

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: reverte@reverte.com

www.reverte.com

Reservados todos los derechos. La reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía 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

1 Verificación de longitudes	1	1.2.5 Verificación con instrumentos de medición electrónicos	17
1.1 Fundamentos	1	Principio de la medición inductiva de longitudes	17
1.1.1 Magnitudes, unidades, símbolos	1	Indicación analógica y digital	17
Magnitudes físicas y unidades	1	Medición única, medición suma, medición diferencia	18
Múltiplos y submúltiplos de las unidades	2	1.2.6 Verificación de calibres	18
Definiciones de las unidades fundamentales	2	Calibres de forma y calibres de cotas	18
Unidades de longitud	3	Calibres de tolerancias	18
1.1.2 Resumen de los medios de verificación	3		
Instrumentos de medición y calibres	3		
1.1.3 Actividades de verificación	4	1.3 Medios de verificación de ángulos	19
Diferencia entre medición y calibrado	4	1.3.1 Verificación con calibres de ángulos fijos	19
Proceso de medición	4	Escuadras fijas (de ángulo fijo)	20
Proceso de calibrado	5	Galgas angulares	20
1.1.4 Conceptos de metrología	5	1.3.2 Verificación con instrumentos de medición de ángulos	20
Elementos característicos de los instrumentos de medición	5	Transportadores indicadores	20
Procedimientos de medición directos	5	Medición de ángulos agudos y ángulos obtusos	21
Inseguridad de la medición	6	Nivel para ángulos	21
1.1.5 Errores de medición	6	Transportadores de ángulos graduables	22
Los errores apreciables hacen incorrecto el resultado de la medición	6		
Los errores accidentales hacen inseguro el resultado de la medición	7	1.4 Trazado de piezas	22
		1.4.1 Instrumentos de trazar	22
		Proceso de trazado	23
		Ejercicio de trazado	24
		Ejercicios	26
1.2 Medios para la verificación de longitudes	8		
1.2.1 Verificación con elementos de medición	8	2 Materiales	29
Medición de longitudes con la regla graduada	8	2.1 Propiedades de los materiales	29
Medición directa con el compás	8	2.1.1 Propiedades físicas	29
Medición de longitudes con galgas	9	Cuerpos y sus estados de agregación	29
1.2.2 Verificación con instrumentos indicadores	10	Dilatación por el calor	30
Medición de longitudes con el pie de rey	10	Temperatura de fusión — Temperatura de solidificación	30
Medición de longitudes con el tornillo micrométrico	11	Temperatura de ebullición — Temperatura de condensación	31
Medición de longitudes con comparadores	12	Masa, peso, densidad	31
Diferencias admitidas para las cotas sin indicación de tolerancia	13	2.1.2 Propiedades tecnológicas y mecánicas	32
1.2.3 Verificación con comparadores de precisión	13	Propiedades tecnológicas	32
Empleo de comparadores de precisión	13	Propiedades mecánicas	33
Comparador de precisión con multiplicador por palanca	14	2.1.3 Propiedades químicas	33
Comparador de precisión con multiplicación por palanca y rueda dentada combinadas	14	Procesos químicos y físicos	33
Comparador de precisión con multiplicación por fleje tensor	15	Representación de la estructura de los átomos	34
Comparador de precisión con palpador mecánico y amplificación óptica	15	Elementos	34
Comparador de precisión con contactos limitadores eléctricos	15	Sistema periódico de los elementos	35
1.2.4 Verificación con instrumentos neumáticos	16	Subdivisión de los elementos	35
Procedimientos de medición automáticos	16	Mezclas y combinaciones químicas	36
Modelos de instrumentos de medición neumáticos	16	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	Materiales sinterizados	63
Enlace metálico	38	2.5.1	Conceptos fundamentales	63
Combinaciones con el oxígeno	39	2.5.2	Fabricación y propiedades	63
Valencia de los elementos	39		Aplicaciones	65
Ejercicios	40		Materiales sinterizados de importancia en la industria	65
2.2 Textura de los materiales metálicos	41	Ejercicios		66
2.2.1 Características comunes	41	2.6	Normalización de los materiales metálicos	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 sustancias	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 sustancia y de una aleación	43		Codificación de las designaciones normalizadas del acero	69
Metal de una sola sustancia	43		Designación de los aceros mediante números de material	72
Aleaciones	43	2.6.2	Diferentes clases de acero	72
Dureza y resistencia de una aleación	44		Aceros de construcción básicos y de calidad	72
2.3 Materiales féreos	44		Aceros de calidad y aceros finos	73
2.3.1 Combinaciones en el mineral de hierro	44		Aceros inoxidables	75
Rocas con contenido de hierro	44		Aceros para herramientas	75
2.3.2 Obtención del hierro bruto	45		Designaciones para bandas y chapas	75
Reducción de los óxidos metálicos	45	2.6.3	Formas comerciales de los aceros	76
Reducción de los óxidos de hierro	46		Normalización de los productos planos de acero	76
2.3.3 Hierro bruto, acero, fundición	46	2.6.4	Materiales fundidos/metales no féreos	77
Del hierro bruto al acero y la fundición	46		Designación de los metales colables	77
2.3.4 Diversas calidades de aceros	48		Designación de los metales no féreos	78
Aceros no aleados y aleados	48	Ejercicios		80
Los componentes de una aleación modifican las propiedades	49	2.7	Corrosión de los materiales metálicos	81
2.3.5 Procedimientos de obtención de acero	49	2.7.1	Causas de la corrosión	81
Procedimientos de afino	49		Influencias químicas sobre los metales	81
Procedimientos de inyección de oxígeno	50	2.7.2	Clases de corrosión	84
Procedimiento Siemens-Martin	50		Influencias electroquímicas sobre los metales	84
Procedimiento eléctrico	50	2.7.3	Protección contra la corrosión	85
Procedimiento de refundición	51		Recubrimientos no metálicos	85
2.3.6 Colada de acero	51		Recubrimientos metálicos	85
Tratamiento al vacío	51		Recubrimientos químicos	86
Acero colado sin calmar	52		Protección catódica contra la corrosión	86
Acero colado calmado	52	2.8	Plásticos	87
Procedimientos de colada	52	2.8.1	Fundamentos	87
2.3.7 Materiales colados	53		Subdivisión y propiedades	87
Hierro fundido	53		Composición química	87
Fundición maleable	53	2.8.2	Subdivisión tecnológica	88
Acero moldeado	54		Diversas propiedades de los termoeestables y termoplásticos	88
Ejercicios	54	2.8.3	Fabricación de piezas	89
2.4 Materiales metálicos no féreos	55		Elaboración de plásticos termoeestables	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 a calentamiento	91
Aleaciones de magnesio	57	2.8.5	Conformación y pegado	92
Titanio, símbolo Ti	58		Conformación de los plásticos	92
2.4.2 Metales pesados	58		Pegado de los plásticos	93
Cobre, símbolo Cu (cuprum)	58	2.8.6	Materiales combinados	93
Aleaciones de cobre	59		Plásticos reforzados con fibra de vidrio	93
Cinc, símbolo Zn	60	Ejercicios		94
Aleaciones de cinc	61			
Estaño, símbolo Sn (stannum)	61			
Aleaciones de estaño	62			
Plomo, símbolo Pb (plumbum)	62			
Aleaciones de plomo	63			

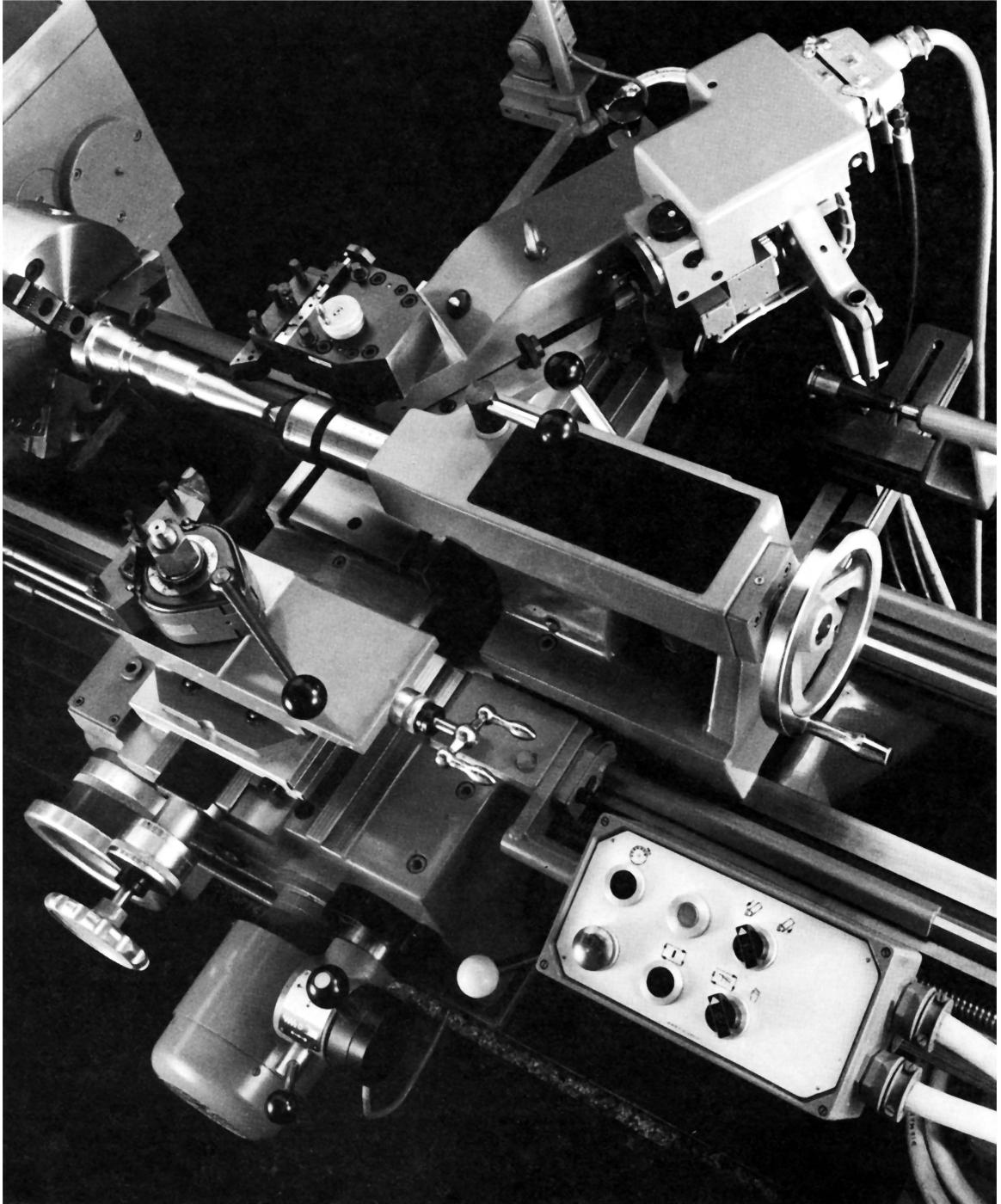
2.8.7	Resumen sobre los plásticos	95	Procesos de conformación por aplanado y enderezado	139
2.9	Ensayo de materiales	96	Máquinas de conformar	141
2.9.1	Procedimientos mecanotecnológicos	96	Ejercicios	142
	Ensayos en el taller	96		
	Ensayo de resistencia a la tracción (DIN 50145)	97	3.4 Separación por seccionado	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
	Ejercicios	106	Corte con cizalla	145
			Acción de la palanca y fuerza de corte	146
3	Técnica de la fabricación	107	El trabajo con la tijera manual para chapa (tijera de hojalatero)	147
3.1	Procedimiento de fabricación	107	Cizallas	147
3.1.1	Subdivisión	107	Defectos en el trabajo de cizallado	148
	Formación de brutos, conformación, corte, unión, recubrimiento, modificación de las propiedades de los materiales	107	3.4.4 El corte de forma	148
3.1.2	Fundamentos físicos	108	Herramientas de corte	148
	Composición y descomposición de fuerzas	113		
	Rozamiento y fuerza de rozamiento	114	3.5 Separación por arranque de viruta a mano ...	150
	Momento torsor, 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
	Ejercicios	120	Trabajos de cincelado	152
3.2	Formación de brutos	121	3.5.3 Aserrado	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	Sujeción 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
	Ejercicios	130	Forma de las roscas	159
3.3	Conformación	131	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	Ejercicios	162
	Conformación por compresión en estampa ...	133	Separación por seccionado	162
	Conformación por extrusión	134		
	Conformación por estirado de deslizamiento y embutición profunda	135	3.6 Corte por arranque de viruta con máquina ...	163
3.3.2	Conformación por momento flector	136	3.6.1 Procesos de arranque de viruta	163
	Procesos en el plegado	136	Subdivisión de las máquinas	163
	Procedimientos de conformación por plegado ...	137	Procesos de arranque de viruta en máquinas-herramienta	164
			Estructura y movimientos de trabajo de las máquinas-herramienta	165
			Geometría del corte	166
			Tamaño de los ángulos en las cuchillas de torno	167
			Sección de la viruta	168
			Formación de la viruta	168
			3.6.2 Torneado	169
			Estructura de los tornos	169
			Instalación y mantenimiento	172

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	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
Ejercicios	189	Designación de los tornillos	245
3.6.3 Fresado	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	Ejercicios	250
Ejemplo de trabajo	200	3.8.3 Uniones con pasadores	252
3.6.4 Taladrado, avellanado, escariado	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	3.8.4 Uniones enchavetadas	253
Trabajos de taladrado	206	Fuerzas en las uniones enchavetadas	253
Avellanado	207	Tipos de chavetas	253
Escariado	207	3.8.5 Uniones a presión	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	3.9 Unión por composición	255
Ejemplo de trabajo	210	3.9.1 Uniones con bulones	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	3.9.2 Uniones por encaje (inserción)	256
Ejemplo de trabajo	217	Uniones con chavetas de guía (chavetas paralelas)	256
3.6.6 Brochado	219	Uniones con lengüetas	256
Herramientas, formación de virutas, valores de trabajo	219	Uniones con ejes perfilados	256
Brochadoras	220	Fabricación de chaveteros	257
Ejercicios	221	Verificación de chaveteros	257
3.6.7 Rectificado	222	Ejercicios	258
Arranque de viruta con filo indeterminado geométricamente	222	3.10 Unión por conformación	259
Sujeción del cuerpo rectificador	224	3.10.1 Uniones remachadas	259
Rectificadoras	226	Fundamentos	259
Ejemplo de trabajo	229	Fabricación de uniones remachadas	259
Bruído	230	Solicitaciones de las uniones remachadas	260
3.6.8 Superacabado y lapeado	231	Materiales para los remaches	260
Lapeado	231	Tipos de uniones remachadas	260
3.6.9 Lubricación refrigerante	232	Remaches especiales	260
3.7 Separación por erosión	234	Defectos en el remachado	261
3.7.1 Erosión térmica	234	3.10.2 Uniones de chapas	261
Erosión térmica por gas	234	3.11 Unión con pegamentos (adhesivos)	262
Erosión térmica por chispa eléctrica (electroerosión)	235	3.11.1 Uniones pegadas	262
3.7.2 Erosión electroquímica	237	Aplicación del pegado	262
Ejercicios	238	Forma de actuación del pegamento	263
3.8 Unión por apriete y por introducción a presión	238	Superficies y adherencia	263
3.8.1 Procedimientos de unión	238	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
3.12 Unión por soldadura blanda y fuerte	265	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
3.13 Unión por soldadura	270	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	Ejercicios	339
Soldadura por resistencia	280	5 Técnica de montaje	341
3.13.4 Soldadura de plásticos	281	5.1 Tolerancias y ajustes	341
Soldadura por elementos calefactores	281	5.1.1 Tolerancias	341
Soldadura por gas caliente	281	Tolerancias ISO	341
Soldadura por ultrasonidos	281	5.1.2 Ajustes	343
Soldadura por fricción	281	Tipos de ajuste	343
Soldadura por alta frecuencia	281	Sistemas de ajuste	344
3.13.5 Prevención de accidentes	282	Elección de ajuste	345
Precauciones en la soldadura por fusión a gas	282	Unión de elementos a presión	346
Precauciones en la soldadura al arco	282	5.2 Superficies técnicas	347
Ejercicios	283	5.2.1 Forma de la superficie	347
3.14 Modificación de las propiedades de los materiales	284	Errores de las superficies	347
3.14.1 Procedimientos de tratamiento térmico	284	5.2.2 Metrología	348
Modificación de la textura del acero por calentamiento	284	Cotas de superficie y rugosidad	348
Temple	286	Procedimientos de verificación y medición	349
Recocido del acero	288	Ejercicios	352
Bonificado del acero	288	5.3 Piezas de máquinas	353
Tratamiento térmico de los metales ligeros	288	5.3.1 Ejes, árboles, espigas	353
Temple en capas de una pieza	289	Ejes y árboles	353
Ejercicios	291	Espigas (gorrones, etc.)	354
4 Técnica de control	293	5.3.2 Cojinetes de fricción	354
4.1 Automatización de la fabricación	293	Rozamiento y engrase	354
4.1.1 Control y regulación	293	Clases de cojinetes	355
Generalidades	293	Materiales de los cojinetes	356
Tipos de control	293	Conducción del lubricante	356
Control por guía	295	Montaje y mantenimiento	357
Control por programa	296	5.3.3 Rodamientos	358
4.1.2 Control numérico	299	Fundamentos	358
Control NC	299	Fijación de los rodamientos	359
Control CNC	304	Montaje y desmontaje de los rodamientos	360
Rentabilidad de los controles numéricos	306	5.3.4 Juntas de piezas de máquina redondas	361
Ejercicios	308	5.3.5 Acoplamientos	362
		Fundamentos	362
		Clases de acoplamientos	363
		Ejercicios	367
		5.3.6 Ruedas dentadas	367
		Forma de los dientes	367

5.3.7	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
5.3.8	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
5.3.9	Transmisiones	376		Fuerzas de un imán	398
	Transmisión por cadena	376			
	Transmisión por correa	377	6.2	Máquinas eléctricas, transformadores	398
	Accionamientos por rueda de fricción	380	6.2.1	Generadores eléctricos	398
5.3.10	Variadores de velocidad sin escalones	381		Generación de una tensión alterna	398
	Variación continua del número de revoluciones	381		Generadores de corriente alterna	398
	Variadores de velocidad mecánicos	381	6.2.2	Motores eléctricos	399
5.3.11	Equilibrado	383		Principio de los motores	399
	Acción de la fuerza centrífuga	383		Motor de corriente continua en derivación	399
	Desequilibrio estático	384		Motores de corriente trifásica	400
	Desequilibrio dinámico	384	6.2.3	Transformadores	400
	Ejercicios	385		Motores de corriente alterna monofásica	400
				Principio del transformador	400
6	Electrotecnia	387	6.3	Seguridad de los aparatos eléctricos	401
6.1	La electricidad como forma de energía	387	6.3.1	Riegos de accidente	401
6.1.1	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	6.3.2	Medidas de protección	402
	Corriente eléctrica	388		Medidas de protección sin conductor de protección	402
6.1.2	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		Ejercicios	403
	Requisitos a cumplir por los conductores	390			
	La corriente en función de la tensión y la resistencia	391		Índice alfabético	405

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 sustancia de 44 g de dióxido de carbono (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 = $\frac{\text{espacio}}{\text{tiempo}} \quad v = \frac{20 \text{ m}}{4 \text{ s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

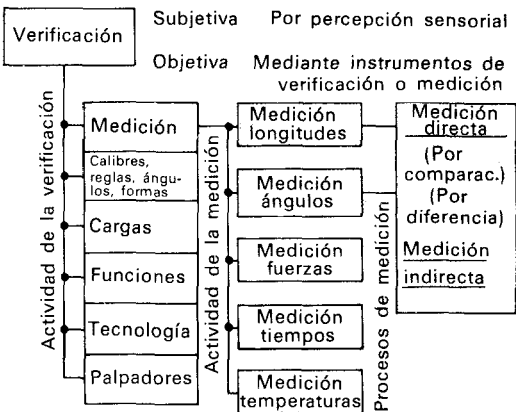


Figura 1-1. Sistematización de los conceptos de la técnica de medición.

Magnitud fundamental	Símbolo	Unidad fundamental	Símbolos
Nombre		Nombre	
Longitud	<i>l</i>	Metro	m
Masa	<i>m</i>	Kilo-gramo	kg
Tiempo	<i>t</i>	Segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	<i>I</i>	Ampere	A
Temperatura termodinámica	<i>T</i> ; θ	Kelvin	K
Cantidad de sustancia <i>n</i> ; ν		Mol	mol
Intensidad luminosa <i>I_v</i>		Candela	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^{86} al pasar del estado $5d_5$ al estado $2p_{10}$ (11.ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1960).

1 kilogramo es la masa del kilogramo patrón internacional (1.ª 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^{133} (13.ª Conferencia de Pesas y Medidas, 1967).

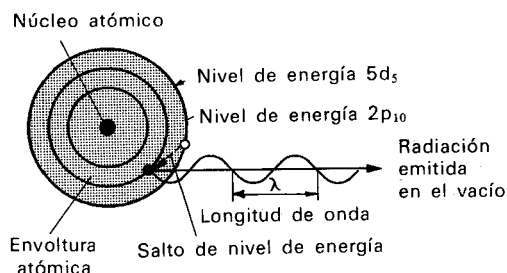


Figura 1-3. Unidad fundamental de longitud.

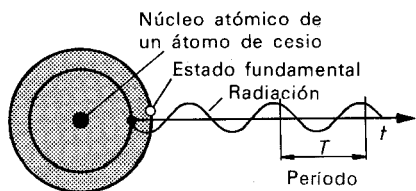


Figura 1-4. Unidad fundamental de tiempo.

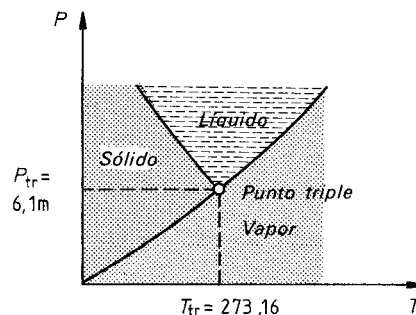


Figura 1-5. Unidad fundamental de temperatura.

1 Kelvin es la $273,16^{\text{va}}$ parte de la temperatura termodinámica del punto triple del agua (13.ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1967).

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

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

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

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

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 $0,2 \cdot 10^{-6}\text{ N}$ (9.ª Conferencia General de Pesas y Medidas, 1948).

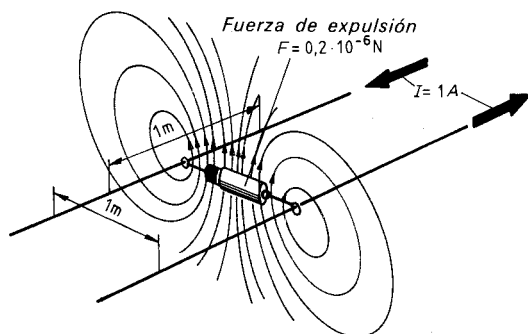


Figura 1-6. Unidad fundamental de intensidad eléctrica.

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
 $1 \text{ m} = 10^1 \text{ dm} = 10^2 \text{ cm} = 10^3 \text{ mm} = 10^6 \mu\text{m} = 10^9 \text{ nm}$

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

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.

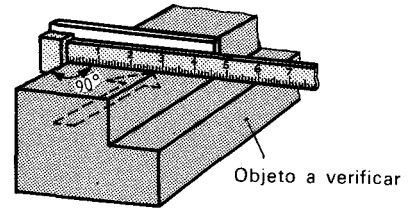


Figura 1-7. Regla graduada
(valor de la escala 1 mm).

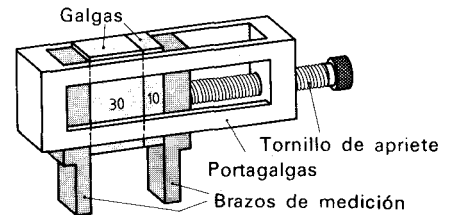


Figura 1-8. Galgas paralelas
(montaje de un calibre normal con galgas).

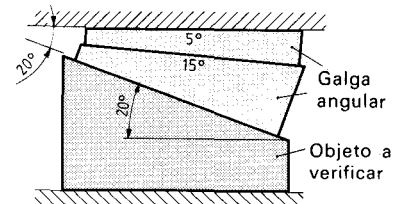


Figura 1-9. Galgas angulares.

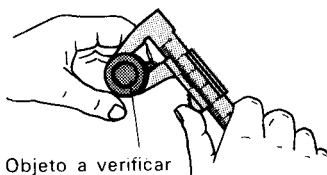
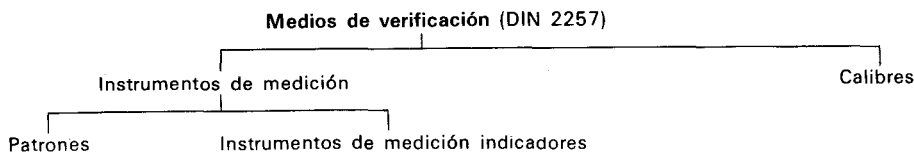


Figura 1-10. Pie de rey (valor normal de la escala 1/10. . . 1/50 mm).

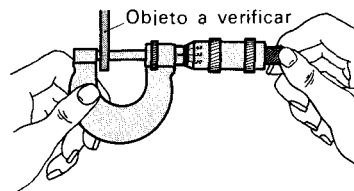


Figura 1-11. Tornillo micrométrico
(graduación 1/100 mm)

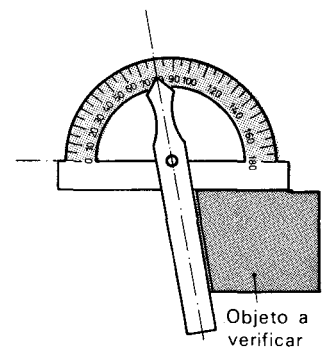


Figura 1-12. Transportador de ángulos
(graduación 5°)

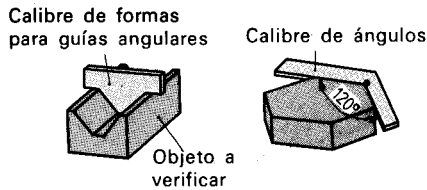


Figura 1-13. Calibres de forma.

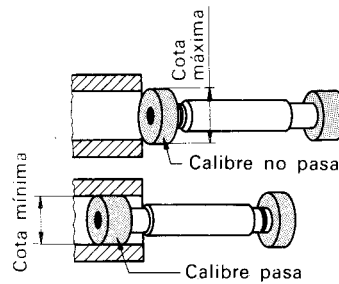


Figura 1-14. Calibre pasa-no pasa.
El calibre con la cota mínima debe pasar por el taladro.
El calibre con la cota máxima no debe pasar por el taladro.

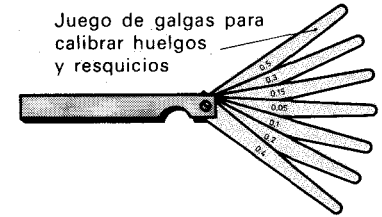


Figura 1-15. Calibres

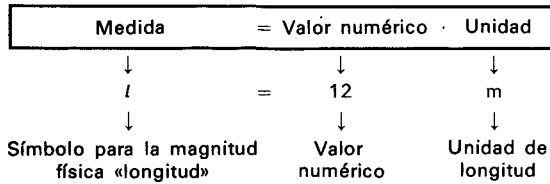


Figura 1-16. Indicación de una medida.

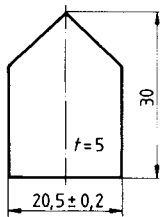


Figura 1-17. Plano de la pieza.

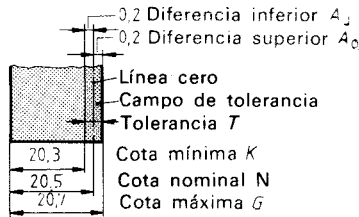


Figura 1-18. Definiciones de las cotas.

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 sobrepasan.

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

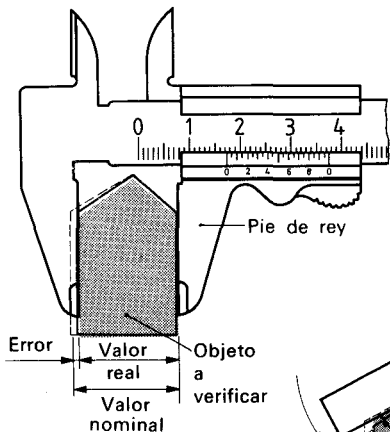


Figura 1-19. Proceso de medición (medición con el pie de rey)

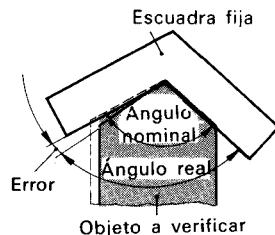


Figura 1-20. Proceso de calibrado (calibrado con escuadra)

límite inferior de 20,3 mm. 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

Error = 20 mm – 20,3 mm = –0,3 mm.

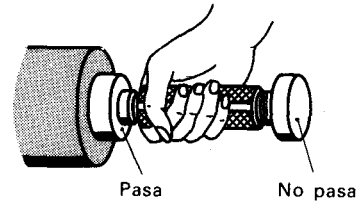


Figura 1-21. Calibre pasa-no pasa

PROCESO DE CALBRADO

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-

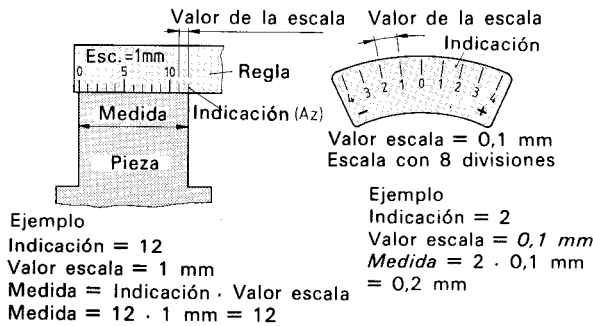


Figura 1-22. Magnitudes características de los instrumentos.

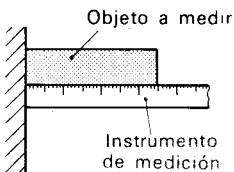


Figura 1-23. Medición directa (regla graduada)

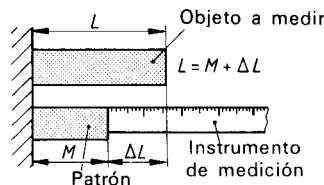


Figura 1-24. Medición por diferencia (regla graduada)

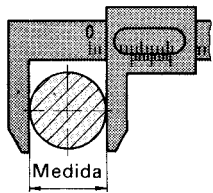


Figura 1-25. Medición directa (pie de rey)

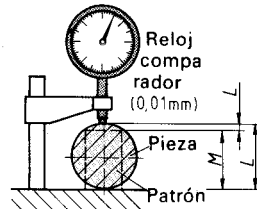


Figura 1-26. Medición por diferencia (reloj comparador)

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

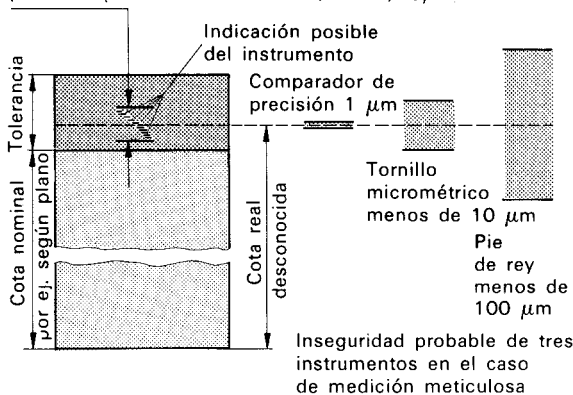


Figura 1-27. Inseguridad en la medición.

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 tornea 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.

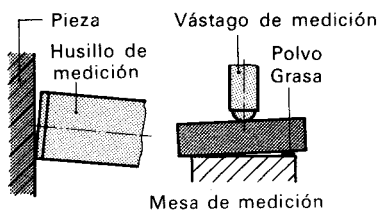


Figura 1-33. Error de posición.

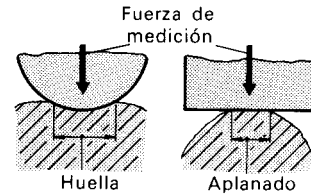


Figura 1-28. Error debido a las fuerzas.

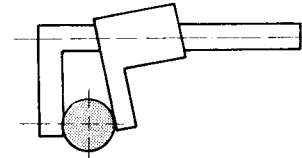


Figura 1-29. El principio metrológico no se cumple en el pie de rey.

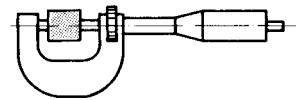


Figura 1-30. El principio metrológico se cumple en el tornillo micrométrico.

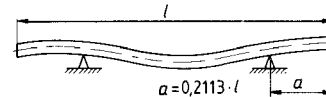


Figura 1-31. Posición con pocos errores de medición, para patrones en forma de barra y objetos a verificar.

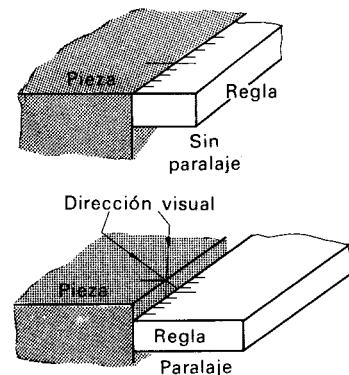


Figura 1-32. Error de paralaje.

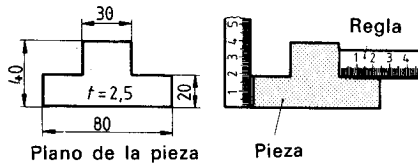


Figura 1-34. Medición directa con regla.

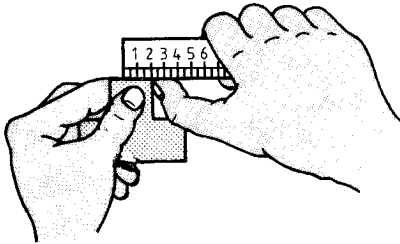


Figura 1-35. Regla graduada.
De esta forma se mide con la regla graduada. Mirar perpendicularmente a la regla.

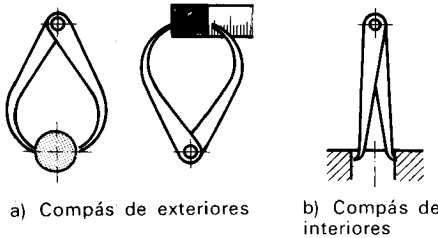


Figura 1-36. Medición indirecta con el compás.

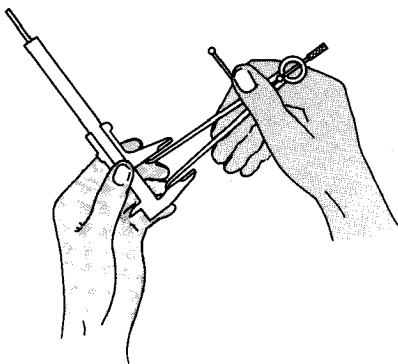


Figura 1-37. Ajuste de la medida.

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.

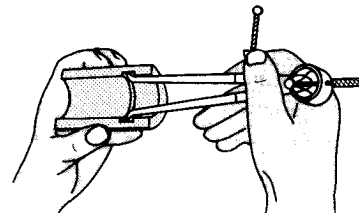


Figura 1-38. Comparación de la pieza con la medida.

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.

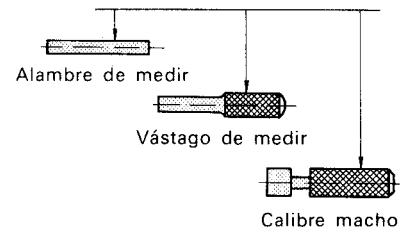


Figura 1-39. Galgas cilíndricas.

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. Después 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.

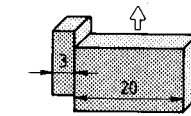


Figura 1-40. Ensamblaje de galgas.

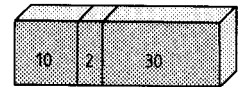


Figura 1-41. Juego de galgas.

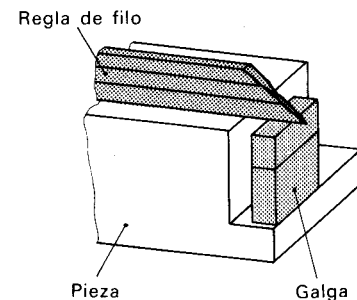


Figura 1-42. Transmisión de la medida por palpado.

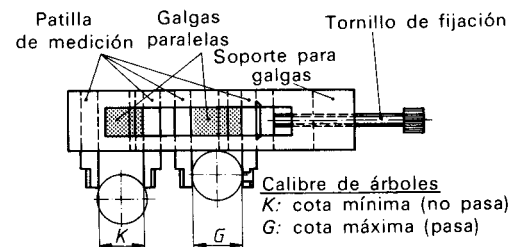


Figura 1-43. Soporte de galgas usado como calibre de tolerancias.

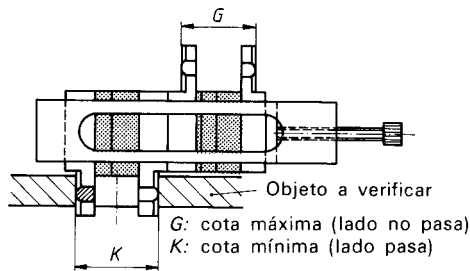


Figura 1-44. Soporte de galgas con patillas de medición semirredondas, usado como calibre para taladros.

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.

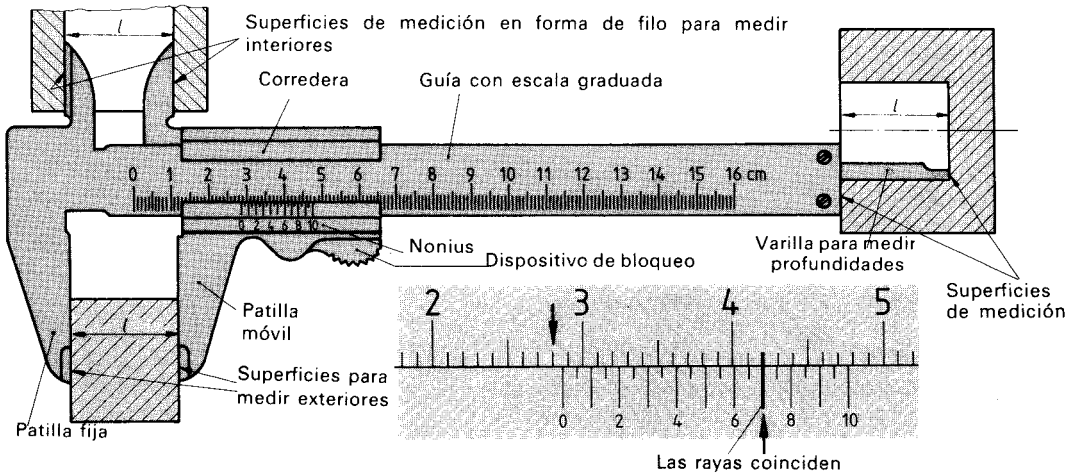


Figura 1-45.

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 ó 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).

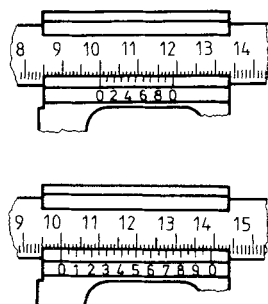


Figura 1-46. Nonius de 1/10 mm y de 1/20 mm.

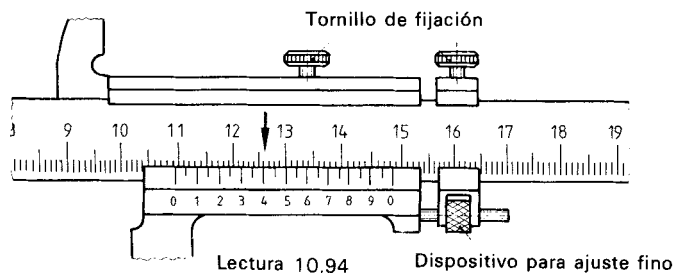


Figura 1-47. Ejemplo de lectura con nonius de 1/20 mm.

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.

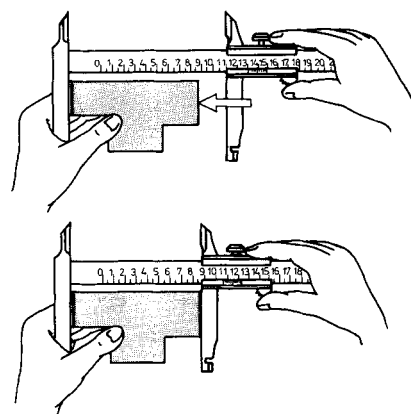


Figura 1-48. Medición correcta con el pie de rey. Apoyar la patilla fija en la pieza y correr la móvil.

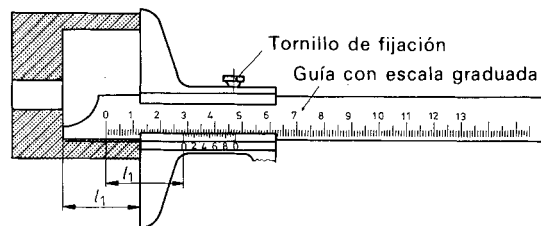


Figura 1-49. Pie de rey para profundidades.

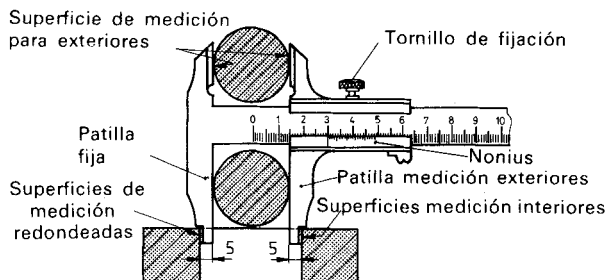


Figura 1-50. Pie de rey de forma B.

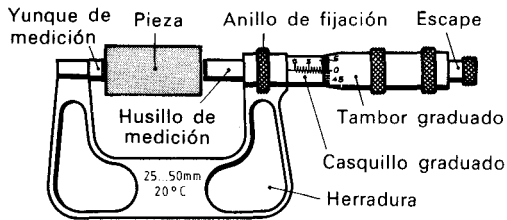


Figura 1-51. Tornillo micrométrico de herradura.

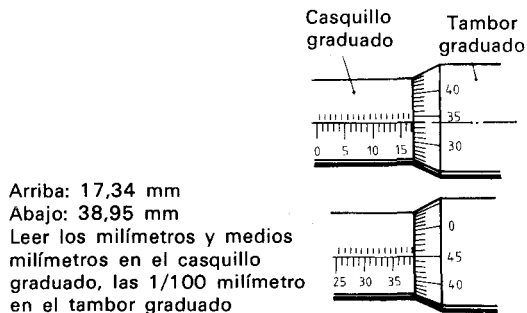


Figura 1-52. Ejemplos de lectura con el tornillo micrométrico.

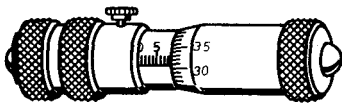


Figura 1-53. Tornillo micrométrico de interiores.

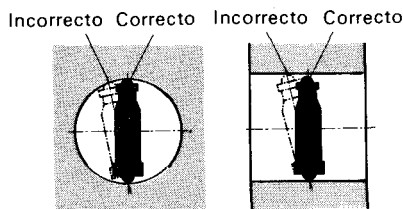


Figura 1-54. Errores en la medición con tornillo micrométrico de interiores.

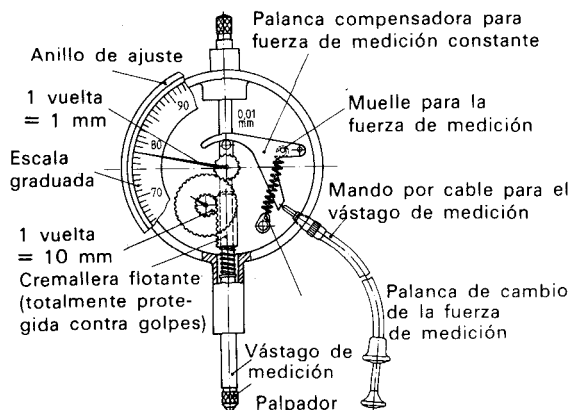


Figura 1-55. Reloj comparador protegido contra golpes.

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.

Acercar 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 comparados: 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 paralaje.

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 mmmm)		
	más de 3...6	más de 6...30	más de 30...120
fino	$\pm 0,05$	$\pm 0,1$	$\pm 0,15$
medio	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$
basto	$\pm 0,2$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$
muy basto	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,5$

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)		
	hasta 10°	más de 10° hasta 50°	más de 50° hasta 120°
fino, medio	$\pm 1^\circ$	$\pm 30'$	$\pm 20'$
basto	$\pm 1^\circ 30'$	$\pm 50'$	$\pm 25'$
muy basto	$\pm 3^\circ$	$\pm 2^\circ$	$\pm 1^\circ$

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 sobrepasan las marcas de las tolerancias se producen señales ópticas y acústicas.

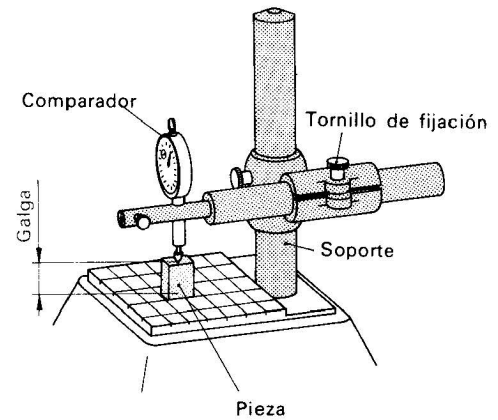


Figura 1-56. Aplicación del comparador.

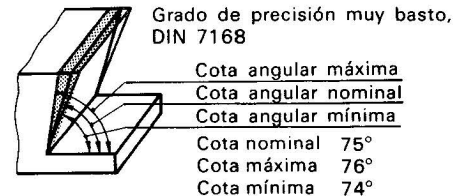
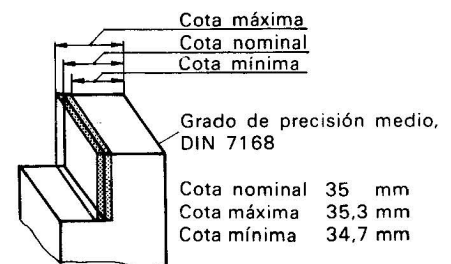


Figura 1-57. Cotas máxima y mínima para longitudes y ángulos.

Marcas de tolerancia, ajustables

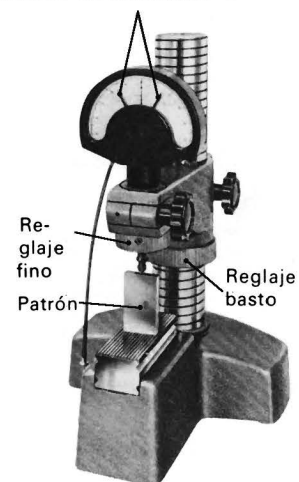


Figura 1-58. Comparador de precisión con soporte.

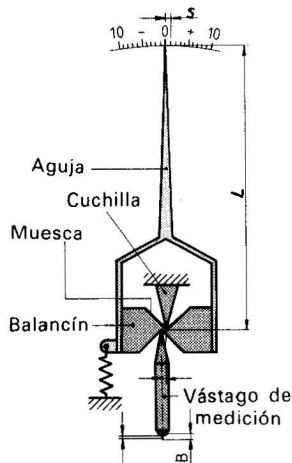


Figura 1-59. Comparador de precisión con multiplicación por palanca.

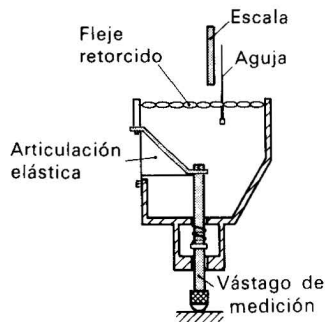


Figura 1-62. Comparador de precisión con multiplicación por fleje tensor.

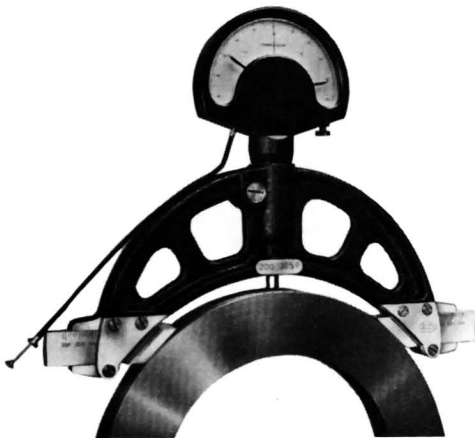


Figura 1-63. Calibre jinetillo con comparador de precisión. Para medir diámetros grandes. Poner a cero con un patrón.

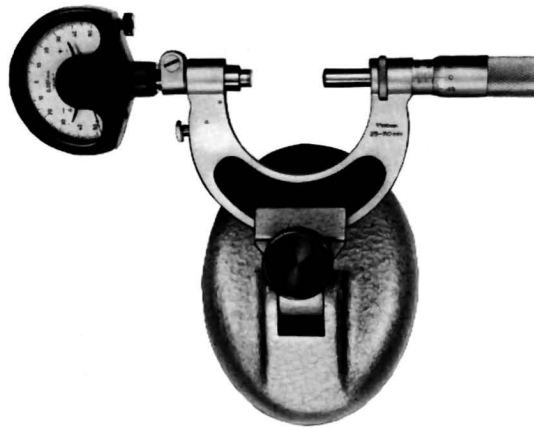


Figura 1-60. Tornillo micrométrico con comparador de precisión. El tornillo micrométrico sustituye aquí al soporte. Al mismo tiempo el comparador limita la fuerza de medición entre 0,5 N y 0,8 N.

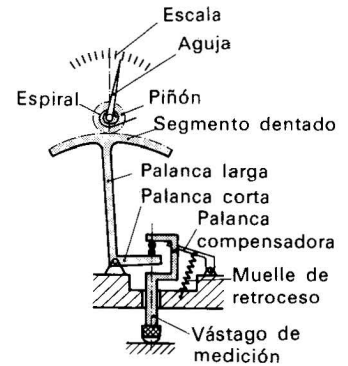


Figura 1-61. Comparador de precisión con multiplicación por palanca y rueda dentada.

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).

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.

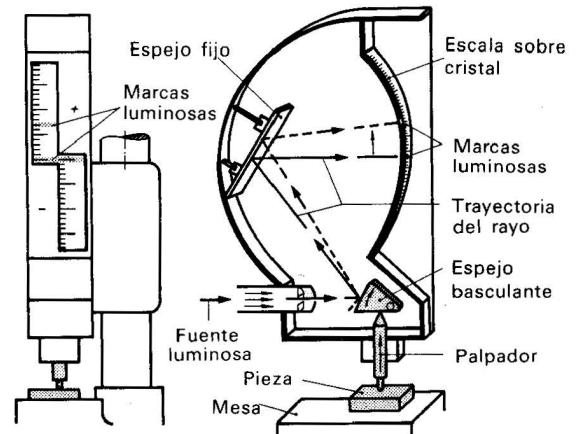


Figura 1-64. Comparador de precisión con palpador mecánico y amplificación óptica.

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 árboles 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 \cong buena; rojo \cong rechazada (demasiado pequeña); blanca \cong 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.

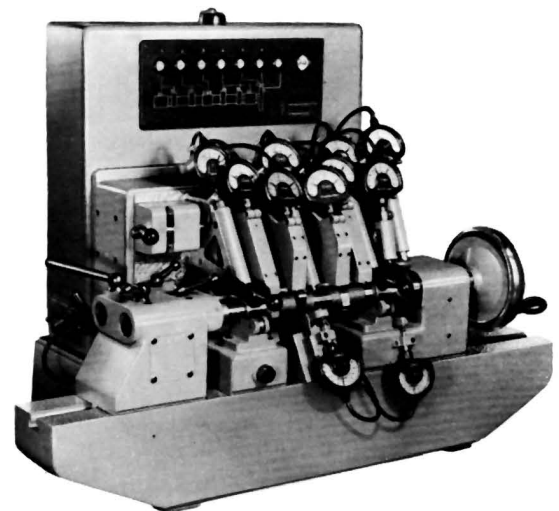


Figura 1-65. Medición múltiple. Comparador de precisión con contactos eléctricos limitadores.

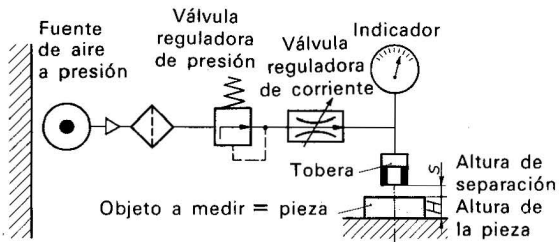


Figura 1-66. Estructura de un dispositivo neumático de medición.

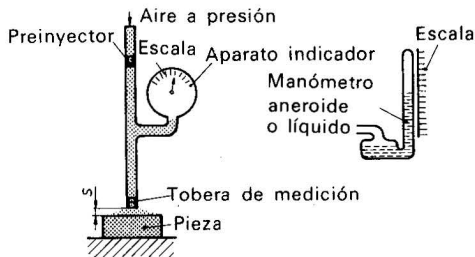


Figura 1-67. Procedimiento de medición por presión, con indicador de manómetro aneroide (a la izquierda) o de manómetro líquido (a la derecha).

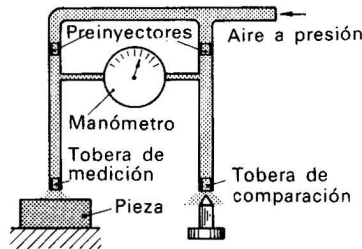


Figura 1-68. Procedimiento de medición por diferencia de presión.

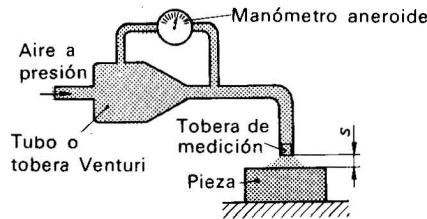


Figura 1-69. Procedimiento de medición por velocidad, con indicador de manómetro aneroide.

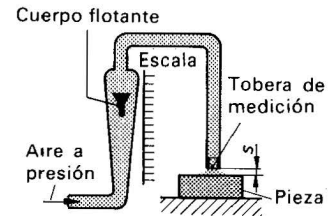


Figura 1-70. Procedimiento de medición por volumen.

MODELOS DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN NEUMÁTICOS

Los instrumentos de medición 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 medición por volumen, el cuerpo flotante se levanta tanto más cuanto más aire salga por la tobera de medición.

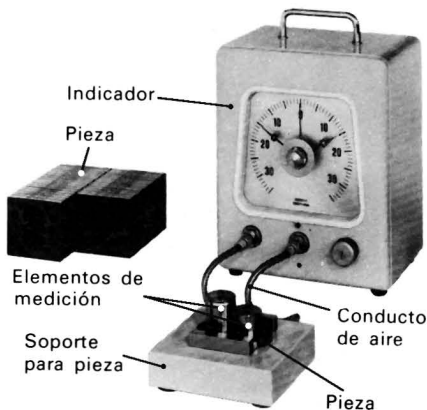


Figura 1-71. Disposición para instrumento indicador de aguja.

1.2.4. Verificación con instrumentos neumáticos

PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN NEUMÁTICOS

Sus ventajas son: gran multiplicación (10 000 veces y más), ejecución robusta (por lo tanto aplicable en el taller), medición sin contacto, sin desgaste, separación de los puntos de medición e indicador, emisión de impulsos con fines de mando.

Si se proyecta por una tobera aire limpio y seco sobre la superficie de medición, pasa por el tubo conductor una determinada cantidad de aire (volumen) a una cierta presión. Si disminuye la distancia entre la tobera y la pieza (separación s), debido a que la pieza es más gruesa que la anterior, entonces el volumen de aire que pasa por unidad de tiempo es también menor. Como consecuencia de esto disminuye la velocidad de salida del aire, aumentando la presión dinámica en el aparato indicador. La diferencia de presiones dinámicas la indica el instrumento de medición (procedimiento de diferencia de presiones). También puede utilizarse como base de medición la diferencia de velocidades o de volúmenes del aire (procedimiento de diferencia de velocidades o de volúmenes).

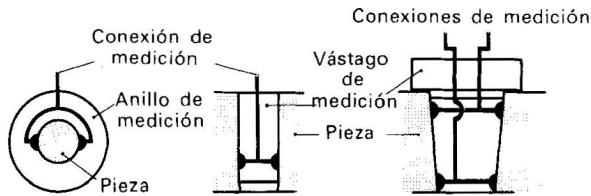


Figura 1-72. Elementos sensores para dispositivos neumáticos de medición.

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 μm . 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 α 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.

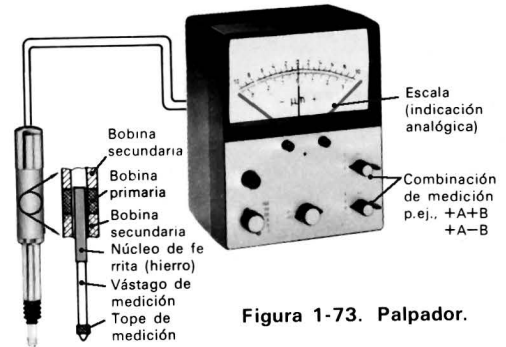


Figura 1-73. Palpador.

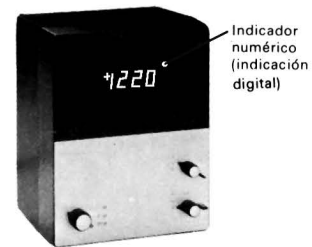


Figura 1-74. Aparatos de medición con escala indicadora e indicador numérico.

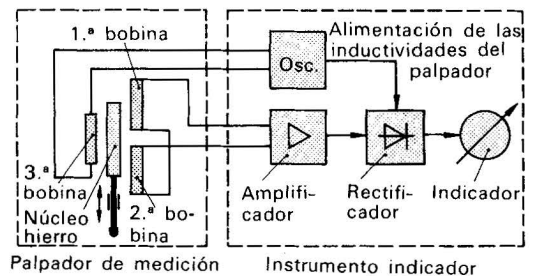


Figura 1-75. Principio de la medición inductiva de longitudes.

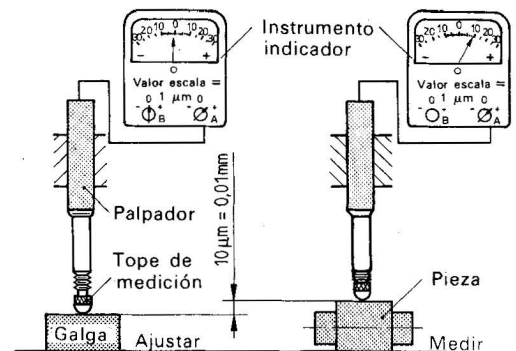


Figura 1-76. Mediciones únicas con el palpador.

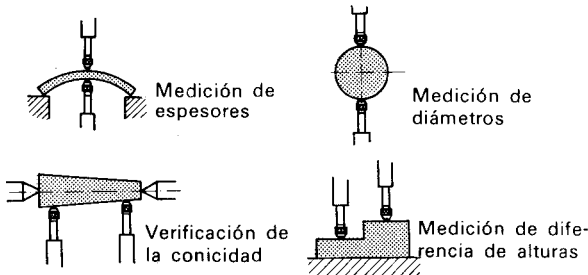


Figura 1-77. Mediciones suma y diferencia.

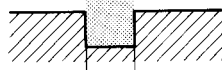
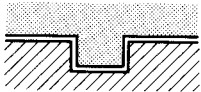
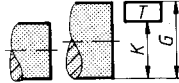
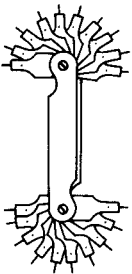
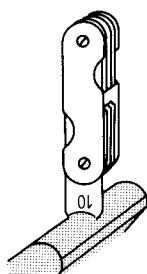
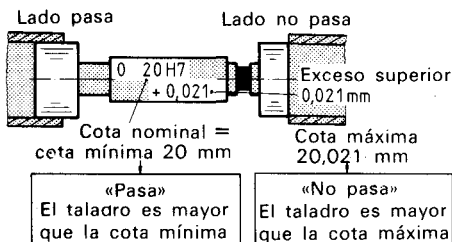
Figura 1-78.
Calibre de forma.Figura 1-79.
Calibre de cotas.Figura 1-80. Calibre
de ajustes.Figura 1-81. Calibre
de tolerancias.Figura 1-82. Calibre
de inyectores.
Para comprobar orificios
de inyectoresFigura 1-83. Calibre de
superficies redondeadas.
Para determinar los radios
de las piezas

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 revisión, 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.

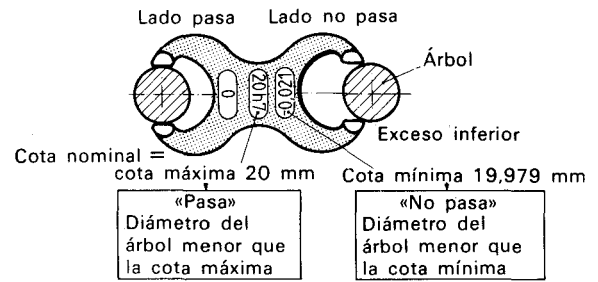


Figura 1-85. Verificación de un árbol con el calibre de tolerancias.

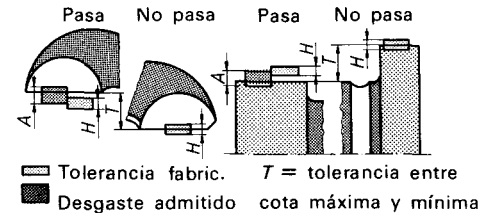


Figura 1-86. Precisión de fabricación y desgaste admitido en los calibres de tolerancias.

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 circunferencia se considera preferentemente que tiene 360° .

Dependencia entre radián y grado

Ángulo completo:	
$1\text{ ángulo completo} = 2\pi\text{ rad}$	
$= 360^\circ$	
Ángulo recto: $1\text{ L} = \frac{\pi}{2}\text{ rad} = 90^\circ$	
Grado: $1^\circ = \frac{2\pi\text{ rad}}{360} = \frac{\pi}{180}\text{ rad} = \frac{1\text{ L}}{90}$	
Minuto: $1' = \frac{\pi}{10800}\text{ rad} = \frac{1^\circ}{60}$	
Segundo: $1'' = \frac{\pi}{648000}\text{ rad} = \frac{1'}{60}$	
Radián: $1\text{ rad} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57,2^\circ$	

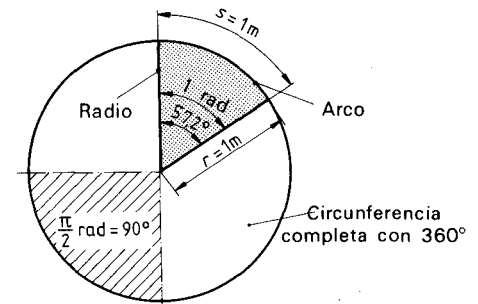


Figura 1-87. Radián y grado.

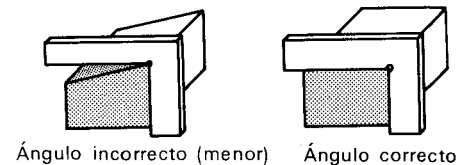


Figura 1-88. Escuadra plana

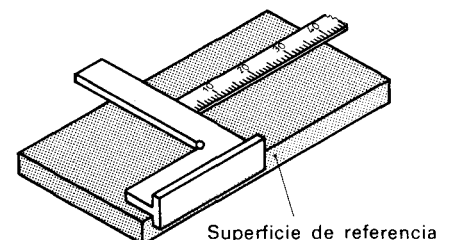


Figura 1-89. Escuadra de talón.

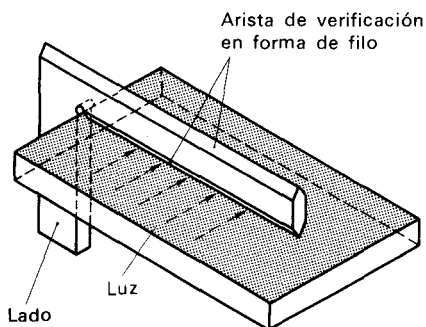


Figura 1-90. Escuadra de filo.

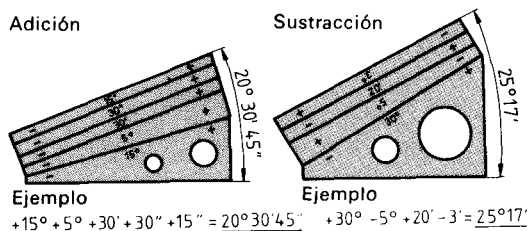


Figura 1-91. Galgas angulares.

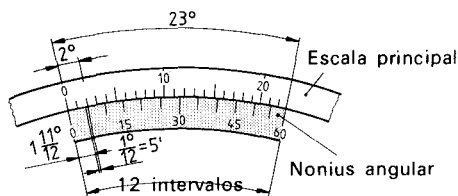


Figura 1-92. Nonius angular.

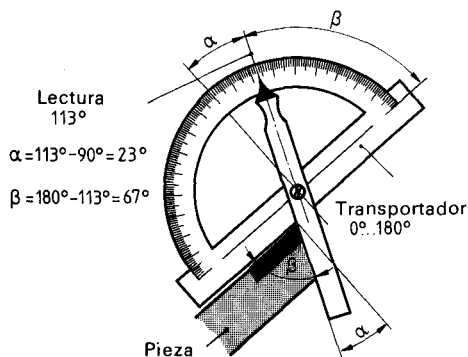


Figura 1-93. Lectura del transportador.

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 $23^{\circ}/12 = 1^{\circ} 55'$, y cada dos subdivisiones de la escala principal 2°.

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

Regla de lectura: se cuentan los ángulos enteros en la escala principal desde 0° ó 90°, 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 y 180°.

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

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:

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

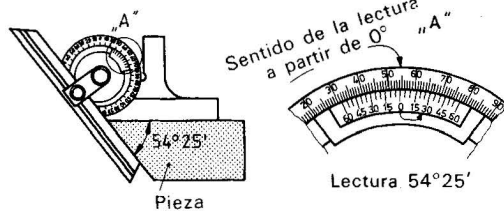


Figura 1-96. Medición de un ángulo agudo.

Para realizar la verificación se coloca el nivel sobre una superficie plana horizontal y se gira 180°. 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° 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°.
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.

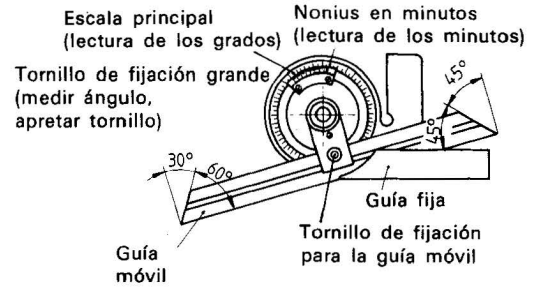


Figura 1-94. Transportador universal.

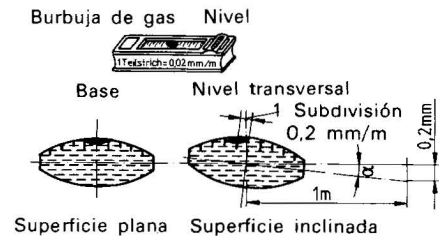


Figura 1-95. Nivel.

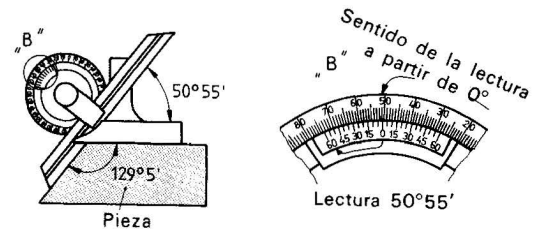


Figura 1-97. Medición de un ángulo obtuso.

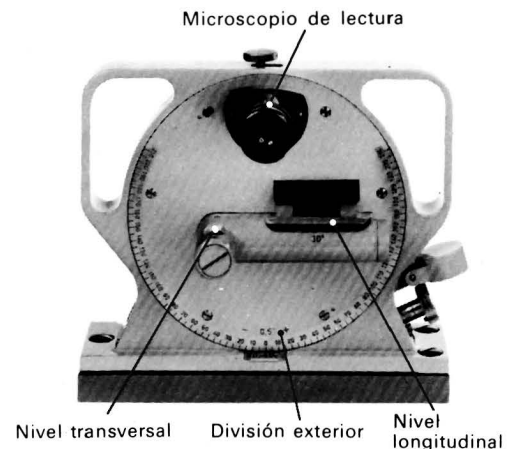


Figura 1-98. Nivel para ángulos, con microscopio.

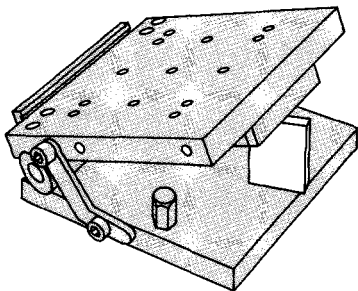


Figura 1-99. Mesa de senos.

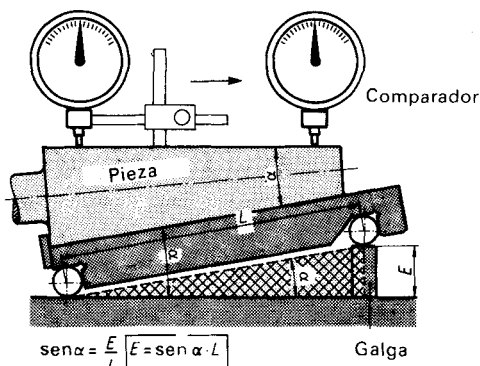


Figura 1-100. Verificación del ángulo de una pieza con regla de senos y comparador.

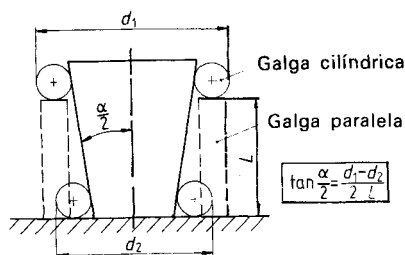


Figura 1-101. Medición de ángulos exteriores con galgas cilíndricas y paralelas.

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 α . 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. — Después 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.

Sin necesidad de trazado 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

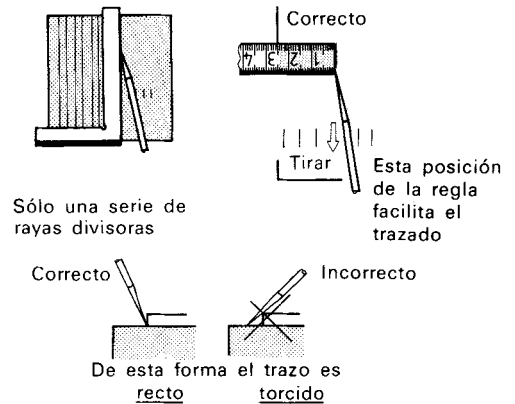


Figura 1-102. Marcado de rayas paralelas.

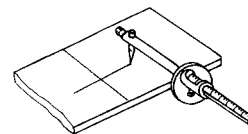


Figura 1-103. Trazado con gramil.

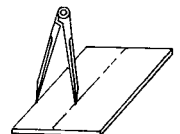


Figura 1-104. Trazado con compás.

Figura 1-105. Marcado de circunferencias.

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

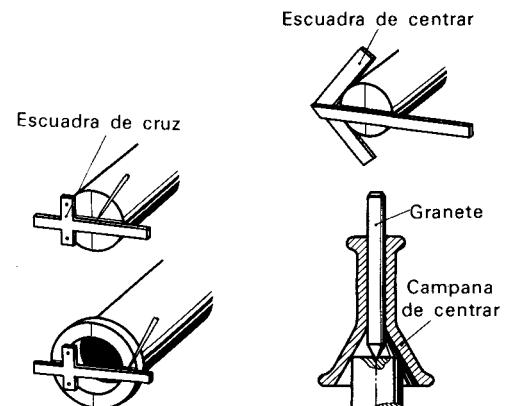
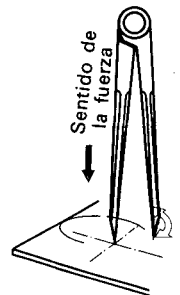


Figura 1-106. Centrado de ejes y taladros.

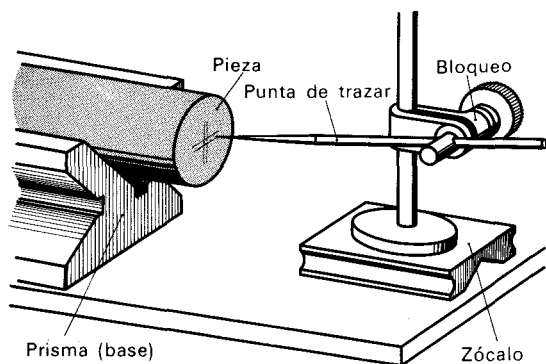
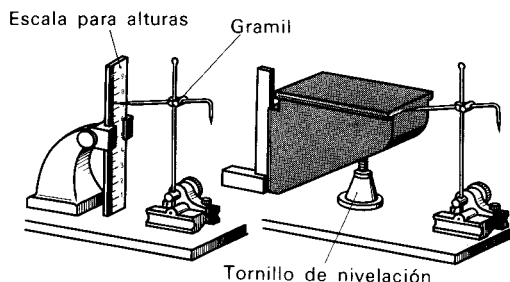


Figura 1-107. Trazado en el mármol.
Marcado de un eje con prisma y gramil, para determinar el centro.



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

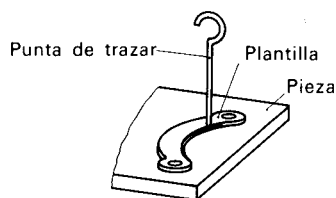


Figura 1-108. Trazado con plantilla.

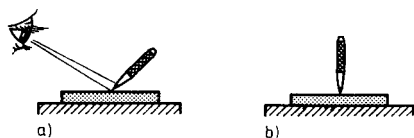


Figura 1-109. Graneteado correcto.

- Colocar el granete inclinado de forma que se vea el centro.
- Colocar el granete vertical y granitear.

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 sujeta.

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 colorea 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.

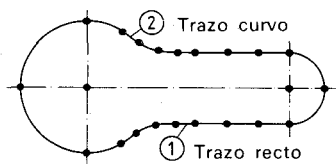


Figura 1-110. Puntos de granete para comprobación.
1) Graneteado a distancias grandes.
2) Poner puntos de granete más cerca.

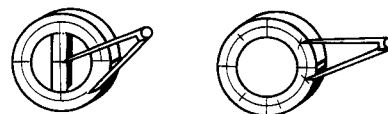


Figura 1-111. Trazado de divisiones para orificios.
Si no existe centro en el taladro de la pieza a trazar, se coloca un taco de madera como base del compás.

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° en los puntos de intersección de las líneas de plegado y dibujar líneas paralelas a 5 mm de distancia de la línea de plegado.

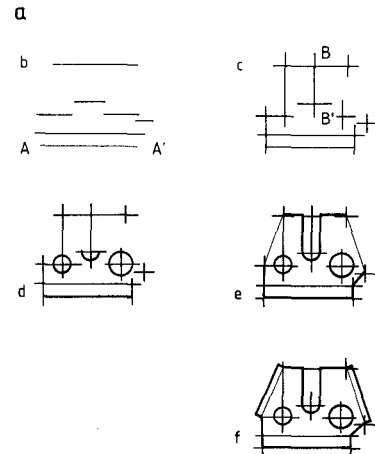
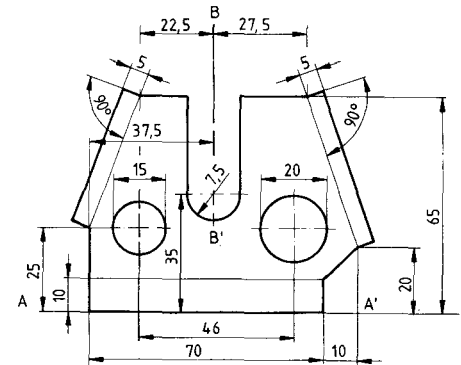


Figura 1-112. Ejercicio de trazado.

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 acortamiento de los tiempos 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.

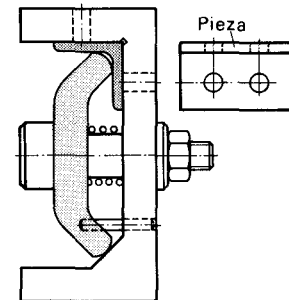


Figura 1-113. Útil para taladrar angulares de acero.

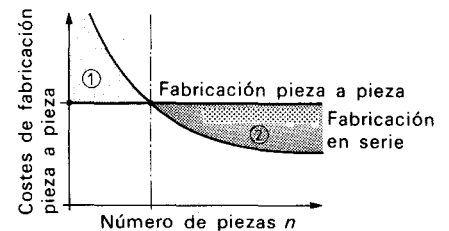


Figura 1-114. Influencia de los útiles en los costes.

Hay que tener en cuenta:

No quemar la punta de trazar afilándola. — Sujetar firmemente 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.

Ejercicios

Fundamentos

Magnitudes, unidades, símbolos

- De una pieza se conocen las siguientes dimensiones:
 $l=250$ mm, $m=0,65$ kg, $T=303$ 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:
a) 200 cm, b) 40000 kg, c) 35 dam
- Convertir las siguientes magnitudes físicas en submúltiplos decimales de las unidades:
a) 0,0005 mm, b) 0,06788 m, c) 0,000040 g
- Expresar las siguientes longitudes en mm:
0,03 m; 0,06 dm; 0,45 cm; 0,0007 m; $\frac{1}{8}$ "; $\frac{1}{4}$ "
- 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 μm ?

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 $50^{+0,2}_{-0,1}$
a) Determinar la cota máxima, la cota mínima y la diferencia (tolerancia).
b) 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:
a) subdivisión de la escala, valor mínimo de la escala y medida,
b) 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 metroológico 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:
a) Manejo de las galgas paralelas,
b) 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:
a) 6,387 mm
b) 38,45 mm
c) 60,002 mm
d) 74,026 mm
e) 100,13 mm
f) 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 calibre?

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.

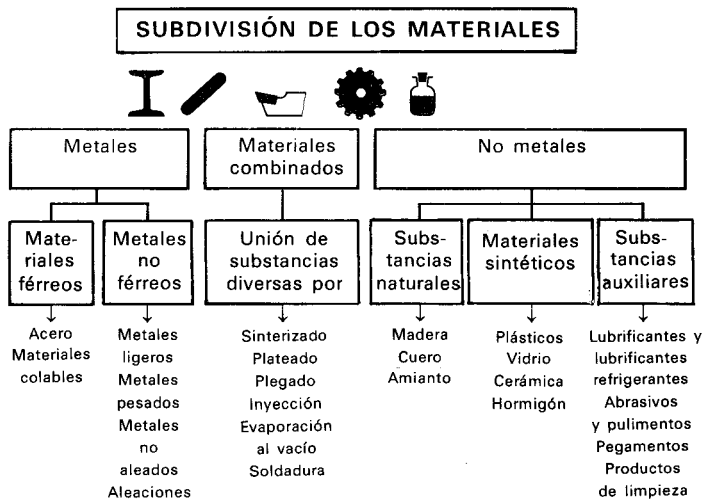
Trazado de piezas

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 (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 sustancia, por ejemplo, una placa de plástico, una pieza de acero

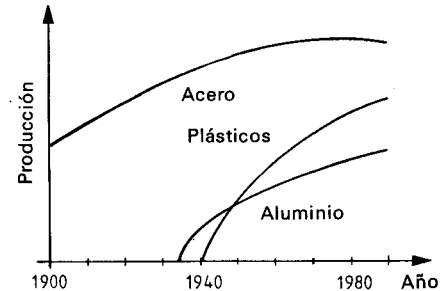


Figura 2-1. Disponibilidad de los materiales.

Los primeros materiales los encontró el hombre en la naturaleza (materiales naturales). Eran productos animales (lana, seda, cuero, cuerno), 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 sustancias 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.

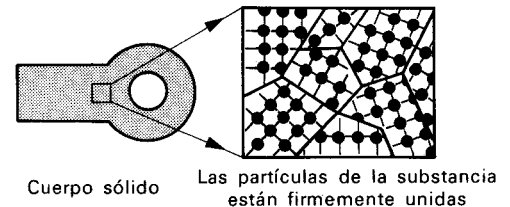


Figura 2-2. Cuerpo sólido.

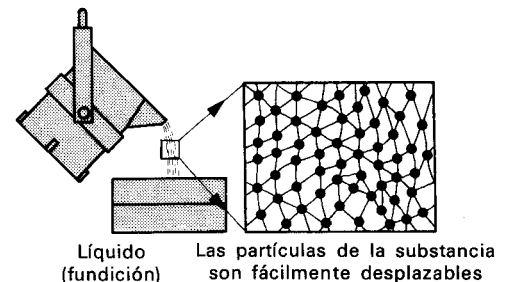


Figura 2-3. Líquido.