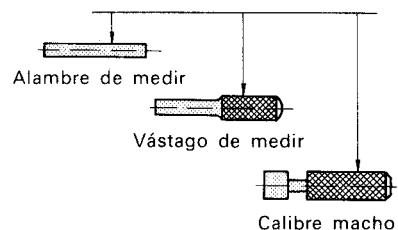


Figura 1-39. Galgas cilíndricas.

## MEDICIÓN DE LONGITUDES CON GALGAS

Las galgas materializan la medida o cota por la distancia o la posición entre dos superficies.

En las galgas cilíndricas, la cota materializada es el diámetro del cilindro. Los alambres de medición se emplean para medir roscas. Los vástagos y calibres machos se emplean para calibrar taladros. De esta forma es posible verificar no sólo el diámetro del taladro sino también las desviaciones de la forma girando la galga.

Las galgas paralelas materializan la medida o cota por la distancia entre dos superficies planas.

La galga es un bloque prismático de acero, metal duro o cuarzo, que materializa una medida o cota única. Las galgas paralelas tienen un espesor uniforme de 9 mm.

Las superficies de medición son planas y lapeadas, de tal forma que dos galgas se adhieren entre sí como consecuencia de la adhesión al hacer deslizar una sobre otra. Una medida determinada puede formarse acoplando un bloque de varias galgas. Al colocarlas debe tenerse en cuenta que las galgas grandes deben quedar en el exterior y las pequeñas entre aquéllas. Las galgas de acero no deben mantenerse mucho tiempo adheridas, ya que sueldan en frío. La separación debe realizarse mediante un deslizamiento suave. Como protección contra el desgaste, las superficies de medida de las galgas de acero son de cromo duro o están revestidas de metal duro.

Tratamiento de las galgas paralelas. Antes de montar las galgas se limpian con algodón y gasolina, y en caso necesario se quita el polvo e hilos con un pincel de pelo. Las galgas deben protegerse del calor y sudor de las manos. Despues de utilizarlas se limpian, se engrasan ligeramente y se guardan formando juegos.

### Juego de galgas

Con un juego lógico de galgas pueden formarse todas las longitudes comprendidas entre unos valores mínimo y máximo.

Serie de medidas	Número de bloques	Tamaño	Escalonamiento de bloque a bloque
1	9	1,001 ... 1,009	0,001 mm
2	9	1,01 ... 1,09	0,01 mm
3	9	1,1 ... 1,9	0,1 mm
4	9	1 ... 9	1 mm
5	9	10 ... 90	10 mm

Un juego de galgas consta de un número mínimo de bloques.

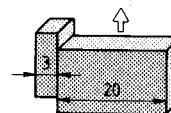


Figura 1-40.  
Ensamblaje de galgas.

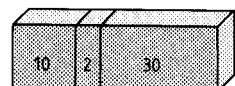


Figura 1-41.  
Juego de galgas.

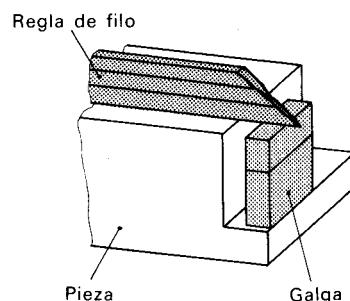


Figura 1-42. Transmisión de la medida por palpado.

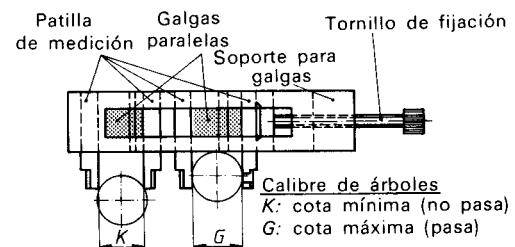


Figura 1-43. Soporte de galgas usado como calibre de tolerancias.

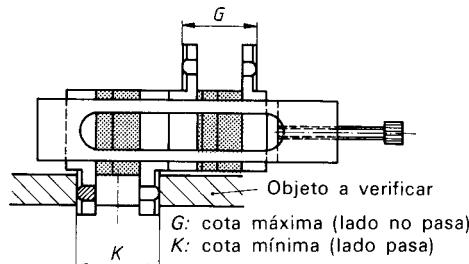


Figura 1-44. Soporte de galgas con patillas de medida semirredondas, usado como calibre para taladros.

Composición del juego	Composición de medidas (ejemplos)			
1,001 ... 1,009	1,06	1,004	1,009	1,06
1,01/1,02/1,03/1,06	1,6	1,06	1,06	1,01
1,1/1,2/1,3/1,6	1,1	1,02	1,03	6
1/2/3/6	2	1,3	1,3	2
10/20/30/60/100	10	1	1	100
	30	3	20	
	45,76	8,384	25,399	110,07

Es importante la posibilidad de transportar la medida materializada, lo cual puede hacerse palpando con el compás las superficies de medición.

En un soporte de galgas se fijan los brazos de medir y una combinación de galgas, mediante una pieza de presión y un tornillo tensor (figuras 1-43 y 1-44).

## 1.2.2 Verificación con instrumentos indicadores

### MEDICIÓN DE LONGITUDES CON EL PIE DE REY

El pie de rey se caracteriza por una corredera con nonius que se desplaza a lo largo de una guía provista de una escala graduada.

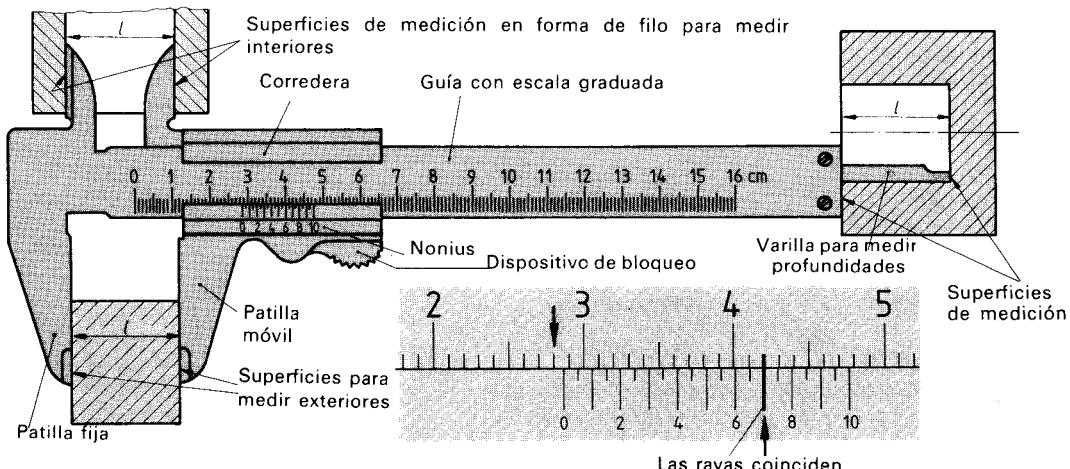


Figura 1-45.

**Constitución.** Los pies de rey de la forma A poseen una parte fija y otra móvil. Para medir cotas exteriores, interiores y profundidades, existen superficies de medición especiales. La subdivisión de la escala de la guía es de 1 mm, y la longitud normalizada del nonius de la corredera es de 19 o 39 mm.

El nonius hace posible la lectura directa de submúltiplos de milímetro. Existen nonius con precisión de 1/10 mm, 1/20 mm y 1/50 mm. El nombre tiene su origen en el portugués Pedro Nuñez (o Nonius) (1492-1577).

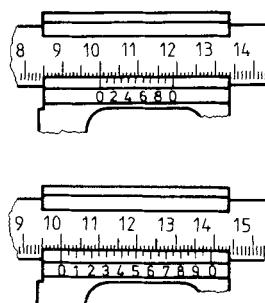


Figura 1-46. Nonius de 1/10 mm y de 1/20 mm.

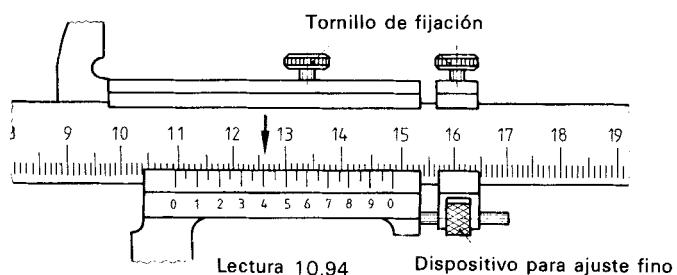


Figura 1-47. Ejemplo de lectura con nonius de 1/20 mm.

La longitud normalizada del nonius para 1/10 mm es de 19 mm y para 1/20 mm de 39 mm. En el nonius de 1/10 mm, la corredera de 19 mm está subdividida en 10 partes iguales, de forma que la distancia entre dos graduaciones es  $19/10 \text{ mm} = 1,9 \text{ mm}$ . La medida del nonius de 1/10 mm resulta de la diferencia de los dos valores de la escala de la subdivisión principal y uno de la escala del nonius. Esta diferencia es  $2 \text{ mm} - 1,9 \text{ mm} = 0,1 \text{ mm}$ .

**Lectura de la medida.** Los milímetros enteros se leen a la izquierda del cero del nonius, sobre la escala principal; por ejemplo, la lectura en la figura 1-45 es 28,7 mm. Las décimas de milímetro se leen en la escala del nonius, en la subdivisión que coincide con una de la escala principal. El número de subdivisiones en el nonius indica las décimas de milímetro, p. ej.,  $7 \cdot 0,1 \text{ mm} = 0,7 \text{ mm}$ .

**El pie de rey para profundidades** sirve para medir la profundidad de chaveteros, talones y taladros ciegos. Para medir se apoya la corredera sobre la superficie de la pieza, desplazando luego la guía hasta la superficie interior, se aprieta el tornillo de fijación y se efectúa la lectura.

**El pie de rey de la forma B** tiene superficies de medición en forma de filos para mediciones exteriores y superficies redondeadas para mediciones interiores.

En el caso de mediciones interiores debe sumarse 10 mm a la medida, ya que las puntas tienen un ancho de 5 mm cada una.

### Comprobación del pie de rey

Con los brazos cerrados las superficies interiores deben presentar una rendija de luz uniforme. La precisión puede comprobarse con la ayuda de galgas.

#### Errores en el manejo del pie de rey:

- El brazo de medición no se desplaza lo suficiente para abarcar la pieza.
- Colocación inclinada durante la medición.
- Juego perceptible entre guía y corredera.
- Superficies de medición sucias.
- Presión excesiva o insuficiente al colocar el brazo de medición.

## MEDICIÓN DE LONGITUDES CON EL TORNILLO MICROMÉTRICO

Como materialización del tornillo micrométrico se emplea una rosca rectificada de 0,5 mm de paso.

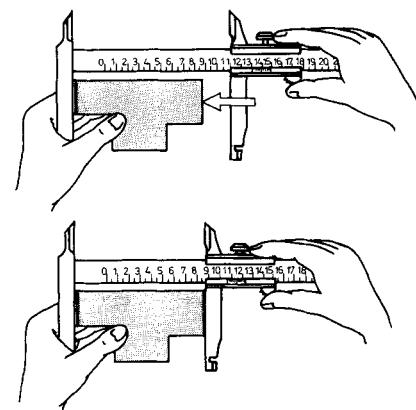


Figura 1-48. Medición correcta con el pie de rey. Apoyar la patilla fija en la pieza y correr la móvil.

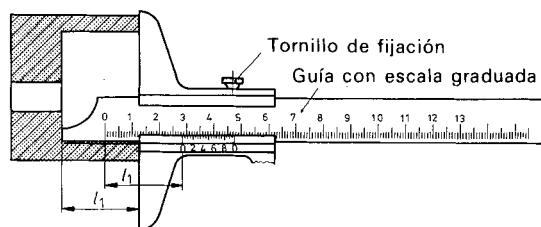


Figura 1-49. Pie de rey para profundidades.

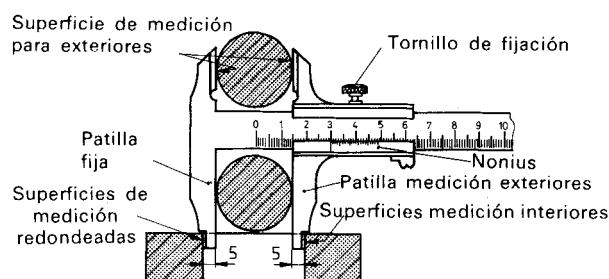


Figura 1-50. Pie de rey de forma B.

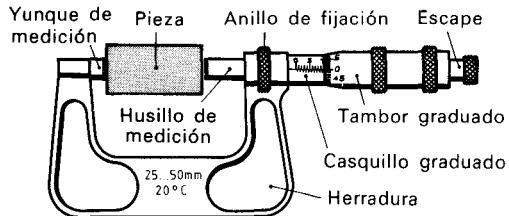


Figura 1-51. Tornillo micrométrico de herradura.

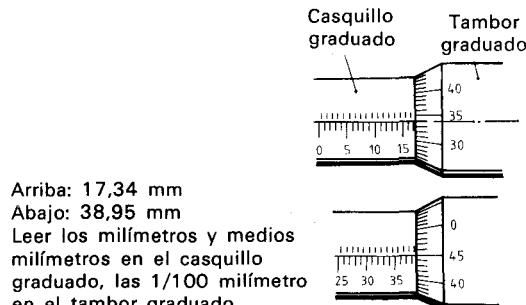


Figura 1-52. Ejemplos de lectura con el tornillo micrométrico.

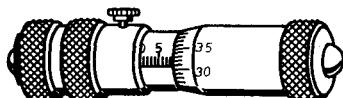


Figura 1-53. Tornillo micrométrico de interiores.

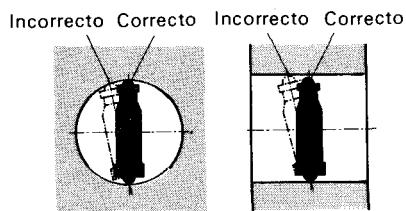


Figura 1-54. Errores en la medición con tornillo micrométrico de interiores.

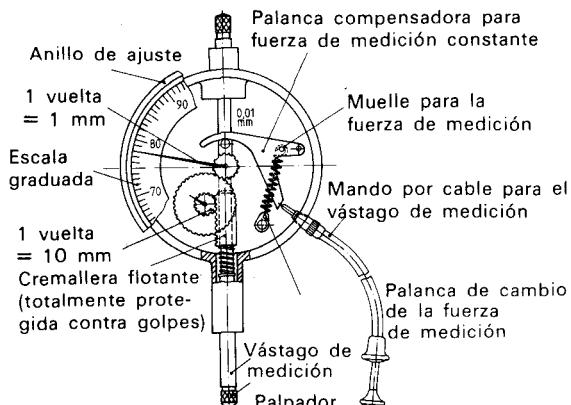


Figura 1-55. Reloj comparador protegido contra golpes.

Para la medición de longitudes, los tornillos micrométricos disponen como parte móvil de un husillo roscado. En el tambor graduado existen normalmente 50 subdivisiones. El paso de la rosca es de 0,5 mm. Con un giro del tambor se produce un avance del husillo de 0,5 mm; una subdivisión significa 0,5 mm: 50 = 0,01 mm. Los milímetros y medios milímetros se leen en el casquillo graduado.

**El valor mínimo de la escala es 0,01 mm.**

El tornillo micrométrico de arco para mediciones exteriores posee un campo de medición determinado, p. ej., de 0 a 25 mm. El arco resistente a la flexión está revestido de placas aislantes para protegerlo del calor de las manos. El juego del husillo puede ajustarse con una tuerca situada en el interior del casquillo graduado. Para ajustar el punto cero se puede girar y desplazar el tambor graduado sobre el husillo.

A consecuencia del paso de rosca tan pequeño, se reduce la graduación de la escala pero, por el contrario, se multiplica la fuerza de rotación ejercida por la mano, de forma que se aplican fuerzas de medición mayores. Un embrague de fricción hace posible que la fuerza aplicada entre pieza y husillo quede limitada a 5 ó 10 N. Si se va acercando despacio el husillo a la pieza, girando a través del embrague, se consigue una precisión de medición uniforme.

**Acerca despacio el husillo a la pieza girando.**

## MEDICIÓN DE LONGITUDES CON COMPARADORES

Los relojes comparadores son instrumentos para medir longitudes, en los cuales el recorrido del vástago de medición se marca ampliado mediante una cremallera o husillo roscado y rueda dentada.

La graduación de la escala es de 0,01 mm. Un giro completo de la aguja corresponde a 1 mm.

**La aguja de un comparador puede dar varias vueltas completas.**

Mediante un anillo de regulación puede ponerse a cero la escala graduada, cualquiera que sea la posición de la aguja.

Los comparadores se utilizan para medir diferencias de longitud. Si se emplea para el reglaje una galga paralela, la escala graduada giratoria se coloca en la marca cero. A continuación se mide la pieza, la diferencia de longitud entre la pieza y la galga es lo que se indica. La escala graduada pequeña indica milímetros enteros, y la escala grande centésimas de milímetro.

**Aplicaciones del reloj comparador:** medición de espesores, verificación de la planicidad de superficies, verificación de la redondez de un árbol y verificación del paralelismo de dos superficies.

**Instrucciones para medir:** Fijar bien el comparador en el soporte. — Limpiar la superficie de apoyo del soporte y la pieza. — Apretar el tornillo de fijación del soporte. — Descender suavemente el comparador sobre la superficie de la pieza hasta que tenga lugar una indicación. — Desplazar la pieza y leer la medida. — Mirar perpendicularmente a la escala graduada, con el fin de evitar el error de paralelo.

## DIFERENCIAS ADMITIDAS PARA LAS COTAS SIN INDICACIÓN DE TOLERANCIA

Si los planos no están provistos de tolerancias especiales, se aplican en la fabricación las tolerancias libres según DIN 7168. Se trata de desviaciones admitidas de las cotas nominales del plano que pueden verificarse con la precisión usual en un taller mediante el pie de rey o el tornillo micrométrico de arco.

Las desviaciones admitidas según DIN para longitudes son válidas para cotas exteriores e interiores, diámetros, anchuras, alturas, espesores y distancias entre taladros. Los diferentes grados de precisión de la fabricación se tienen en cuenta con las designaciones de fino, medio, basto y muy basto.

### Extracto de DIN 7168

Grado de precisión	Alcances de medida nominales (valores en mm)	Alcances de medida nominales (valores en mm)	Alcances de medida nominales (valores en mm)
	más de 3...6	más de 6...30	más de 30...120
fino	± 0,05	± 0,1	± 0,15
medio	± 0,1	± 0,2	± 0,3
basto	± 0,2	± 0,5	± 0,8
muy basto	± 0,5	± 1,0	± 1,5

Las diferencias admitidas para medidas angulares son válidas para los ángulos indicados en los planos de piezas.

Grado de precisión	Medida angular (valor en grados)	Medida angular (valor en grados)	Medida angular (valor en grados)
	hasta 10°	más de 10° hasta 50°	más de 50° hasta 120°
fino, medio	± 1°	± 30'	± 20'
basto	± 1°30'	± 50'	± 25'
muy basto	± 3°	± 2°	± 1°

### 1.2.3 Verificación con comparadores de precisión

#### EMPLEO DE COMPARADORES DE PRECISIÓN

Los comparadores de precisión (micropalpador, instrumentos de contacto) son instrumentos indicadores. La pequeña magnitud de medición es multiplicada mecánicamente (mediante un sistema de palancas o por palanca y rueda dentada, o segmento dentado) y da una oscilación mayor de la aguja indicadora, con lo cual se hace claramente legible.

A menudo se coloca el comparador de precisión en un soporte y se emplea para medir diferencias de alturas o espesores. El comparador de precisión se ajusta con galgas o con calibres nominales (macho, disco) a la cota nominal. Para ello se regula en altura con los tornillos de reglaje basto y fino, hasta que la aguja esté en el cero. Al efectuar la medición, la aguja se mueve hacia la derecha o hacia la izquierda e indica cuánto difiere la pieza en más o menos del patrón. Con las dos marcas regulables para tolerancias pueden fijarse las cotas límite, de manera que la persona que hace la medición puede ver de una ojeada si la cota real está dentro de la tolerancia. Para mediciones en la fabricación en serie, se pueden acoplar a estos aparatos indicadores eléctricos. Si se superponen las marcas de las tolerancias se producen señales ópticas y acústicas.

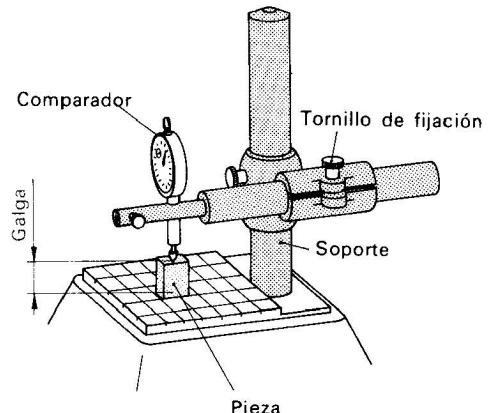


Figura 1-56. Aplicación del comparador.

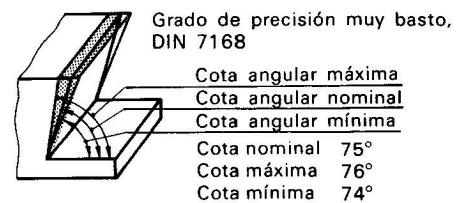
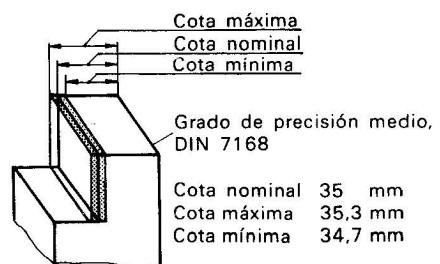


Figura 1-57. Cotas máxima y mínima para longitudes y ángulos.

Marcas de tolerancia, ajustables

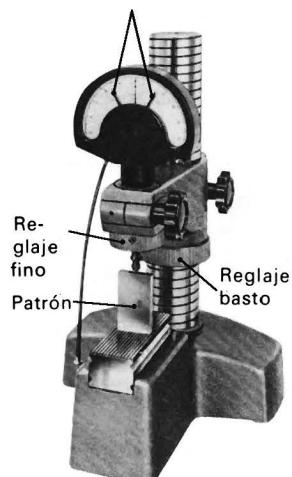


Figura 1-58. Comparador de precisión con soporte.

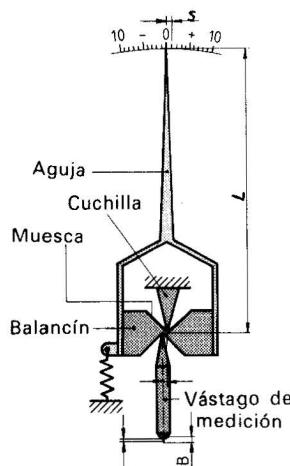


Figura 1-59. Comparador de precisión con multiplicación por palanca.

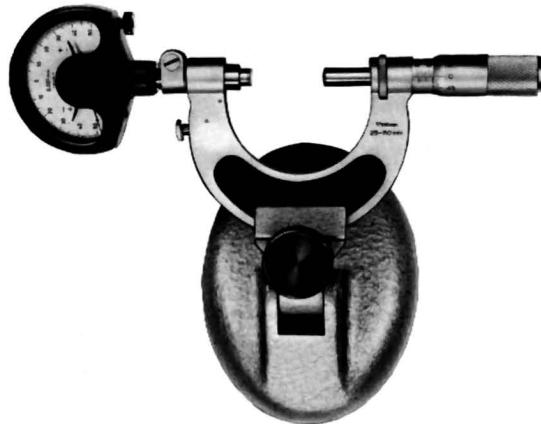


Figura 1-60. Tornillo micrométrico con comparador de precisión.

El tornillo micrométrico sustituye aquí al soporte. Al mismo tiempo el comparador limita la fuerza de medición entre 0,5 N y 0,8 N.

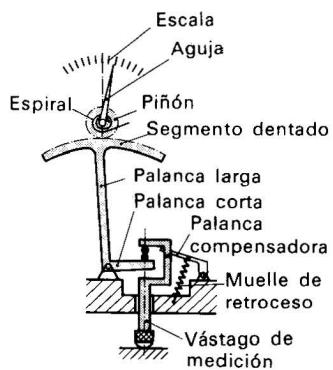


Figura 1-61. Comparador de precisión con multiplicación por palanca y rueda dentada.

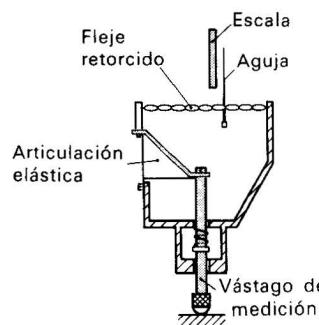


Figura 1-62. Comparador de precisión con multiplicación por fleje tensor.

### COMPARADOR DE PRECISIÓN CON MULTIPLICADOR POR PALANCA

Puesto que el vástago y la cuchilla de medición están desplazados entre sí una distancia  $l$ , todo movimiento vertical del vástago medidor hace girar al balancín alrededor de la cuchilla, con lo cual la aguja se desvía hacia la izquierda o hacia la derecha. Debido a la diferencia de longitud entre  $l$  y  $L$ , el movimiento del vástago  $x$  se multiplica y convierte en el movimiento  $s$  mayor de la aguja. Si la relación de las longitudes de las palancas es  $L:l = 1:500$ , la relación entre los recorridos del vástago y la aguja es también

$$x:s = 1:500.$$

Para una oscilación de la aguja de 0,5 mm, el recorrido del vástago de medición es:

$$x:s = 1:500; x = 0,5 \text{ mm} \cdot \frac{1}{500} = 0,001 \text{ mm.}$$

**Campo de medición B** (máximo recorrido del vástago). Debido a la multiplicación tan alta sólo son posibles pequeños campos de medición (0,02 a 0,2 mm).

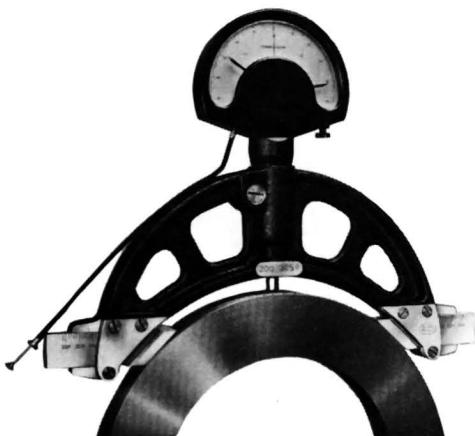


Figura 1-63. Calibre jinetillo con comparador de precisión. Para medir diámetros grandes. Poner a cero con un patrón.

### COMPARADOR DE PRECISIÓN CON MULTIPLICACIÓN POR PALANCA Y RUEDA DENTADA COMBINADAS

El recorrido del vástago de medición se indica en este caso por una oscilación mayor de la aguja, mediante multiplicación por palanca y rueda dentada. El instrumento está protegido contra golpes, ya que si sufre alguno, el vástago se levanta de la palanca. El muelle de retroceso actúa sobre el vástago como en los comparadores corrientes a través de una palanca compensadora.

Con dos multiplicaciones por rueda dentada (o sector y rueda) se consigue una multiplicación de 1 000 veces, con un intervalo de medición de 0,050 mm (valor de la escala = 0,001 mm). Mediante un muelle espiral alojado en el piñón de la aguja se compensa el juego

entre las piezas de la multiplicación. El vástago de medición y el piñón de la aguja están unidos por la fuerza del muelle.

## COMPARADOR DE PRECISIÓN CON MULTIPLICACIÓN POR FLEJE TENSOR

En este caso el vástago de medición actúa sobre una articulación elástica unida a un fleje metálico fabricado con acero para muelles. Este fleje tensor está retorcido la mitad hacia la derecha y la mitad hacia la izquierda, partiendo del centro del mismo. Si el fleje se alarga o acorta a través de la articulación elástica, entonces la aguja que está situada en el centro del fleje, perpendicularmente a éste, gira en uno u otro sentido. Con este instrumento y un intervalo de medición de  $\pm 0,001$  mm, pueden obtenerse multiplicaciones hasta por 25 000.

## COMPARADOR DE PRECISIÓN CON PALPADOR MECÁNICO Y AMPLIFICACIÓN ÓPTICA

Para la amplificación óptica de la indicación del recorrido del vástago, se emplea un haz luminoso como brazo mayor de palanca.

Una faja luminosa estrecha procedente de una lámpara incide en un espejo basculante. El espejo refleja el rayo a otro espejo fijo, el cual lo transmite a una escala. En cuanto el espejo basculante se mueve por la acción del vástago palpador, cambia la trayectoria del rayo y la marca de luz se desplaza sobre la escala, indicando de esta forma la desviación respecto a la cota ajustada.

Con varias reflexiones del haz de rayos puede hacerse mayor la ampliación.

## COMPARADOR DE PRECISIÓN CON CONTACTOS LIMITADORES ELÉCTRICOS

En los comparadores con contactos limitadores eléctricos, éstos pueden ajustarse como marcas de tolerancia.

La presente figura muestra cómo se emplean los comparadores de precisión para la verificación de áboles de levas en una **disposición de medición múltiple**. Esta fórmula evita los errores por diferentes mediciones. Tal como muestra el sistema, se han reunido varios comparadores de precisión en un punto de medición, indicando los resultados de la misma para el punto de apoyo de la izquierda y de las levas adyacentes, en un resultado reflejado sobre varios comparadores.

Estas mismas disposiciones se emplean también en los procesos de fabricación con máquinas-herramienta, para el control de cotas, para clasificar piezas terminadas o para el mando de la máquina. Tan pronto como la aguja del instrumento de medición sobrepasa uno de los contactos eléctricos limitadores, o sea que la cota es demasiado grande o demasiado pequeña, se emiten impulsos a dispositivos indicadores o de mando. Por ejemplo, una serie de señales luminosas indican el estado dimensional de la pieza: verde  $\leq$  buena; rojo  $\leq$  rechazada (demasiado pequeña); blanca  $\leq$  repasar (demasiado grande). O también se cambian las máquinas para trabajos de desbaste o acabado, para ajustar una décimas de milímetro una muela de rectificar y para terminar procesos de mecanizado.

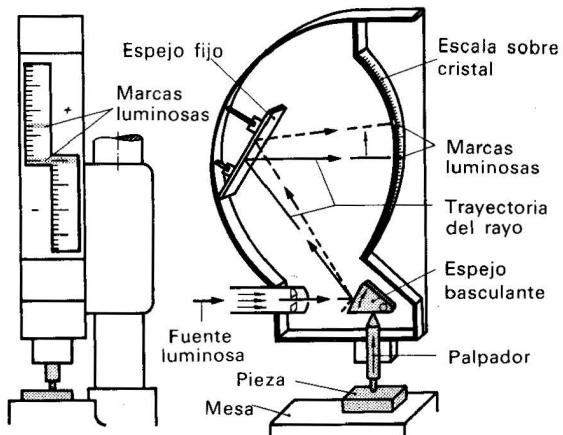


Figura 1-64. Comparador de precisión con palpador mecánico y amplificación óptica.

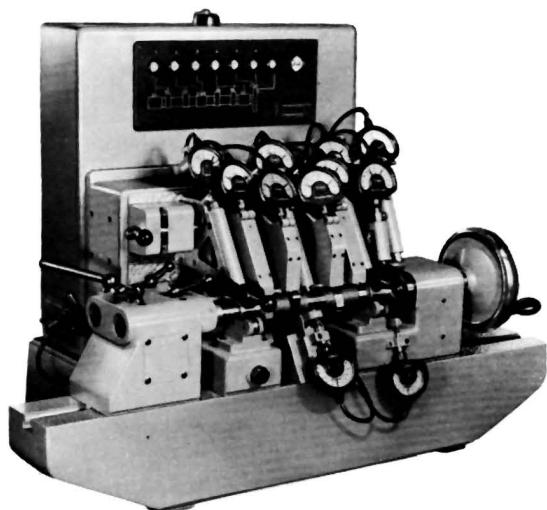


Figura 1-65. Medición múltiple. Comparador de precisión con contactos eléctricos limitadores.

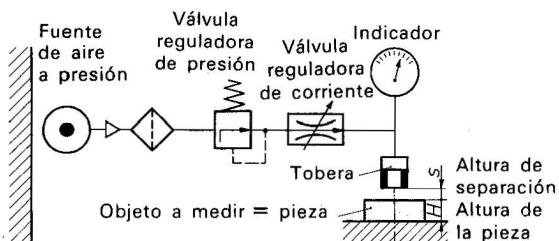


Figura 1-66. Estructura de un dispositivo neumático de medida.

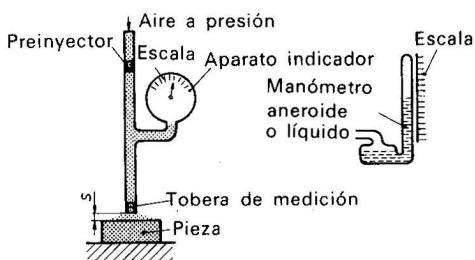


Figura 1-67. Procedimiento de medida por presión, con indicador de manómetro aneroide (a la izquierda) o de manómetro líquido (a la derecha).

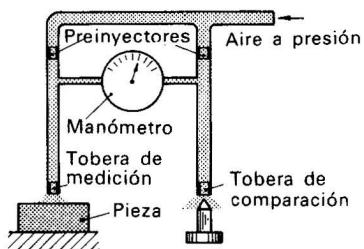


Figura 1-68. Procedimiento de medida por diferencia de presión.

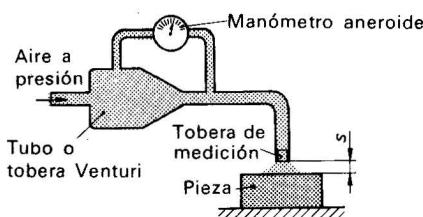


Figura 1-69. Procedimiento de medida por velocidad, con indicador de manómetro aneroide.

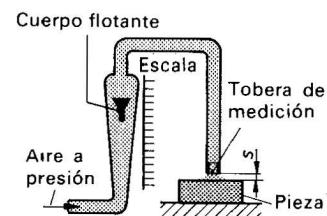


Figura 1-70. Procedimiento de medida por volumen.

#### MODELOS DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN NEUMÁTICOS

Los instrumentos de medida neumáticos trabajan por el procedimiento de presión, diferencia de presiones, velocidad o volumen.

En los procedimientos de presión sencilla se indica la variación de presión en el conducto de la tobera, por variación de la altura de la separación  $s$ , mediante un manómetro aneroide o de líquido.

El procedimiento de diferencia de presiones es más preciso, ya que una variación mínima de presión en la conducción del aire no influye nada o casi nada en la diferencia de presiones medida entre el tubo de la tobera y el de ajuste.

En las secciones pequeñas del tubo Venturi cuando se emplea el procedimiento de velocidad, la velocidad del aire es máxima y la presión mínima. Si circula más aire por una separación  $s$  mayor, aumenta la velocidad y disminuye la presión. Esta variación se indica en un manómetro aneroide.

En el tubo de cristal cónico del instrumento de medida por volumen, el cuerpo flotante se levanta tanto más cuanto más aire salga por la tobera de medición.

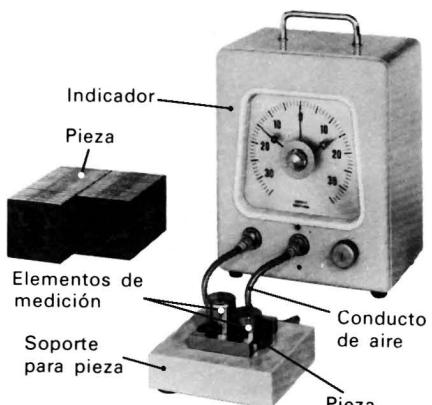


Figura 1-71. Disposición para instrumento indicador de aguja.

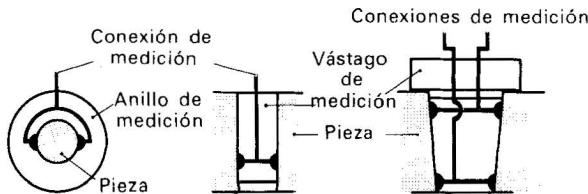


Figura 1-72. Elementos sensores para dispositivos neumáticos de medición.

### 1.2.5 Verificación con instrumentos de medición electrónicos

En el caso de medición electrónica de longitudes, se transforman recorridos de medición en señales eléctricas, que se hacen visibles en un indicador de escala o de cifras.

#### PRINCIPIO DE LA MEDICIÓN INDUCTIVA DE LONGITUDES

Un dispositivo de medición se compone de varios instrumentos que se hacen cargo de diferentes misiones. El **palpador** toma la medida por medio de un vástago y emite una señal —la señal de medición— que es elaborada en el instrumento de medición siguiente.

En el palpador inductivo existen dos bobinas en conexión diferencial, acopladas con una tercera bobina inductiva, alimentada con una tensión alterna entre 1 y 30 kilociclos. En las bobinas 1 y 2 (bobinas secundarias) se induce una tensión.

Si unido al vástago de medición se introduce en las bobinas 1 y 2 un núcleo de ferrita, el desplazamiento de ese núcleo varía la inductividad de las bobinas y con ello la tensión diferencial inducida en ambas. La tensión se amplifica, se rectifica y se indica con un voltímetro contrastado en  $\mu\text{m}$ . La variación de la inductividad de las bobinas es una medida del recorrido del vástago. Los instrumentos se componen de uno o dos palpadores de medición y el instrumento indicador. El intervalo de medición puede estar entre 0,3 y 5 mm, siendo el valor mínimo de la escala de  $0,01 \mu\text{m}$ . El sistema de bobinas está ubicado en el palpador. El amplificador, el rectificador y el indicador eléctrico se encuentran en el instrumento indicador.

#### INDICACIÓN ANALÓGICA Y DIGITAL

En la indicación **analógica**, la medida se representa por un ángulo  $\alpha$  barrido por una aguja, o por el recorrido  $s$ . Al variar la medida varía también la oscilación de la aguja.

En la indicación **digital**, la medida aparece en forma de cifra.

#### Ejemplos:

Los termómetros y los tacómetros tienen por lo general indicación analógica, y el cuentakilómetros del automóvil indicación digital.

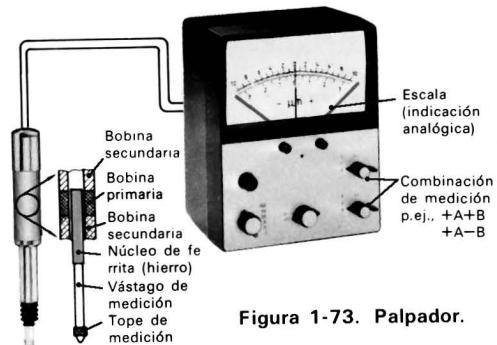


Figura 1-73. Palpador.

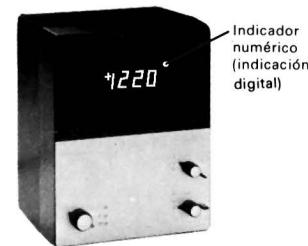


Figura 1-74. Aparatos de medición con escala indicadora e indicador numérico.

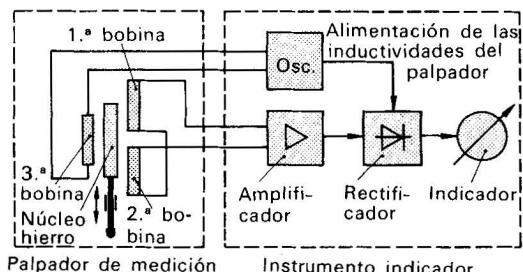


Figura 1-75. Principio de la medición inductiva de longitudes.

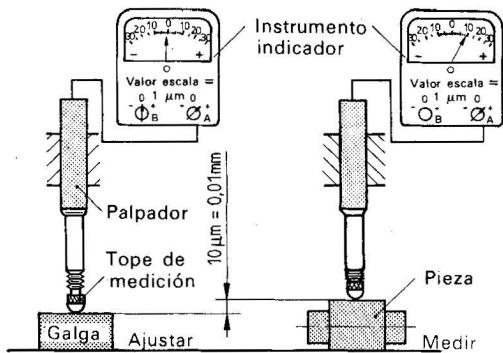


Figura 1-76. Mediciones únicas con el palpador.

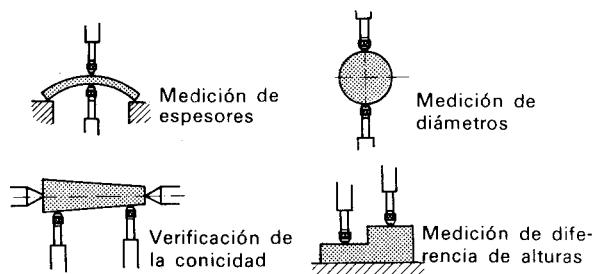


Figura 1-77. Mediciones suma y diferencia.

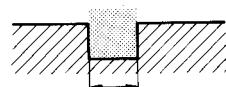
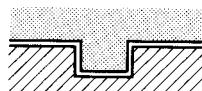
Figura 1-78.  
Calibre de forma.Figura 1-79.  
Calibre de cotas.

Figura 1-80. Calibre de ajustes.

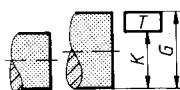


Figura 1-81. Calibre de tolerancias.

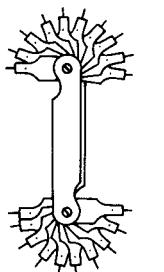


Figura 1-82. Calibre de inyectores.

Para comprobar orificios de inyectores

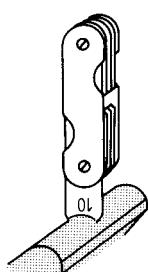


Figura 1-83. Calibre de superficies redondeadas.

Para determinar los radios de las piezas

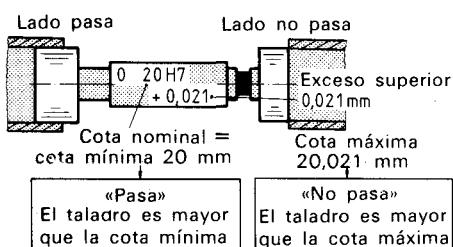


Figura 1-84. Verificación de un taladro con el calibre macho.

## MEDICIÓN ÚNICA, MEDICIÓN SUMA, MEDICIÓN DIFERENCIA

Para mediciones directas de piezas cilíndricas y planas se emplea un palpador inductivo especial. Su aplicación es idéntica al caso de los comparadores de precisión mecánicos. Con dos palpadores se indica la suma de las desviaciones recogidas por los dos palpadores inductivos conectados.

Este método evita la aparición de errores de posición en la medición de espesores, y de errores de redondez en la medición de diámetros.

En el caso de medición de diferencias se indica la diferencia de los valores determinados por los dos palpadores inductivos conectados.

## 1.2.6 Verificación con calibres

### CALIBRES DE FORMA Y CALIBRES DE COTAS

**Los calibres son medios de verificación que materializan una cota o una forma.**

Con el **calibre de forma** se verifica la forma prevista de una pieza. Calibres de forma son, p. ej., ángulos, falsas escuadras, calibres de radios y calibres de redondeamientos.

Con los **calibres de cotas** se verifican longitudes, p. ej., ranuras, taladros y mortajas. Los calibres de cotas se componen siempre de un juego en el que en cada calibre va incrementándose la cota.

Medios de verificación son, p. ej., las galgas, calibres de exteriores, calibres para espesores de chapas, calibres de interiores y calibres para inyectores.

Con los **calibres de ajuste por parejas** se verifica si las piezas funcionan en cuanto al ajuste. Así puede estar bien la guía en cuanto a forma pero no funcionar el ajuste por no estar recta.

Con los **calibres de tolerancias** se verifica si el valor real del objeto está dentro de la tolerancia.

### CALIBRES DE TOLERANCIAS

En la fabricación, las piezas tienen siempre pequeñas diferencias con las cotas establecidas. En un taladro de diámetro nominal 20 se acepta la cota como correcta si la cota de fabricación es como máximo 20,021 mm y como mínimo 20,000 mm, por lo que todos los taladros con diámetro superior a 20,021 son «rechazos», y todos los que están entre 20,021 y 20,000 son «buenos». Los taladros por debajo de 20,000 deben retaladrarse. Las diferencias admitidas en taladros y ejes se verifican con calibres de tolerancias. Estos calibres tienen dos cotas fijas:

El lado bueno se designa «pasa», y el lado de rechazo con «no pasa» y color rojo. La cota nominal y las diferencias están grabadas en el calibre.

Los **calibres machos** son calibres para cotas interiores y en el lado «no pasa» tienen un diámetro superior al del lado «pasa». El macho o vástago debe entrar en el taladro por el lado «pasa», mien-

tras que el lado «no pasa» debe como máximo apuntar. El lado no pasa tiene sólo los 2/3 de la longitud del lado pasa.

**Los calibres de herradura** son calibres para cotas exteriores y en el lado «pasa» tienen la cota mayor.

**Los calibres de fabricación** se emplean para verificar una pieza durante la fabricación.

**Los calibres de revisión** se utilizan para el control propio de la pieza fabricada. En el lado «pasa» sus cotas deben estar más cerca del límite de desgaste que las cotas de los correspondientes calibres de fabricación.

**Los calibres de recepción** se emplean para la recepción de la pieza por el cliente. Sus cotas deben diferenciarse de las de los calibres de fabricación, y admitir el desgaste total de los límites válidos para el desgaste de los calibres de fabricación.

**Los calibres de verificación** se utilizan para verificar los calibres de fabricación. Si el calibre a verificar es regulable, entonces el calibre de verificación se emplea como calibre de reglaje.

La **tolerancia de fabricación H** y el **desgaste admitido A** dependen de la magnitud de la cota nominal y del número distintivo de la calidad.

## 1.3 Medios de verificación de ángulos

### 1.3.1 Verificación con calibres de ángulos fijos

Los ángulos se verifican con calibres de ángulos fijos (escuadra de acero, escuadra de filo, escuadra de talón, galga angular, etc.), y se miden con instrumentos de medición de ángulos móviles (transportador de ángulos universal, nivel para ángulos, cabezal divisor, mesa circular, etc.) o bien con elementos patrones especiales (galgas).

## UNIDADES PARA ÁNGULOS

De acuerdo con el sistema de unidades SI, la magnitud de un ángulo plano se define como la relación del arco al lado, tomando éste como radio de la circunferencia trazada desde el vértice sobre la cual se mide el arco.

Como unidad se toma el ángulo plano para el cual la relación de longitudes «arco a radio» vale 1. Esta unidad se llama radián (símbolo: rad).

Ejemplo:  $s=1 \text{ m}$ ,  $r=1 \text{ m}$ ;  $1 \text{ rad} = \frac{s}{r} = \frac{1 \text{ m}}{1 \text{ m}} = 1$

En la técnica, para verificar ángulos se emplea el grado con el minuto y el segundo como submúltiplos. Para la subdivisión de la curvatura se considera preferentemente que tiene  $360^\circ$ .

### Dependencia entre radián y grado

Ángulo completo:

$$1 \text{ ángulo completo} = 2\pi \text{ rad} = 360^\circ$$

$$\text{Ángulo recto: } 1 \text{ L} = \frac{\pi}{2} \text{ rad} = 90^\circ$$

$$\text{Grado: } 1^\circ = \frac{2\pi \text{ rad}}{360} = \frac{\pi}{180} \text{ rad} = \frac{1 \text{ L}}{90}$$

$$\text{Minuto: } 1' = \frac{\pi}{10800} \text{ rad} = \frac{1^\circ}{60}$$

$$\text{Segundo: } 1'' = \frac{\pi}{648000} \text{ rad} = \frac{1'}{60}$$

$$\text{Radián: } 1 \text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57,2^\circ$$

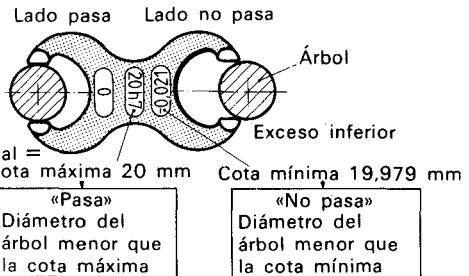


Figura 1-85. Verificación de un árbol con el calibre de tolerancias.

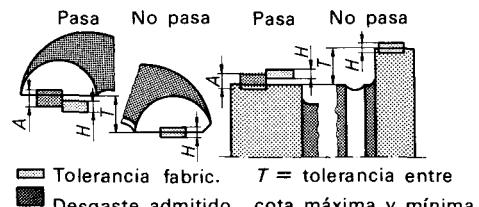


Figura 1-86. Precisión de fabricación y desgaste admitido en los calibres de tolerancias.

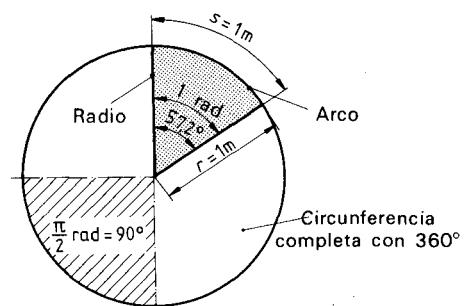


Figura 1-87. Radián y grado.

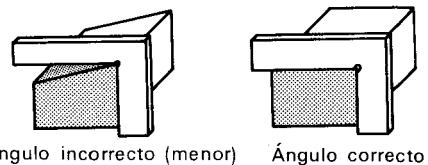


Figura 1-88. Escuadra plana

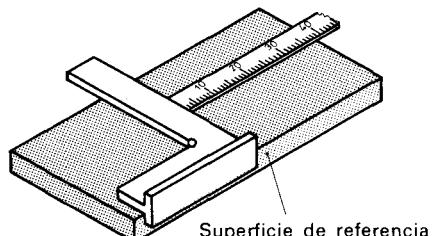


Figura 1-89. Escuadra de talón.

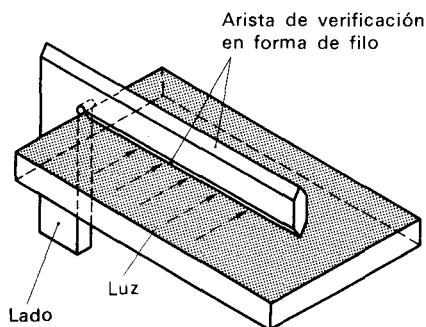


Figura 1-90. Escuadra de filo.

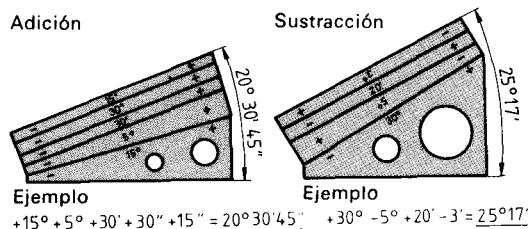


Figura 1-91. Galgas angulares.

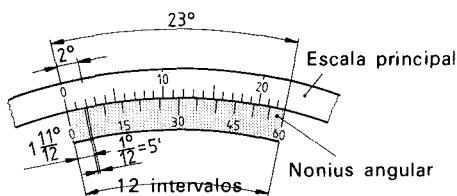


Figura 1-92. Nonius angular.

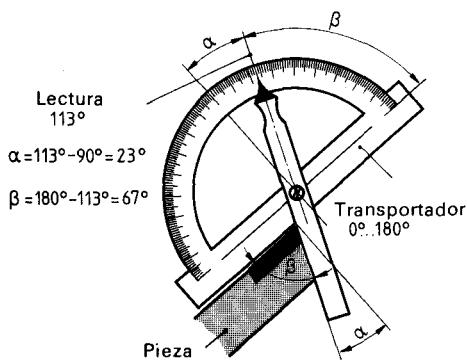


Figura 1-93. Lectura del transportador.

## ESCUADRAS FIJAS (DE ÁNGULO FIJO)

Como escuadras fijas se emplean en fabricación las de acero, de 90°, 60°, 45° y 120°. Según DIN, las escuadras de acero de 90° se dividen en escuadras planas (forma A), escuadras de talón (forma B) y escuadras de filo (forma C).

Con ella, se verifica la posición de las aristas y superficies de la pieza. Cuando se verifica la fabricación, debe existir una superficie plana mecanizada de la pieza que sirva de superficie de referencia.

La **escuadra de talón** resulta muy adecuada para verificar el ángulo y la cota cuando hay que trazar una arista de plegado. La distancia de la línea trazada a la arista de referencia de la pieza, se verifica con la regla.

Con la **escuadra de filo** se determina el ángulo y el estado superficial. La verificación se hace por el procedimiento de la rendija de luz. Si se enfrentan la superficie mecanizada de la pieza y la superficie de verificación, y se ponen a la luz, se observa una rendija. Cuanto más uniforme sea la rendija de luz, tanto más precisa será la angularidad.

## GALGAS ANGULARES

Las galgas angulares son de acero y pueden acoplarse por fricción como las galgas paralelas. Se emplean para verificar calibres, herramientas y piezas, para ajustar máquinas y útiles, para trazar y para trabajos de división.

Un juego grande se compone de 6 galgas de 1, 3, 5, 15, 30, 45 grados

5 galgas de 1, 3, 5, 20, 30 minutos

5 galgas de 1, 3, 5, 20, 30 segundos

Campo de medición desde 0° hasta 90°, de 1 en 1 segundos.

### 1.3.2 Verificación con instrumentos de medición de ángulos

Con los calibres para ángulos se puede determinar la angularidad de las superficies, y con los transportadores de ángulos el valor de éstos.

## TRANSPORTADORES INDICADORES

El **transportador** más sencillo es el de patilla en forma de aguja, regulable a lo largo de una escala de 0° a 180°. La inseguridad de medición es de 1 grado (1°).

Con el **transportador universal** pueden realizarse mediciones con una inseguridad de 5 minutos (5'). El transportador universal se compone de un carril fijo y otro móvil. La escala circular principal está subdividida en 4 veces 90° y sirve para leer ángulos enteros. El nonius angular se compone de un arco de 23°, subdividido en doce partes iguales.

Cada subdivisión de la escala del nonius vale  $23°/12 = 1° 55'$ , y cada dos subdivisiones de la escala principal  $2°$ .

Entre ambas divisiones existe por tanto una diferencia de  $2° - 23°/12 = 1°/12$  ó  $60'/12 = 5'$  (cinco minutos).

**Regla de lectura:** se cuentan los ángulos enteros en la escala principal desde  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , hasta el cero del nonius angular. Se sigue en el mismo sentido por el nonius y se busca la posición en la cual una subdivisión de la escala principal coincide con una subdivisión del nonius. Esta subdivisión indica las veces que hay que añadir  $1^\circ/12 = 5'$  a la lectura en grados enteros.

### Medición de ángulos agudos y ángulos obtusos

En la lectura de ángulos agudos la medida es igual al valor leído. Los ángulos obtusos miden entre  $90^\circ$  y  $180^\circ$ .

En la medición de ángulos obtusos, la medida del ángulo es:

$$\text{Medida} = 180^\circ - \text{valor de la lectura}$$

Con el nivel de burbuja puede determinarse la posición horizontal o vertical. El tubo está ligeramente abombado y lleno de éter, excepto una pequeña burbuja, que se coloca siempre en la parte más alta del tubo. Su posición puede leerse en una escala graduada.

#### Ejemplo:

1 subdivisión corresponde a una desviación de 0,2 mm sobre 1 m. Para una desviación de por ejemplo 3 subdivisiones, la superficie de la pieza está inclinada respecto a la horizontal o vertical:

$$\tan \alpha = \frac{0,6 \text{ mm}}{1000 \text{ mm}} = 0,0006; \alpha = 2' \text{ inclinación}$$

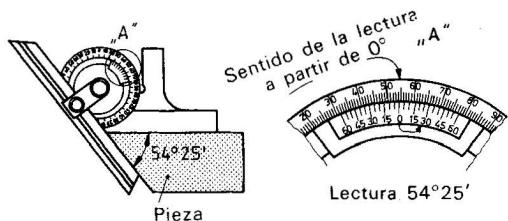


Figura 1-96. Medición de un ángulo agudo.

Para realizar la verificación se coloca el nivel sobre una superficie plana horizontal y se gira  $180^\circ$ . La burbuja debe tener la misma oscilación en ambas posiciones.

### NIVEL PARA ÁNGULOS

Este instrumento está provisto de un círculo divisor de cristal, de  $120^\circ$  y una graduación fina de  $60'$  por grado. La lectura de la graduación fina se hace mediante un microscopio de 40 aumentos. Un nivel longitudinal con una lectura de  $30''$  y 2 mm de recorrido de la burbuja, facilita el ajuste de la posición horizontal.

#### Forma de trabajo:

1. Ajustar el disco giratorio a  $0^\circ$ .
2. Colocar el instrumento sobre la mesa de medir y ajustar la posición horizontal con ayuda del nivel.
3. Colocar la pieza a medir sobre la mesa y el nivel sobre la pieza.
4. Girar el disco hasta que el nivel quede horizontal, y leer el ángulo con el microscopio.

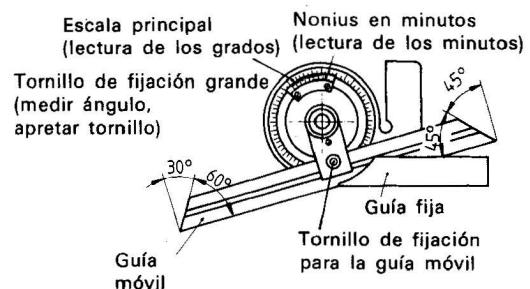


Figura 1-94. Transportador universal.

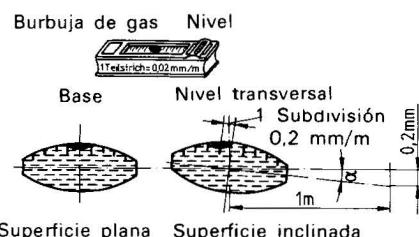


Figura 1-95. Nivel.

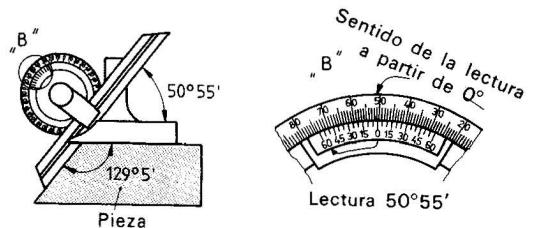


Figura 1-97. Medición de un ángulo obtuso.

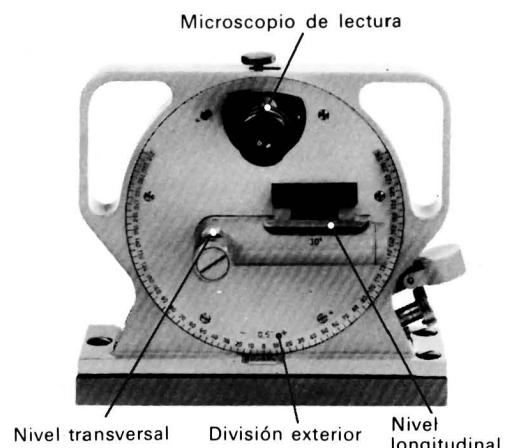


Figura 1-98. Nivel para ángulos, con microscopio.

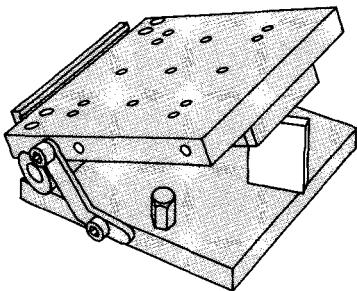


Figura 1-99. Mesa de senos.

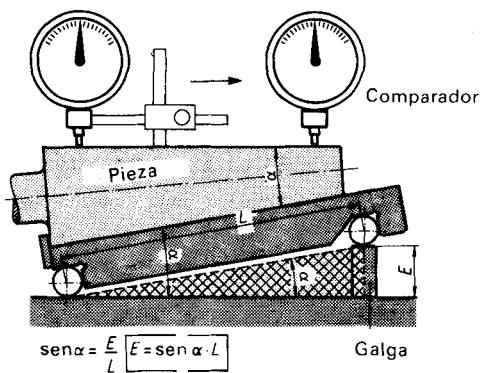


Figura 1-100. Verificación del ángulo de una pieza con regla de senos y comparador.

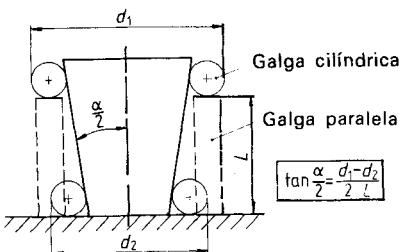


Figura 1-101. Medición de ángulos exteriores con galgas cilíndricas y paralelas.

## TRANSPORTADORES DE ÁNGULOS GRADUABLES

La regla de senos es un transportador de ángulos regulable. El dispositivo medidor se compone de una regla que fija los dos rodillos de medición a una distancia conocida, p. ej.,  $L = 200$  mm, y una galga paralela  $E$  de cuya longitud depende el ángulo  $\alpha$ . Con esta disposición puede ajustarse cualquier ángulo dentro de un intervalo determinado.

**Ejemplo:**

$L = 200$  mm,  $E$  (combinación de galgas) = 89,24 mm. Con esto se forma un triángulo rectángulo cuya hipotenusa tiene la longitud  $L$  y el cateto opuesto la altura  $E$  de la galga.

$$\text{sen } \alpha = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Hipotenusa}}; \text{sen } \alpha = \frac{E}{L}$$

$$\text{sen } \alpha = \frac{89,24 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} = 0,4462 \\ \text{ángulo } \alpha = 26^\circ 30'$$

### Medición de conos con galgas cilíndricas y paralelas

Las dos galgas paralelas deben tener la misma longitud y las dos cilíndricas (cilindros, rodillos) el mismo diámetro.

Con la disposición de la figura (medición de conos exteriores) se tiene el semiángulo del cono  $\frac{\alpha}{2}$ .

Para el cálculo se emplea la función tangente,  $\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{\text{Cateto opuesto}}{\text{Cateto adyacente}}$ , donde el cateto opuesto puede expresarse por  $\frac{d_1 - d_2}{2}$  y el cateto adyacente por la longitud  $L$  de la galga paralela.

**Ejemplo:**  $d_1 = 60$  mm,  $d_2 = 45$  mm,  $L = 38,76$  mm

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{d_1 - d_2}{2L}; \tan \frac{\alpha}{2} = \frac{60 \text{ mm} - 45 \text{ mm}}{2 \cdot 38,76 \text{ mm}} \\ = 0,2178 \\ \text{ángulo } \frac{\alpha}{2} = 13^\circ 17'$$

**Limpiar la superficie de medición antes de verificar. — Proteger contra la suciedad, golpes y ácidos. — No retocar los defectos de la regla. — Ejercer siempre la misma fuerza al efectuar la verificación. — No verificar las piezas hasta que no se alcance la temperatura de referencia. — Para guardar la regla emplear trapos limpios o un lugar especial. — No colocar nunca la regla junto con las herramientas. — Despues de utilizarla, limpiarla y engrasarla ligeramente.**

## 1.4 Trazado de piezas

### 1.4.1 Instrumentos de trazar

**Trazar es trasladar las cotas del plano a la pieza.**

En el trazado se marcan sobre la pieza en bruto el contorno, las aberturas, los centros de taladros y las distancias entre esos centros.

Hay que tener en cuenta lo siguiente:

- suficiente precisión al trasladar las cotas,
- buena visibilidad de los trazos,
- no dañar la superficie de la pieza.

El trazado es un trabajo manual preciso que ocasiona grandes gastos.

El trazado se emplea en la construcción de herramientas, calibres y útiles y en la fabricación de piezas sueltas antes de la mecanización.

En la fabricación en serie las piezas ya no se trazan, puesto que las máquinas herramientas se ajustan con exactitud y se programan automáticamente. Para un gran número de piezas se emplean dispositivos o útiles, así como plantillas que facilitan el trabajo.

## Instrumentos de trazar

Con la **punta de trazar** o con el **gramil** se trazan líneas rectas. Para trazar aristas de corte en materiales metálicos se emplea generalmente una **punta de trazar de acero** con la punta templada, y con un ángulo de 10 grados aproximadamente. Para materiales duros se emplean puntas de trazar de una aleación de **cobre y cinc** (latón), con el fin de no dañar la superficie. También se utilizan para aristas de plegado a fin de evitar la entalladura. Las líneas se ven debido al rozamiento. Para chapas delgadas y trazados que no dañen a los materiales blandos (aluminio) se emplea un lápiz.

Las cotas se toman del patrón, siempre que la regla no esté combinada con el instrumento de trazar, como en el gramil o el trazador de alturas.

Con el **compás de puntas** se trasladan las cotas o las circunferencias a la pieza. Se pueden emplear compases de puntas con o sin dispositivo de fijación. Con las puntas cerradas, éstas deben tocarse. Para distancias grandes se emplea el compás de varas.

Con la **escuadra de centrar**, la escuadra de cruz y el **granete**, se trazan rápida y exactamente los centros de ejes y taladros.

Si no es necesario trazar previo puede granetearse el centro de un eje con la ayuda de una campana de centrar. Su forma cónica hace posible utilizarla para ejes de diferentes diámetros.

Con el **gramil** se trazan líneas paralelas al plano del mármol de trazar. La altura de la punta se ajusta con la ayuda de una regla graduada.

El **mármol de trazar** es una placa de fundición gris con nervios de refuerzo. Debe colocarse horizontalmente. Para la exactitud del trabajo es muy importante que la superficie del mármol sea impecable. A menudo es necesario colocar primero la pieza sobre el mármol en la posición correcta. Para ello se emplean soportes y elementos de nivelación (prismas para apoyar piezas cilíndricas, bases de rodillos y tornillos niveladores).

## Proceso de trazado

### Trazado con plantilla

Al fabricar piezas en grandes cantidades o piezas de forma complicada, se emplean para trazar plantillas o piezas tipo, las cuales se colocan sobre la pieza a trazar y luego se sigue el contorno con la punta de trazar. Para colocar la plantilla deben emplearse dos puntos de fijación.

### Al trazar hay que tener en cuenta:

La punta de trazar debe deslizarse libremente a lo largo de la regla, la escuadra de trazar o la plantilla. Con la punta fijada al gramil pueden

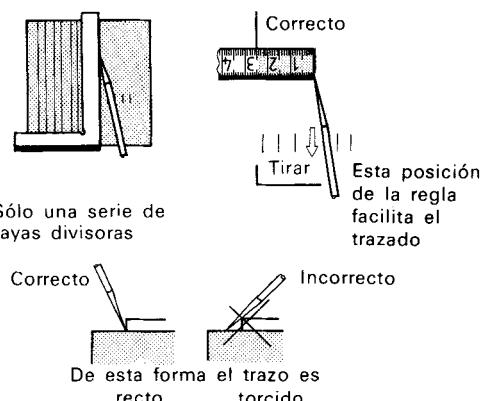


Figura 1-102. Marcado de rayas paralelas.

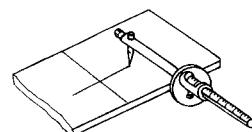


Figura 1-103.  
Trazado con gramil.

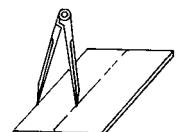


Figura 1-104.  
Trazado con compás.

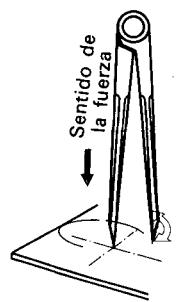


Figura 1-105. Marcado de circunferencias.

En el trazado de circunferencias la presión se ejerce en el brazo apoyado en el centro de rotación.

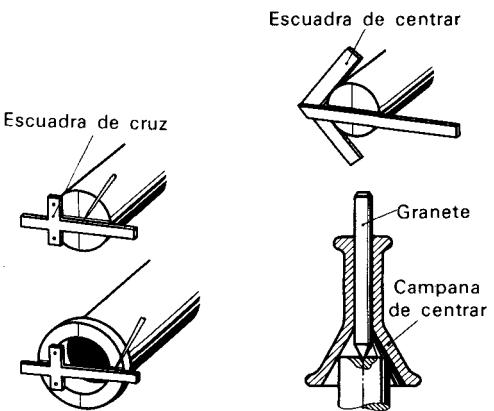


Figura 1-106. Centrado de ejes y taladros.

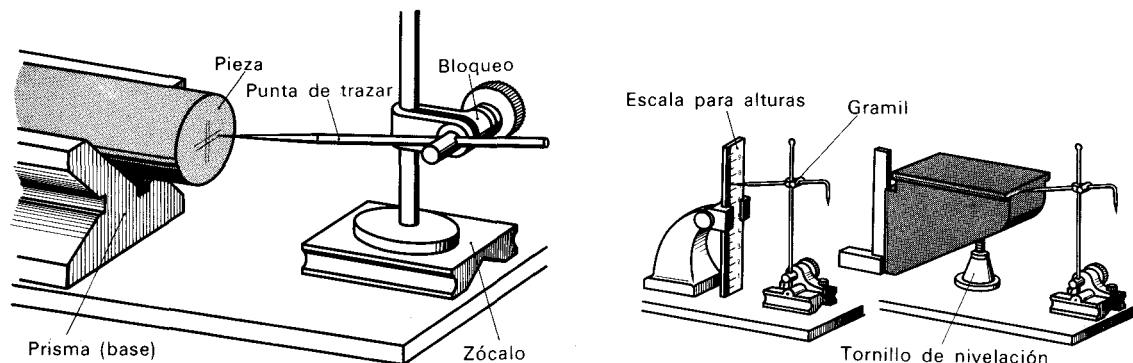
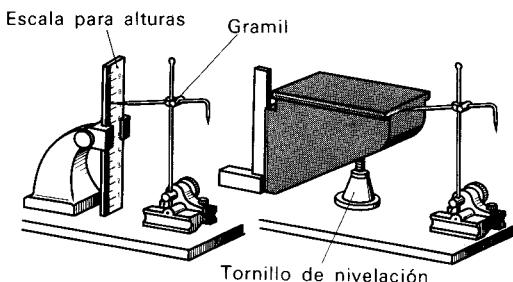


Figura 1-107. Trazado en el mármol.  
Marcado de un eje con prisma y gramil, para determinar el centro.



Ajuste de la cota con la escala para alturas, y traslado a la pieza

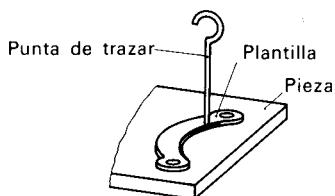


Figura 1-108. Trazado con plantilla.

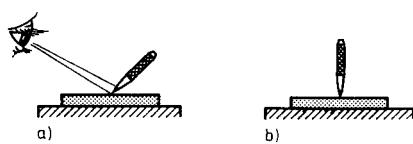


Figura 1-109. Graneteado correcto.  
a) Colocar el granete inclinado de forma que se vea el centro.  
b) Colocar el granete vertical y granetear.

trazarse líneas paralelas al plano del trazado o a la arista de la pieza. Con el gramil hay que tener cuidado de que la aguja quede corta y esté bien sujetada.

Las líneas o trazos deben ser lo más finos posible, pero claros. En las piezas de fundición y de forja se da fucsina a la superficie (aceite teñido de rojo). Los metales ligeros se pintan generalmente con laca de trazar negra o roja. A las piezas para máquinas que ya han sufrido un mecanizado de desbaste, se les aplica una pintura azul o se las colorean con una pasta de trazar, y también se cobrean previamente con una solución de sulfato de cobre. Antes de trazar debe alisarse la superficie, con el fin de que el trazo sea bien visible. Para trazar se parte de una línea de referencia (eje) o de una arista.

#### Graneteado

Las líneas pueden marcarse con granetazos de control (las líneas largas rectas a grandes intervalos, y las de recorrido variable a intervalos más cortos entre granetazos). La punta del granete debe tener un ángulo de 30 a 40°. Los granetes para corte con soplete tienen un ángulo de 60° a 75°.

Los granetes para taladros tienen un ángulo de 90° y se emplean para ensanchar los granetazos de trazado, con el fin de guiar la broca. Los agujeros por taladrar deben llevar circunferencias y puntos de granete de control con fines de verificación.

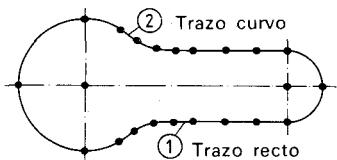


Figura 1-110. Puntos de granete para comprobación.  
1) Graneteado a distancias grandes.  
2) Poner puntos de granete más cerca.



Figura 1-111. Trazado de divisiones para orificios.  
Si no existe centro en el taladro de la pieza a trazar, se coloca un taco de madera como base del compás.

#### Ejercicio de trazado

##### Reflexiones preparatorias

- Leer el plano de la pieza y determinar las aristas de referencia.

- Medir la pieza semiacabada y en caso necesario limar en forma plana o angular la superficie de referencia.
- Preparar los instrumentos de trazar (punta de trazar, compás, regla graduada y escuadra de talón).
- Decisión sobre la eventual aplicación de una laca de trazar.
- Elección del granete (granete de trazar o granete de taladrar).
- Preparación de una base de apoyo para marcar con el granete (base plana o prismática).

### Realización técnica

- Marcar todas las cotas partiendo del borde *A*. Dibujar todas las líneas paralelas a *A*; sólo en las proximidades de los puntos de intersección.
- Trazar el eje *B*. Dibujar todas las líneas paralelas al eje *B*.
- Marcar con el granete los centros de las circunferencias y dibujarlas.
- Dibujar las líneas de unión.
- Marcar el ángulo de  $90^\circ$  en los puntos de intersección de las líneas de plegado y dibujar líneas paralelas a 5 mm de distancia de la línea de plegado.

### Útiles

Los útiles hacen posible la fijación rápida y exacta de las piezas. Pueden construirse con piezas normalizadas, perfiles, placas base y escuadras. Las escuadras deben tener una planicidad y angularidad exactas.

Para fijar las piezas se emplean bridas de tensión mecánicas o bridas roscadas, así como elementos neumáticos e hidráulicos.

La nivelación correcta de la pieza respecto de la herramienta se consigue mediante pasadores, bulones, topes y prismas. La figura muestra un ejemplo de útil de fijación para taladrar perfiles angulares. Al comparar los costes de fabricación de piezas fabricadas manualmente una a una, con los de las fabricadas en serie, hay que tener en cuenta la influencia de diversas magnitudes.

1. Por debajo de un número determinado de piezas el coste con útiles es mayor que sin ellos. Algunas causas de esto son: el coste de la fabricación de los útiles, el valor del utillaje y la adaptación al sistema de fabricación.
2. Por encima de un número determinado de piezas, los útiles suponen un ahorro. Algunas causas de ello son: almacenamiento más corto debido a la reducción del tiempo de recorrido de las piezas. Menores costes de mano de obra y máquinas por el ahorro de tiempo por pieza. Intereses más bajos por el incremento del tiempo útil de las máquinas. Disminución de los costes de herramientas al emplear un menor número de medios de verificación y de herramientas de trazar.

#### Hay que tener en cuenta:

**No quemar la punta de trazar afilándola.** — Sujetar fijamente la punta de trazar en el gramil, y de forma que quede corta. — Llevar la punta de trazar a lo largo de la arista inferior de la regla. — Evitar los trazos dobles. — Los trazos no deben desaparecer al limar en desbaste. — No utilizar el mármol como placa de enderezar.

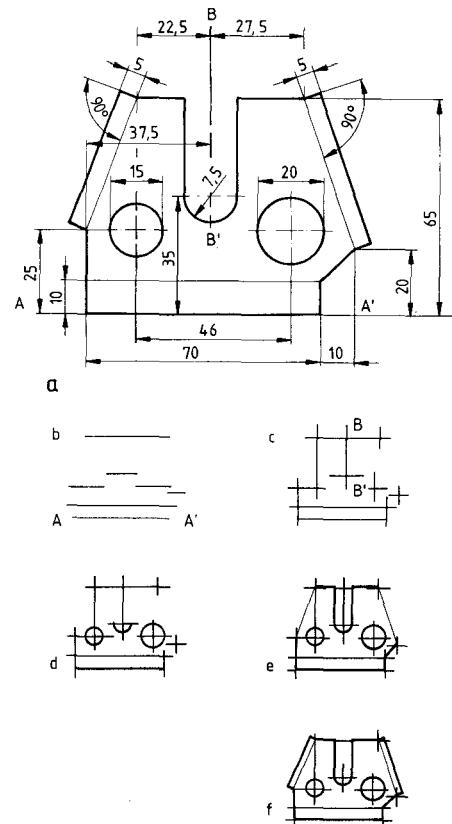


Figura 1-112. Ejercicio de trazado.

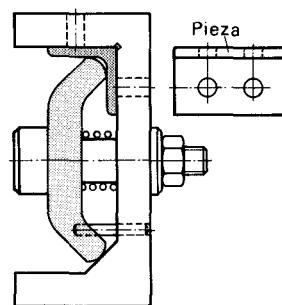


Figura 1-113. Útil para taladrar angulares de acero.

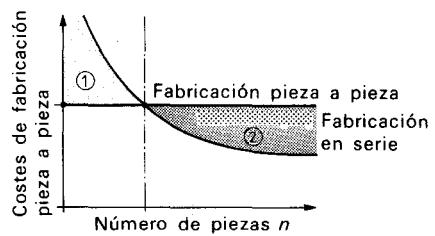


Figura 1-114. Influencia de los útiles en los costes.

## Ejercicios

### Fundamentos

#### Magnitudes, unidades, símbolos

- De una pieza se conocen las siguientes dimensiones:  $l=250 \text{ mm}$ ,  $m=0,65 \text{ kg}$ ,  $T=303 \text{ K}$   
¿Qué magnitudes y unidades fundamentales se indican de esta forma?
- ¿A qué magnitudes fundamentales están asignadas las unidades fundamentales kilogramo (kg), segundo (s) y metro (m)?
- Definir la unidad fundamental «metro».
- Convertir las siguientes magnitudes físicas en múltiplos decimales:
  - 200 cm,
  - 40000 kg,
  - 35 dam
- Convertir las siguientes magnitudes físicas en submúltiplos decimales de las unidades:
  - 0,0005 mm,
  - 0,06788 m,
  - 0,000040 g
- Expresar las siguientes longitudes en mm:
  - 0,03 m;
  - 0,06 dm;
  - 0,45 cm;
  - 0,0007 m;
  - $1\frac{1}{8}''$ ;
  - $1\frac{1}{4}''$
- El diámetro de un bulón de acero es de 18,91 mm y se aumenta por galvanizado (capa protectora de cromo) a 18,95 mm. ¿Qué espesor tiene la capa protectora en  $\mu\text{m}$ ?

#### Operaciones de verificación, conceptos de metrología, errores de medición

- De un redondo deben cortarse 812 piezas cilíndricas de 150 mm de longitud cada una. ¿Qué verificaciones deben realizarse en la pieza?
- Ordenar los siguientes instrumentos de medición en a) patrones, y b) instrumentos indicadores: escala graduada, transportador de ángulos, galgas angulares, tornillo micrométrico, galgas paralelas, pie de rey.
- Definir la diferencia entre medición y calibrado.
- Dar un ejemplo de medición directa y otro de medición indirecta.
- Una cota de fabricación es  $50^{+0,2}_{-0,1}$ 
  - Determinar la cota máxima, la cota mínima y la diferencia (tolerancia).
  - Decisión, si la medida es 50,4 mm.
- Un plano indica como medida teórica una longitud de 20,5 mm. La cota real puede desviarse un 1% de la teórica. ¿Qué longitudes están admitidas?
- Explicar un proceso de medición indirecta empleando un compás. Indicar las posibles causas de error.
- En un instrumento de medición se distingue:
  - subdivisión de la escala, valor mínimo de la escala y medida,
  - Intervalo de indicación e intervalo de medición.
 Diferenciar estos conceptos.
- ¿Qué es la inseguridad en el resultado de una medición?
- ¿Qué se entiende por «error de medición»?
- Citar las causas del error de medición.
- Explicar la diferencia entre errores sistemáticos y accidentales.
- Citar las causas de error más importantes.
- Describir el principio metrológico que se cumple en un tornillo micrométrico de herradura y que no se cumple en un pie de rey.
- Describir el error de lectura denominado «paralaje».
- ¿Dónde y cómo se producen errores del instrumento?
- ¿Qué pueden producir los errores de posición?

- La temperatura de referencia de una galga es 20°C. ¿Qué valor de medición indica con una temperatura superior?
- ¿Cómo pueden evitarse los errores debidos a la influencia del calor?
- ¿Qué ocurre si la fuerza que se ejerce al medir es demasiado grande o demasiado pequeña?
- Las superficies de medición de los pies de rey y tornillos micrométricos pueden desgastarse por una manipulación inadecuada. ¿Qué error de medición puede presentarse y cómo determinarlo?
- La verificación de un tornillo micrométrico con una galga dio como resultado: galga de 20,000 mm, valor medido con el micrómetro 20,010 mm.  
Indicar el error de medición y decir si se trata de un error accidental o sistemático.
- Los instrumentos de medición deben colocarse perpendicularmente a la superficie de la pieza. Explicar el motivo.
- ¿Por qué no debe emplearse ningún comparador de precisión para mediciones vastas?

### Medios para verificación de longitudes

#### Verificación con elementos patrón

- ¿Qué se entiende por patrones?
- Las escalas graduadas son elementos patrones, los pies de rey son instrumentos indicadores. Explicar por qué.
- Explicar la diferencia entre galgas cilíndricas y galgas paralelas.
- Opinar sobre:
  - Manejo de las galgas paralelas,
  - Composición de una combinación de galgas.
- Componer con un juego de galgas que consta de las 26 piezas siguientes:
 

1,001 hasta 1,009;  
1,01/1,02/1,03/1,06  
1,1/1,2/1,3/1,6  
1/2/3/6  
10/20/30/60/100 mm

 las siguientes cotas:
  - 6,387 mm
  - 38,45 mm
  - 60,002 mm
  - 74,026 mm
  - 100,13 mm
  - 16,445 mm
 empleando el mínimo de piezas.
- ¿En qué cota debe ser más pequeño el juego de galgas empleado que el diámetro de un taladro a medir, si se utiliza un portagalgas con patas de medición semirredondas como cabalíbre?

#### Verificación con instrumentos indicadores

- Explicar la diferencia entre los pies de rey de la forma A y los de la forma B.
- ¿Qué mediciones pueden realizarse con los pies de rey?
- ¿A qué pueden atribuirse los errores de medición con el pie de rey?
- Citar las posibilidades que existen de verificar los límites de error de un instrumento de medir longitudes.
- La subdivisión del nonius puede ser de 1/10 mm, 1/20 mm ó 1/50 mm. ¿Cómo explicar estos diferentes valores?

43. Dibujar para la medida 24,5 mm, la lectura de un pie de rey con nonius de 1/10 con una ampliación de 10 a 1.
44. ¿Cómo influye la fuerza aplicada al pie de rey, en el resultado de la medición?
45. ¿Qué se entiende por tolerancia libre?
46. Para la cota nominal 40 mm y un grado de precisión medio, determinar las desviaciones admitidas así como las cotas máxima y mínima.
47. Para un ángulo de 20° y un grado de precisión vasto, o sea con tolerancia libre, determinar el ángulo máximo y el mínimo admitidos.
48. Hacer un esquema del principio técnico de un tornillo micrométrico con escala de 1/100 mm.
49. Indicar las fuentes de error que pueden presentarse al medir con un tornillo micrométrico de herradura.
50. Fundamentar los errores representados en la figura 1-54 cuando se mide con un tornillo micrométrico para interiores.
51. ¿Con qué dispositivo se mantiene constante la fuerza de medición en un tornillo micrométrico de herradura?
52. Razonar la aparición de errores en la medición cuando las superficies de medición están sucias; la temperatura de la pieza está por encima de la temperatura de referencia.

#### Verificación con comparadores de precisión y con instrumentos neumáticos y electrónicos

53. Describir la importancia de la transmisión en los comparadores de precisión.
54. Explicar la forma de actuar de un comparador de precisión con barra, muesca y filo.
55. ¿Por qué deben tener una carrera libre los comparadores de precisión?
56. Explicar la diferencia entre el comparador de precisión con multiplicación combinada de palanca y rueda dentada y el comparador con multiplicación por fleje tensor.
57. Explicar la transmisión de un comparador de precisión con palpador mecánico y amplificación eléctrica.
58. ¿Qué ventajas reporta la medición múltiple?
59. ¿Cómo se constituye una medición múltiple?
60. ¿Qué ventajas tienen los instrumentos de medición neumáticos?
61. Describir el procedimiento de medición por presión.
62. Describir el procedimiento de medición por diferencia de presiones.
63. Describir el procedimiento de medición por volumen.
64. Describir el procedimiento de medición por velocidad.
65. La medición de longitudes con instrumentos electrónicos se hace por medio de una cadena de medición.
  - a) Citar cada uno de los instrumentos.
  - b) Explicar la diferencia entre indicación analógica y digital.
  - c) Explicar un principio de medición de longitudes.
66. Citar ejemplos de medición única, medición suma, y medición diferencia con instrumentos electrónicos para longitudes.

#### Verificación con calibres

67. Explicar la diferencia entre calibres de forma y calibres de cotas.

68. ¿Qué puede verificarse con los calibres?
69. ¿Cómo es posible determinar el «pasa» o «no pasa» al emplear un calibre de tolerancias (calibre de exteriores o de interiores)?
70. ¿Qué significa la marca roja en los calibres de tolerancias?
71. ¿Cómo debe ser la fuerza de verificación cuando se trabaja con calibres de tolerancias?
72. ¿Qué ocurre si un calibre de exteriores se aprieta con una fuerza superior a la admitida contra el eje a medir?

#### Medios para verificación de ángulos

73. Definir la unidad angular radián e indicar la dependencia entre grado y radián.
74. En las escuadras de acero de 90° se distingue la forma A, la forma B y la forma C. Detallar estas escuadras e indicar su aplicación.
75. Con un juego de galgas angulares formado por:
  - 6 galgas de 1° 5, 15, 30, 45 grados
  - 5 galgas de 1, 3, 5, 20, 30 minutos
  - 5 galgas de 1, 3, 5, 20, 30 segundos,
 componer las siguientes cotas angulares:
  - a) 63° 15' 35''
  - b) 17° 45' 12''
  - c) 38° 0' 5''
  - d) 88° 12'
  - e) 10° 37' 38''
  - f) 0° 16' 17''
76. Explicar la inseguridad de medición de 5' con un transportador de ángulos universal.
77. ¿Qué dice la regla de lectura para los transportadores universales?
78. ¿Qué es un nivel de ángulos?
79. ¿De acuerdo con qué principio trabaja una regla de senos?
80. ¿Por qué se designa la regla de senos como un transportador regulable?
81. Con una regla de senos ha de ajustarse un ángulo de 14° 10'.  $L = 200$  mm. ¿Qué combinación de galgas E es necesaria?
82. Describir la medición de conos con galgas cilíndricas y con galgas paralelas.

#### Trazado de piezas

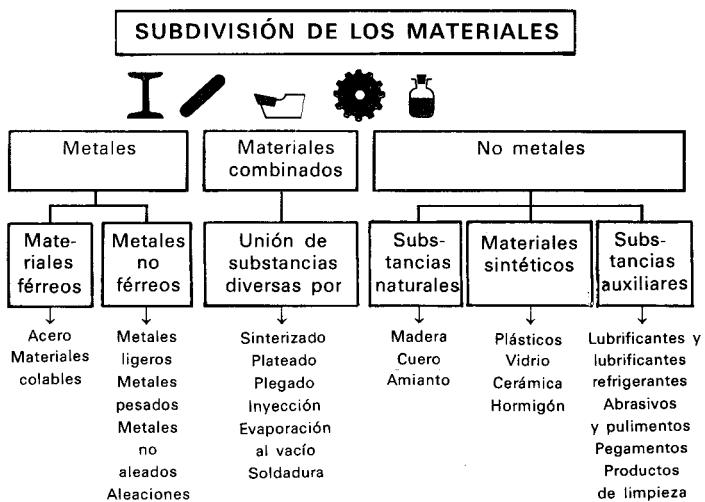
83. ¿Qué finalidad tiene el trazado?
84. ¿Por qué y en qué casos se traza con lápiz o con la punta de latón?
85. ¿Cómo se preparan las piezas para que los trazos sean bien visibles?
86. ¿Por qué se parte, al trazar, de aristas de referencia?
87. Citar las herramientas de trazar más importantes y dar ejemplos de su aplicación.
88. Inscribir en unas circunferencias de diámetro 60, un cuadrado, un octágono, un triángulo, un hexágono, un pentágono y un heptágono.



# 2 Materiales

## 2.1 Propiedades de los materiales

### 2.1.1 Propiedades físicas



#### Subdivisión de los metales de acuerdo con criterios técnicos

- Densidad:** metales ligeros y metales pesados ( $\text{límite} \approx 4,5 \text{ g/cm}^3$ ).
- Punto de fusión:** Metales de bajo punto de fusión (por debajo de  $1\,000^\circ\text{C}$ ); metales de punto de fusión medio (entre  $1\,000$  y  $2\,000^\circ\text{C}$ ); metales de punto de fusión alto (por encima de  $2\,000^\circ\text{C}$ ).
- Estabilidad química:** Metales nobles, p. ej., oro, plata, platino, y metales no nobles, como hierro, cinc, aluminio, etc.
- Significado para la industria:** Metales férreos y metales no férreos.
- Elaboración** (obtención de brutos, conformación, separación y ensamblaje): materiales fundibles y materiales maleables.

#### CUERPOS Y SUS ESTADOS DE AGREGACIÓN

Por cuerpo se entiende en física toda cantidad limitada de una substancia, por ejemplo, una placa de plástico, una pieza de acero

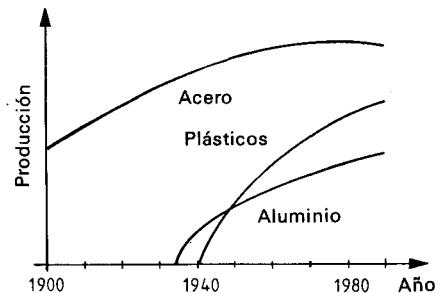
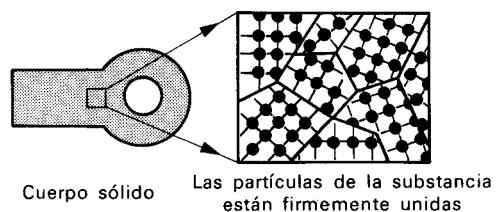


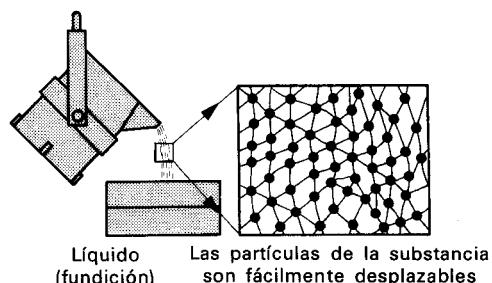
Figura 2-1. Disponibilidad de los materiales.

Los primeros materiales los encontró el hombre en la naturaleza (materiales naturales). Eran productos animales (lana, seda, cuero, cuero), vegetales (madera, resina) o minerales (cristales, piedras, arcilla). Los materiales industriales actuales se obtienen generalmente de forma sintética (acero, metales ligeros, plásticos). Los componentes son substancias básicas que se encuentran en la corteza terrestre o en la atmósfera. La figura muestra el crecimiento de los plásticos, así como la importancia de los materiales metálicos.



Cuerpo sólido      Las partículas de la substancia están firmemente unidas

Figura 2-2. Cuerpo sólido.



Líquido (fundición)      Las partículas de la substancia son fácilmente desplazables

Figura 2-3. Líquido.