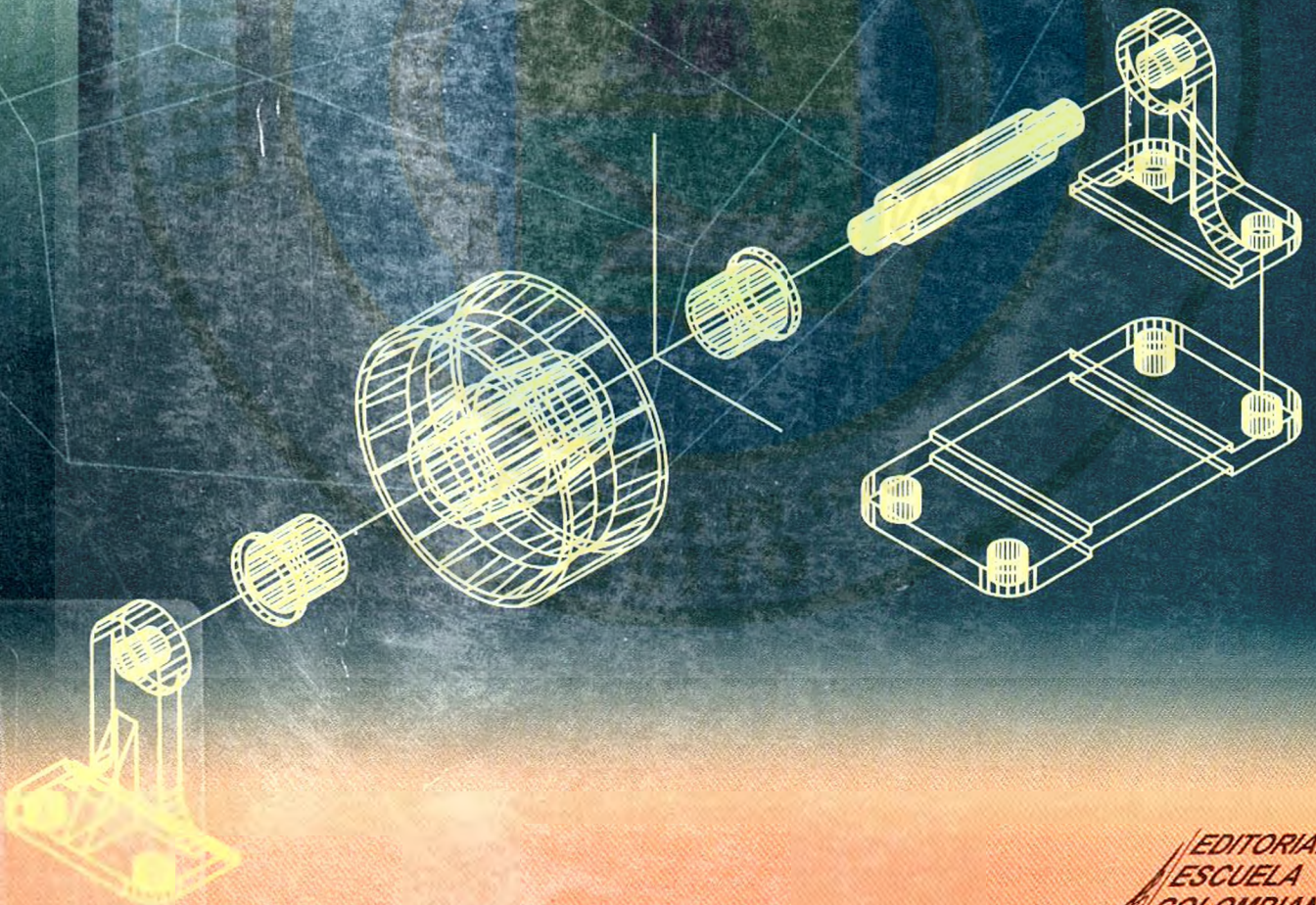


DIBUJO DE INGENIERÍA

Fundamentos
Fabio Romero Monje

2a. Edición



EDITORIAL
ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA



BASE LEGAL PARA DIGITALIZACIÓN DE LIBROS CON DERECHOS DE AUTOR

El Sistema Integrado de Bibliotecas de la Universidad Central del Ecuador, digitalizará su acervo bibliográfico siempre y cuando sea para fines educativos y de investigación. No se permite la reproducción y distribución para la comercialización directa e indirecta del mismo.

La digitalización del material bibliográfico se lo realiza de acuerdo al Código Orgánico De La Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación Art. 212 numeral 9, Literal ii “(...) Una biblioteca o archivo podrá, además, realizar los siguientes actos (...) La reproducción electrónica y comunicación pública de obras de su colección para ser consultadas gratuita y simultáneamente hasta por un número razonable de usuarios, sólo en terminales de redes de la respectiva institución o para usuarios de esa institución bajo su control, en condiciones que garanticen que no se puedan hacer copias electrónicas de esas reproducciones” y literal vii “La reproducción, adaptación, traducción, transformación, arreglo, distribución y comunicación de una obra protegida por derechos de autor o una prestación protegida por derechos conexos, en uno o más formatos accesibles para el uso exclusivo de personas con discapacidad”.

Este material se considera un producto intelectual a favor de su autor; por tanto, la titularidad de sus derechos se encuentra protegida por el Código Orgánico De La Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación. La violación a dichos derechos constituye un delito que será responsabilidad del usuario.

Este libro está disponible físicamente en:

BIBLIOTECA	Biblioteca General	PISO	02
		ESTANTE	28
		BANDEJA	08
CONVENIO INTERINSTITUCIONAL		UNIVERSIDAD	

UNIVERSIDAD CENTRAL
CONTROL DE BIENES



30237221

Colección de Expresión Gráfica



DIBUJO DE INGENIERÍA

Fundamentos



DE INGENIERÍA DIBUJO

Fundamentos



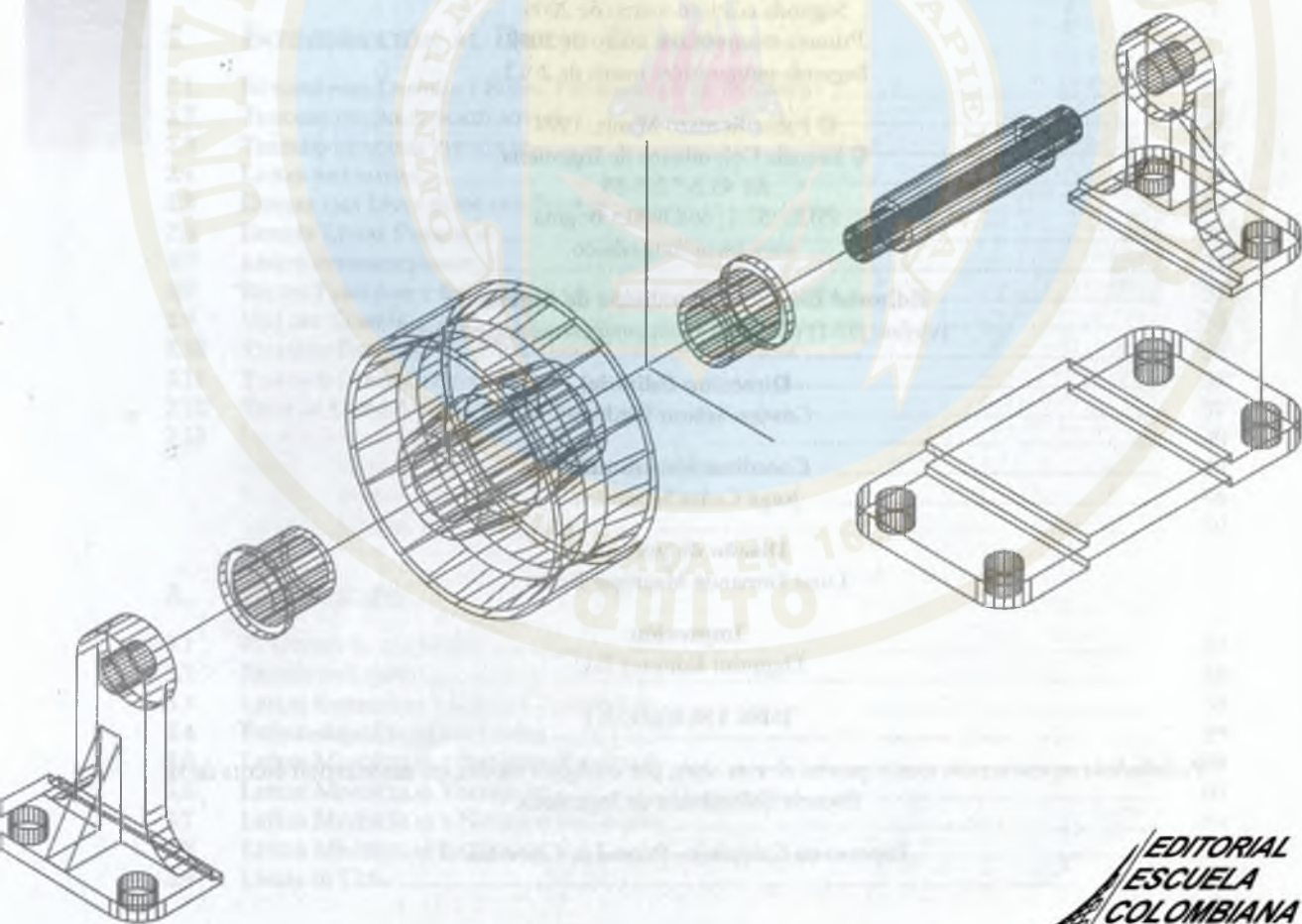
742
2763

DIBUJO DE INGENIERÍA

Fundamentos

Fabio Romero Monje

2a. Edición



**EDITORIAL
ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA**

INVENTARIO

Compra Donación Canje

Proveedor *Lincron*

Factura *20402* Fecha *19/04/12* Precio *38.00*

N° Inf. Recp Fecha Inf

N° Alta *5135858*

Biblioteca *General*

Dibujo de ingeniería. Fundamentos

Primera edición: julio de 1999

Primera reimpresión: octubre de 2000

Segunda reimpresión: agosto de 2001

Tercera reimpresión: enero de 2003

Segunda edición: marzo de 2006

Primera reimpresión: enero de 2008

Segunda reimpresión: enero de 2012

© Fabio Romero Monje, 1999

© Escuela Colombiana de Ingeniería

Ak 45 N° 205-59

PBX: (57-1) 6683600 • Bogotá

www.escuelaing.edu.co

Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería

Telefax: (57-1) 676 2655 • edicion@escuelaing.edu.co

Dirección Editorial

Cristina Salazar Perdomo

Coordinación editorial

Jorge Cañas Sepúlveda

Diseño de portada

Luisa Fernanda Manrique Riaño

Impresión

Digiprint Editores E.U.

ISBN 958-8060-59-1

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra, por cualquier medio, sin autorización escrita de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Impreso en Colombia - Printed in Colombia

CONTENIDO

1. EL LENGUAJE GRÁFICO

1.1	UN IDIOMA MUNDIAL	17
1.2	EL LENGUAJE UNIVERSAL	17
1.3	TIPOS DE DIBUJOS	19
1.4	LOS DIBUJOS TÉCNICOS MÁS ANTIGUOS	20
1.5	LA PRIMITIVA GEOMETRÍA DESCRIPTIVA	21
1.6	LO QUE DEBE SABER UN ESTUDIANTE DE INGENIERÍA	21
1.7	EQUIPO DE DIBUJO PARA INGENIERÍA	23
	Equipo mínimo	23
	Equipo opcional	25

2. INTRODUCCIÓN AL DIBUJO TÉCNICO

2.1	NORMAS PARA LIMPIEZA Y BUENA PRESENTACIÓN DE UN DIBUJO	27
2.2	TRAZADO DE LÍNEAS HORIZONTALES	27
2.3	TRAZADO DE LÍNEAS VERTICALES	28
2.4	LÍNEAS INCLINADAS	29
2.5	DIBUJAR UNA LÍNEA ENTRE DOS PUNTOS	30
2.6	DIBUJAR LÍNEAS PARALELAS	30
2.7	LÍNEAS PERPENDICULARES	31
2.8	RECTAS PARALELAS Y PERPENDICULARES A CUALQUIER LÍNEA DADA	31
2.9	USO DEL COMPÁS	33
2.10	TAMAÑOS ESTÁNDAR DEL PAPEL PARA PLANOS DE INGENIERÍA	35
2.11	TAMAÑOS COMERCIALES DEL PAPEL	37
2.12	TIPOS DE LÍNEAS USADAS EN DIBUJO TÉCNICO	37
2.13	LAS ESCALAS DE INGENIERÍA	40
2.13.1	Sistema métrico	40
2.13.2	Sistema inglés	46
2.13.3	Escalas en sistema inglés	50

3. ROTULACIÓN

3.1	EL ORIGEN DE LAS LETRAS	57
3.2	ESTILOS DE LETRAS	58
3.3	LETRAS EXTENDIDAS Y LETRAS CONDENSADAS	58
3.4	ESTANDARIZACIÓN DE LAS LETRAS	59
3.5	LETRAS MAYÚSCULAS Y NÚMEROS VERTICALES	59
3.6	LETRAS MINÚSCULAS VERTICALES	60
3.7	LETRAS MAYÚSCULAS Y NÚMEROS INCLINADOS	60
3.8	LETRAS MINÚSCULAS INCLINADAS	61
3.9	LÍNEAS DE GUÍA	62

3.9.1	Líneas de guía para letras mayúsculas	62
3.9.2	Líneas de guía para números y fracciones	64
3.9.3	Líneas de guía para letras minúsculas	65
3.10	ESPACIO ENTRE LETRAS Y PALABRAS	65
3.11	CENTRADO DEL TEXTO	66
3.12	EL ALFABETO GRIEGO	66

4. CONSTRUCCIONES GEOMÉTRICAS BÁSICAS

4.1	BISECAR UNA RECTA O UN ARCO CIRCULAR (MEDIATRIZ)	69
4.1.1	Trisecar una recta	69
4.2	BISECAR UN ÁNGULO	70
4.3	TRAZAR UNA PARALELA A UNA LÍNEA POR UN PUNTO DADO	70
4.3.1	Dibujar triángulos equiláteros e isósceles	72
4.3.2	Dibujar trapecios	74
4.3.3	Tangentes	76
4.3.4	Figuras equivalentes	78
4.4	DIVIDIR UNA RECTA EN PARTES IGUALES	82
4.5	DIVIDIR UNA RECTA EN PARTES PROPORCIONALES	82
4.6	DIBUJAR UNA PERPENDICULAR A UNA RECTA A TRAVÉS DE UN PUNTO DADO	83
4.7	TRAZADO DEL ÁNGULO RECTO: MÉTODO 3:4:5	83
4.8	DIBUJAR UN CÍRCULO QUE PASE POR TRES PUNTOS	84
4.9	DIBUJAR UN CÍRCULO TANGENTE A UNA LÍNEA EN UN PUNTO DADO	84
4.10	DIBUJAR LA TANGENTE A UN CÍRCULO EN UN PUNTO DADO	85
4.10.1	Dibujar tangentes a un círculo con ángulos dados	85
4.11	DIBUJAR TANGENTES A DOS CÍRCULOS	86
4.12	DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A UNA RECTA O ARCO A TRAVÉS DE UN PUNTO	87
4.13	DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A DOS RECTAS EN ÁNGULO RECTO	88
4.14	DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A DOS RECTAS EN ÁNGULO AGUDO U OBTUSO	88
4.15	DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A OTRO ARCO Y A UNA LÍNEA RECTA	89
4.16	DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A DOS ARCOS	89
4.17	DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A DOS ARCOS QUE ENCIERRA A UNO O A AMBOS ARCOS	90
4.18	DIBUJAR UNA SERIE DE ARCOS TANGENTES FORMANDO UNA CURVA	91
4.19	DIBUJAR UNA CURVA DE OGEE (CURVA INVERSA)	91
4.20	DIBUJAR UNA CURVA TANGENTE A TRES RECTAS QUE SE CORTAN	92
4.21	DIBUJAR UN PENTÁGONO REGULAR	92
4.22	DIBUJAR UN HEXÁGONO REGULAR	93
4.23	DIBUJAR UN OCTÁGONO REGULAR	94
4.24	DIBUJAR EL POLÍGONO REGULAR DE N LADOS	95
4.25	TRAZAR UNA RECTA EQUIVALENTE A UN ARCO CIRCULAR DE MENOS DE 60° (RECTIFICAR UN ARCO CIRCULAR)	95
4.26	RECTIFICAR UNA CURVA	96
4.27	RECTIFICAR LA CIRCUNFERENCIA DE UN CÍRCULO	96
4.28	DIVIDIR UN CÍRCULO EN PARTES IGUALES (MÉTODO APROXIMADO)	97
4.29	INTRODUCCIÓN AL DIBUJO Y DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR	98
	Configuración de un sistema CAD	99
	Programas CADD	103
	Uso de programas CAD	111

5. LAS SECCIONES CÓNICAS

5.1	DEFINICIÓN	115
5.2	CONSTRUCCIÓN DE LA ELIPSE	115
5.2.1	Dibujar una elipse a partir de sus focos	116
5.2.2	Dibujar una elipse por el método del paralelogramo	117
5.2.2.1	Dibujar una elipse por el método de la tira de cartón	118

5.2.3	Dibujar una elipse aproximada	119
5.2.4	Dibujar la tangente a una elipse	120
5.2.5	La plantilla de elipses	121
5.2.6	Determinar el eje menor de una elipse	122
5.2.7	Localizar los ejes de una elipse	122
5.3	DIBUJAR UNA PARÁBOLA	123
5.3.1	DIBUJAR LAS TANGENTES A UNA PARÁBOLA	124
5.4	UNIR DOS PUNTOS POR MEDIO DE UNA CURVA PARABÓLICA	125
5.5	DIBUJAR LA HIPÉRBOLA	126
5.5.1	Dibujar una hipérbola equilátera	128
5.5.2	Dibujar la tangente a la hipérbola	129
5.6	DIBUJAR UNA HÉLICE	129
5.7	DIBUJAR UNA ESPIRAL	131
6.	PROPORCIONES GEOMÉTRICAS	
6.1	LA RELACIÓN ARMÓNICA	135
6.2	DIBUJAR EL RECTÁNGULO DORADO	137
6.3	LA RELACIÓN DORADA EN MATEMÁTICAS	138
7.	PROYECCIÓN ORTOGRÁFICA	
7.1	PROYECCIÓN ORTOGRÁFICA	141
7.2	LA CAJA DE VIDRIO	143
7.3	PROYECCIÓN DE DOS VISTAS	146
7.4	TRANSFERENCIA DE DIMENSIONES DE PROFUNDIDAD	146
7.5	EL MÉTODO DE LA LÍNEA MITRA DE 45°	146
7.6	PROYECCIÓN DE TRES VISTAS	147
7.6.1	Proyección diédrica	148
	Proyección ISO-A	148
	Proyección ISO-E	150
7.7	VISUALIZACIÓN	151
7.7.1	Visualización de vistas	152
7.7.2	Uso de modelos	153
7.7.3	Ejercicios de visualización	154
7.8	SUPERFICIES, ARISTAS Y ESQUINAS	156
7.9	SUPERFICIES NORMALES	158
7.10	SUPERFICIES INCLINADAS	159
7.11	ARISTAS INCLINADAS	160
7.12	SUPERFICIES OBLICUAS	160
7.13	ARISTAS OBLICUAS	160
7.14	ARISTAS PARALELAS	161
7.15	ÁNGULOS	162
7.16	SUPERFICIES CILÍNDRICAS	163
7.17	CILINDROS Y ELIPSES	164
7.18	ESPACIOS CURVOS	166
7.19	VISTAS AUXILIARES	166
7.19.1	El plano auxiliar	167
7.19.2	Líneas de doblaje	168
7.19.3	Planos de referencia	169
7.19.4	Dibujar una vista auxiliar usando el plano de referencia	170
7.19.5	Cortes	171
7.19.6	Proyección y desarrollo de poliedros regulares	171
	Problemas de proyecciones múltiples	177
	Problemas de proyecciones múltiples. Vistas auxiliares	181

8.	ACOTAMIENTO PLANO	
8.1	LÍNEAS USADAS EN ACOTAMIENTO	183
8.2	COLOCACIÓN DE LAS LÍNEAS DE DIMENSIÓN Y LÍNEAS DE EXTENSIÓN	184
8.3	FLECHAS	186
8.4	LAS CIFRAS DE DIMENSIÓN	186
8.4.1	Dirección de las cifras de dimensión	187
8.5	ACOTAMIENTO DE ÁNGULOS	187
8.6	ACOTAMIENTO DE ARCOS	188
8.7	ACOTAMIENTO DE CONTORNOS	189
8.8	ACOTAMIENTO DE PRISMAS	189
8.9	ACOTAMIENTO DE CILINDROS	190
8.10	ACOTAMIENTO DE FORMAS MISCELÁNEAS	192
8.11	ACOTAMIENTO DE ORIFICIOS CIRCULARES (TALADROS)	193
8.12	ACOTAMIENTO CONTINUO	194
8.13	ACOTAMIENTO POR LÍNEA BASE	194
8.14	ACOTAMIENTO POR COORDENADAS	195
8.15	ACOTAMIENTO DE CÍRCULO	195
8.16	LOCALIZACIÓN DE FIGURAS INTERNAS	196
8.17	ACOTAMIENTO A LO LARGO DE SUPERFICIES CURVAS Y PERFILES	198
8.18	ACOTAMIENTO DE CURVAS	198
8.18.1	Dimensiones en espacios pequeños	199
8.19	ACOTAMIENTO DE EXTREMOS REDONDEADOS	200
8.20	PROCESOS DE ACOTAMIENTO	200
9.	PROYECCIÓN AXONOMÉTRICA	
9.1	MÉTODOS DE PROYECCIÓN	203
9.2	TIPOS DE PROYECCIÓN AXONOMÉTRICA	204
9.3	PROYECCIÓN ISOMÉTRICA	205
9.3.1	La escala isométrica	206
9.3.2	Dibujo Isométrico	206
9.3.3	Otras posiciones de los ejes isométricos	208
9.3.4	Medidas de localizaciones desplazadas	209
9.3.5	Aristas ocultas	209
9.3.6	Líneas de centro	210
9.3.7	La caja de construcción	210
9.3.8	Líneas no isométricas	210
9.3.9	Ángulos en isométrica	211
9.3.10	Objetos irregulares	212
9.3.11	Curvas en isométrica	213
9.3.12	Elipses verdaderas en isométrica	214
9.3.13	La elipse aproximada de cuatro centros	215
9.3.14	Arcos en isométrica	216
9.3.15	Plantilla de elipses isométricas	217
9.3.16	Detalles rotados en isométrica	218
9.3.17	La esfera en isométrica	218
9.3.18	Proyección isométrica en explosión	220
9.4	ACOTAMIENTO ISOMÉTRICO	221
9.5	PROYECCIÓN OBLICUA	227
9.5.1	Pasos para dibujar una proyección oblicua	229
9.5.2	Elipses en proyección oblicua	230
10.	SECCIONES TRANSVERSALES	
10.1	PROPÓSITO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES	233
10.2	REPRESENTACIÓN DEL PLANO SECANTE (PLANO CORTANTE)	234

10.3	TIPOS DE SECCIONES	235
10.4	PROYECCIÓN ORTOGRÁFICA E ISOMÉTRICA DE UNA SECCIÓN TRANSVERSAL	238
10.5	SECCIONES ALINEADAS	240
10.6	CORTES CONVENCIONALES	242
10.7	DIBUJO DE TUERCAS, TORNILLOS, PERNOS Y RESORTES	243

11. PROYECCIÓN EN PERSPECTIVA

11.1	PERSPECTIVA	249
11.2	NOMENCLATURA USADA EN PERSPECTIVA	251
11.3	LOCALIZACIÓN DEL PLANO DE PROYECCIÓN	251
11.4	LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE VISTA	252
11.5	POSICIÓN DEL OBJETO CON RESPECTO AL HORIZONTE	252
11.6	PERSPECTIVA DE UNA LÍNEA RECTA	253
11.7	LA CLAVE DE TODAS LAS PERSPECTIVAS	253
11.8	PERSPECTIVA DE PLANOS	255
11.9	TIPOS DE PERSPECTIVAS	256
11.10	TRAZADO DE UNA PERSPECTIVA PARALELA	258
11.11	TRAZADO DE UNA PERSPECTIVA ANGULAR	258
11.12	PUNTO DE FUGA DE LÍNEAS INCLINADAS	260
11.13	CURVAS Y CÍRCULOS EN PERSPECTIVA	262

12. BOSQUEJOS A MANO ALZADA

12.1	BOSQUEJOS TÉCNICOS	269
12.2	TÉCNICA DEL BOSQUEJO	270
12.3	MEDICIONES	271
12.4	MANTENIMIENTO DE LAS PROPORCIONES	274

ANEXOS

ANEXO 1.	FÓRMULA MATEMÁTICA PARA SOLUCIÓN DE TRIÁNGULOS	279
ANEXO 2.	FACTORES DE CONVERSIÓN. SISTEMA MÉTRICO, SISTEMA DECIMAL	280
ANEXO 3.	FACTORES DE CONVERSIÓN	281
ANEXO 4.	FIGURAS GEOMÉTRICAS FUNDAMENTALES	282
ANEXO 5.	POLÍGONOS REGULARES INSCRITOS EN UN CÍRCULO	283
ANEXO 6.	FICHA ANTROPOMÉTRICA	284
ANEXO 7.	FORMATO PARA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS	285

ÍNDICE	287
--------------	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	291
----------------------------------	-----

PREFACIO

La Conferencia Mundial sobre Educación en Ingeniería celebrada en Saint Paul (Minnesota, Estados Unidos) en 1995, destacó la tendencia universal en la enseñanza de la ingeniería, hacia la necesidad de entrenar, preparar y educar ingenieros con gran capacidad para *diseñar* soluciones innovadoras a los múltiples problemas de la ingeniería actual, y para los grandes retos de la ingeniería del nuevo milenio.

Cualquier proceso de diseño, ya sea de estructuras, equipos, artefactos o sistemas, comienza en la mesa de dibujo, donde el ingeniero hace los bocetos en los cuales expresa gráficamente sus ideas para solucionar el problema que se ha planteado; sin embargo, para que éstas se concreten, el diseñador debe tener conocimientos muy sólidos de dibujo técnico y de geometría, tanto plana como espacial, con el fin de que los bocetos y planos que elabore conduzcan a la construcción o fabricación de cosas funcionales.

La capacidad y habilidad del ingeniero para expresar gráficamente sus ideas y transmitir las a sus interlocutores es una condición necesaria para el éxito de su desempeño profesional. Máquinas y estructuras están compuestas de elementos geométricos combinados de múltiples formas que, interrelacionados unos con otros y en su posición en el espacio, constituyen los grandes proyectos de ingeniería, tales como maquinarias, complejos industriales, aeropuertos, terminales marítimos, represas hidráulicas, sistemas viales, complejos habitacionales, desarrollos urbanísticos o estaciones espaciales.

Dentro de este contexto, el propósito del presente libro es proporcionar al estudiante de ingeniería o carreras técnicas los conocimientos geométricos que se requieren para *diseñar*, correctamente, siguiendo las normas universalmente aceptadas en el dibujo de ingeniería, enfatizando en el tema de la *concepción espacial*, o sea la habilidad para pensar tridimensionalmente, de modo que pueda proyectar cada elemento del conjunto en su correcta posición en el espacio. Este manual *no es un tratado completo de dibujo técnico*. Como su título lo indica es solamente una introducción a la geometría proyectiva y por tanto solo desarrolla los fundamentos geométricos básicos de aplicación universal para dibujar y diseñar con precisión, sin entrar en los campos especializados de diseños complejos en ingeniería, que sí son tratados con detalle en textos avanzados. Está escrito para ser utilizado como manual de consulta y aprendizaje en un primer curso universitario, y como tal se usa para introducir al estudiante de ingeniería en esta disciplina.

En ingeniería, el diseño se desarrolla básicamente de tres maneras: por bosquejos hechos a mano alzada, por planos detallados realizados a mano con ayuda de instrumentos de dibujo, o utilizando técnicas modernas de dibujo y diseño asistido por computador, conocidas como CADD.

En esta segunda edición, en el capítulo 2 se ha implementado el tema de las escalas de ingeniería tanto en sistema métrico como en sistema inglés o imperial, con el objeto de dar al estudiante una base sólida para el manejo adecuado de las escalas en ambos sistemas. Si bien el sistema de medidas mayoritariamente usado a nivel mundial (80% de los países del mundo) es el sistema métrico, conocido hoy como Sistema Internacional de Medidas (SI), el sistema imperial se usa preferencialmente en algunos países desarrollados, Estados Unidos de América, Gran Bretaña, etc. Por esta razón se ha explicado con detenimiento este sistema de medidas para que el estudiante pueda interpretarlo y utilizarlo correctamente.

El capítulo 4 se ha ampliado con nuevas construcciones geométricas básicas para dar al estudiante herramientas complementarias para mejorar su capacidad de diseño geométrico. Así mismo, muchos temas han sido cambiados completamente en su redacción para suprimir ciertos tópicos que no tienen aplicación y dar a otros mayor claridad y precisión. Igualmente en este capítulo se incluye un artículo en el que se esbozan los principios en que se fundamentan los sistemas CADD, sin entrar en la parte operativa de los mismos, cuyo tema está fuera del alcance de este libro. Sobre el mismo vale la pena destacar que cualquier programa CADD es básicamente una *herramienta* para dibujar, muy poderosa por cierto, pero que su efectividad depende en gran medida de los sólidos conocimientos de geometría euclidiana y geometría descriptiva que se tengan, los cuales se adquieren con estudio exhaustivo de sus principios teóricos y con el *desarrollo manual* de un buen número de ejercicios de práctica, aspectos hacia los cuales está orientada esta obra.

Los ejercicios de este libro deben preferencialmente desarrollarse en forma manual utilizando el equipo de dibujo convencional, regla, compás, escuadras, transportador, etc. como el mejor sistema para afianzar el conocimiento y dominio de los fundamentos geométricos del diseño técnico. En una etapa posterior pueden desarrollarse utilizando programas de dibujo computarizado, como AutoCAD, para lograr la excelente precisión y presentación de los dibujos que facilitan estos sistemas.

Al final de algunos capítulos he insertado algunas de las obras de ESCHER, que no tienen relación con el tema tratado en dicho capítulo, para crear un paréntesis en la rigurosa exactitud de la geometría utilizada en nuestro trabajo de diseño, y poder ver desde la óptica escheriana otra forma de interpretar la concepción espacial. Mauricius Cornelius Escher nació en Leeuwarden, Holanda, en 1898 y murió en 1972. Es considerado uno de los más grandes artistas de las artes plásticas por su particular concepción de las formas geométricas. Escher decidió cambiar la lógica geométrica por un *divertimento* de formas absurdas para crear su propia geometría imposible. Sus profundos conocimientos en técnicas de diseño gráfico y con muy buenos conocimientos matemáticos y geométricos, sin ser matemático, le permitieron jugar tanto con las formas como con la perspectiva para crear ambientes con escaleras que no se sabe si suben o bajan, que conducen hacia sitios contrapuestos, que suben donde deben bajar y bajan donde se supone deben subir, o cubos formados por elementos cruzados en formas ilógicas imposibles de construir. En esta edición se incluyen la proyección de los sólidos platónicos (el tetraedro, el cubo, el octaedro, el dodecaedro y el icosaedro) en vistas ortográficas y su desarrollo, al igual que su proyección tridimensional utilizando AutoCAD 3D, los cuales despertaron una fascinación especial en Escher. Él hizo de ellos el objeto de muchas de sus obras y los incluyó como elementos secundarios en muchas más. Los comentarios a cada una de las láminas que vienen con el texto, tienen un gran valor por cuanto son del mismo Escher, para mostrar cómo interpretar correctamente su obra. El propósito de la presentación de estas láminas es solo el de crear un espacio de descanso dentro de la seriedad de la geometría proyectiva, así como dar a conocer algunas de las obras más representativas de este genial artista.

En este libro, como es usual en todos aquellos relacionados con la misma materia, se han incorporado dibujos de otros autores que, por su concepción, constituyen insuperables ejemplos del tema tratado. Igualmente se incluyen la bibliografía, que sirve de soporte para los diferentes temas desarrollados, y un listado de referencia para dar crédito por las figuras tomadas de otros textos.

El autor espera que este libro sirva de *iniciación* en el apasionante tema del dibujo de ingeniería, y como fuente de consulta en el curso de la práctica profesional. Así mismo agradece a la comunidad universitaria los comentarios, sugerencias y observaciones que quieran hacerle, con la seguridad de que serán considerados en toda su validez.

La obra se complementa con un libro de ejercicios para desarrollar, que abarcan la mayoría de los temas tratados en la parte teórica, en las cuales el estudiante puede practicar y consolidar sus conocimientos sobre cada tópico estudiado.

FABIO ROMERO MONJE

INGENIERO CIVIL - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

COORDINADOR DE MÉTODOS GRÁFICOS

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

BOGOTÁ - COLOMBIA



EL LENGUAJE GRÁFICO

1

¡Oh maravillosa ciencia de la pintura!, tú das vida permanente a las caducas bellezas de los mortales, y les confieres más duración que a las obras de la Naturaleza, continuamente sometidas a las variaciones del tiempo, que las conduce a la vejez inevitable; tú guardas la misma proporción con la divina Naturaleza que la que existe entre tus obras y las suyas; eres pues digna de nuestra adoración.

LEONARDO DA VINCI

1.1 UN IDIOMA MUNDIAL

Muchos de los problemas del mundo actual se deben al hecho de que los pueblos no se entienden unos a otros, por la gran diversidad de idiomas en que ellos se expresan. El vasto número de lenguas y dialectos que contribuyen a esta circunstancia son el resultado de la enorme dispersión geográfica inicial de los asentamientos humanos en el planeta. Aun hoy en día, con los asombrosos avances de las comunicaciones, el progreso hacia un lenguaje universal ha sido dolorosamente lento, tan lento, ciertamente, que aún no vislumbramos el día en que ésta, hoy utopía, sea una feliz realidad. Todos los esfuerzos para crear un lenguaje universal, tal como el esperanto, han fallado lamentablemente, por lo que un individuo que quiera establecer contacto con sus congéneres de otros países debe aprender varios lenguajes extranjeros, labor no precisamente fácil y que sólo muy pocos privilegiados pueden llegar a dominar.

1.2 EL LENGUAJE UNIVERSAL

Aunque el hombre aún no ha podido comunicarse en un idioma universal de palabras y frases, tiene ciertamente un medio que lo sustituye efectivamente y que ha sido su único medio universal de comunicación desde los tiempos más remotos: **el lenguaje gráfico.**

La idea de poder comunicar un pensamiento de una persona a otra por medio de representaciones pictóricas data de los tempranos tiempos del florecer de la humanidad, cuyos primeros registros encontramos en las pinturas rupestres de las cuevas de nuestros antepasados del Cromagnon.



Figura 1.1. Pintura rupestre de un ciervo en la Cueva de las Chimeneas (Puente Viesgo, Santander, España)

Nuestros primitivos ancestros seguramente se comunicaban por medio de gruñidos, gritos, gestos u otras manifestaciones parecidas, pero cuando querían registrar para la posteridad sus ideas, las **dibujaban** en cualquier material que estuviere a su alcance, ya fueran rocas, los muros de una cueva, cueros, papiros, etc., y su significado era perfectamente claro para todos.

	Un soldado con varias barras significa ejército MESH A	mesha	ejército
	Un cerrojo: s.		
	Una estera: p		
	Una criba con grano: sep	sepi	Sepi
	Una hoja de caña: i.		
	S - P - SEP - I		
	Una guadaña: ma.		
	Medida justa: mao.		
	Un remo significa la palabra hablada: kheru.	mao-kheru	justa voz
	Un rollo de papiro significa la palabra escrita: kheru. MA - MAO - KHERU - KHERU		(encontrada recto) R. I. P.

Figura 1.2. Escritura jeroglífica egipcia (pictografías encontradas en el ataúd del general Sepi)

Las primeras formas de escritura fueron precisamente figuras gráficas, tales como los jeroglíficos egipcios. Posteriormente estas formas fueron simplificadas hasta convertirlas en los símbolos abstractos usados actualmente en los lenguajes modernos.

Un dibujo es, generalmente, la representación gráfica de un objeto real. Los dibujos pueden tomar muchas formas, pero puesto que siempre se basan en objetos reales, el método de representación gráfica es la forma natural básica de comunicación de ideas, lo que le confiere su carácter universal e intemporal.

1.3 TIPOS DE DIBUJOS

El hombre ha desarrollado dos tipos de dibujos de acuerdo con sus propósitos: el **dibujo artístico** y el **dibujo técnico**.

Desde los tiempos más antiguos los artistas han usado el dibujo para expresar sus ideas filosóficas, estéticas o abstractas y transmitir las por este medio a sus congéneres. Puesto que todo el mundo puede entender fácilmente un dibujo, éste es su fuente principal de información. En nuestros museos y en las ruinas de la antigüedad hay miles de ejemplos que transmiten historias o enseñanzas por medio de dibujos, principalmente dibujos artísticos.

Pero el tipo que nos interesa en esta materia es el segundo, el **dibujo técnico**. Desde el comienzo de la historia, el hombre ha usado el dibujo para representar objetos que pueda construir. De los primeros dibujos técnicos no queda ningún registro, pero indudablemente el hombre debió haber usado dibujos muy precisos en sus obras, que de otra forma no hubiera podido construir con tanta precisión y perfección. Podemos ver actualmente las ruinas de grandes construcciones de la antigüedad, edificios, acueductos, puentes, templos, estadios, anfiteatros, que no hubiera sido posible construir sin disponer de planos muy precisos que orientaran a sus constructores. Muchas de esas estructuras están consideradas como «Maravillas del Mundo», como el Templo de Ammon en Karnak en el antiguo Egipto, completado en el año 980 a. C. y cuya construcción tardó siete siglos. Esta edificación de pura piedra excedió el tamaño de cualquier estructura cubierta jamás construida; hasta donde sabemos, tenía 365 m de largo por 120 m en su parte más ancha y su columnata central estaba orientada de tal modo que el sol del amanecer en el solsticio de verano iluminaba el pasillo central en toda su extensión, lo cual permitía a los sacerdotes egipcios registrar la duración del año solar.

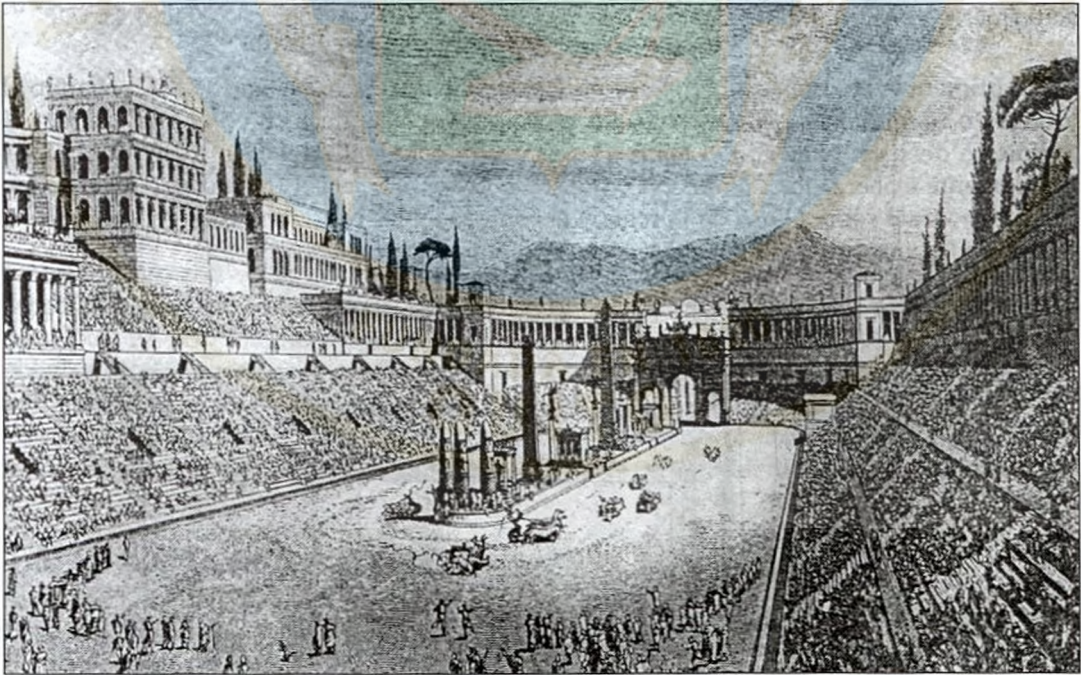
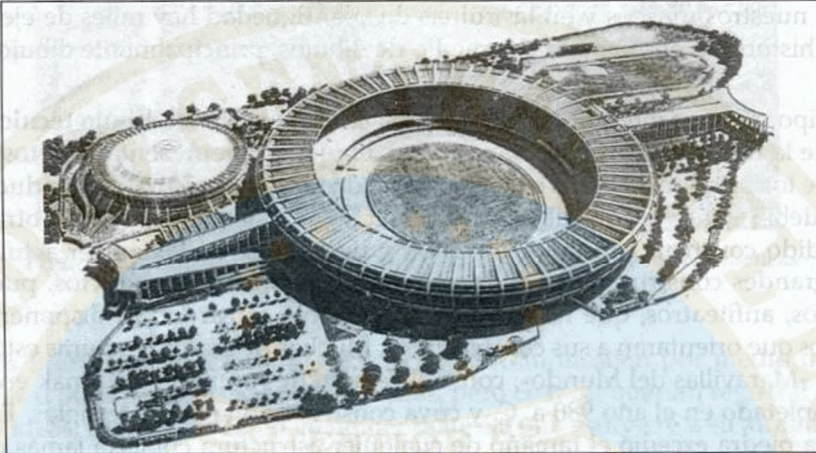


Figura 1.3. Circo Máximo en Roma

Igualmente el Circo Máximo en la antigua Roma fue una estructura gigantesca. Según el historiador Plinio, tenía capacidad para 250.000 espectadores cómodamente sentados. Comparemos esta cifra con el estadio más grande de la actualidad, el Maracanã, en Río de Janeiro, Brasil, cuyo aforo actual es de 120.000 espectadores, si bien alcanzó el récord mundial de 199.854 personas para ver a Brasil enfrentar a Uruguay en la final de la Copa del Mundo en 1950. La historia está llena de ejemplos de estructuras sorprendentes por su magnitud, que no hubiera sido posible construir sin disponer de planos y dibujos muy precisos.



El estadio Maracanã en Río de Janeiro, Brasil

1.4 LOS DIBUJOS TÉCNICOS MÁS ANTIGUOS

Tal vez el dibujo técnico más antiguo conocido es la vista de planta de una fortaleza dibujada por Gudea, un ingeniero caldeo, y grabado sobre una tablilla de piedra, que se encuentra actualmente en el Museo del Louvre en París y que data del año 2140 a. C. (Fig. 1.4).

La primera evidencia escrita del uso de dibujos técnicos data del año 30 a. C., cuando el arquitecto romano Vitruvius escribió un tratado sobre arquitectura en el cual decía: «El arquitecto debe ser hábil con el lápiz y tener un conocimiento del dibujo tal, que pueda rápidamente elaborar los dibujos que muestren la apariencia del trabajo que se propone construir». Trató sobre el uso de la regla y el compás en las construcciones geométricas, el dibujo de las vistas de planta y elevación y el dibujo en perspectiva.

La teoría sobre proyecciones de los objetos sobre planos imaginarios de proyección apa-

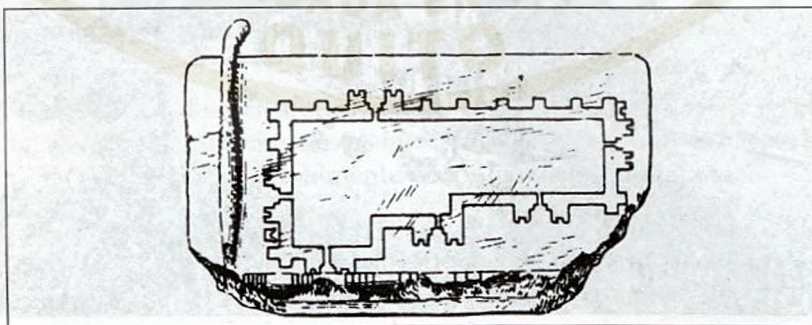


Figura 1.4. Plano de fortaleza

rentemente no se desarrolló sino hasta los primeros años del siglo XV, por los arquitectos italianos Alberti, Brunelleschi y otros. Es bien sabido que Leonardo da Vinci usó dibujos muy precisos para registrar y transmitir a otros sus ideas sobre construcción, muchos de los cuales aún se conservan. No hay evidencia de que hubiera usado proyecciones ortográficas, puesto que sus dibujos estaban en perspectiva, pero seguramente las utilizó.

1.5 LA PRIMITIVA GEOMETRÍA DESCRIPTIVA

Los principios de la geometría descriptiva están asociados con los problemas relacionados con la construcción de edificios y fortificaciones. **Gaspard Monge** (matemático y físico francés, 1746-1818) es considerado como el inventor de la geometría descriptiva, aunque sus esfuerzos fueron precedidos por publicaciones sobre esterotomía, arquitectura y perspectiva, en las cuales fueron usados muchos de estos principios.



Gaspard Monge (matemático y físico francés, 1746-1818)

Siendo profesor de la Escuela Politécnica de Francia hacia finales del siglo XVIII, Monge desarrolló los principios de la proyección que son la base de nuestro dibujo técnico. Estos principios de geometría descriptiva tuvieron tanta importancia en el campo militar que se obligó a Monge a mantenerlos en secreto hasta 1795; a partir de entonces se convirtieron en parte importante de la educación técnica en Francia y Alemania y más tarde en Estados Unidos, especialmente a partir de 1821 cuando fue incorporada al currículo de ingeniería de la Universidad de Harvard, la Universidad de Yale y posteriormente a todas las demás.

1.6 LO QUE DEBE SABER UN ESTUDIANTE DE INGENIERÍA

El desarrollo del conocimiento técnico desde los albores de la historia ha ido acompañado y ha sido posible en gran medida gracias al lenguaje gráfico. Hoy la íntima conexión entre la ingeniería y su lenguaje gráfico universal es más vital que nunca, y el ingeniero que ignora

o es deficiente en el principal modo de expresión de su campo técnico, puede considerarse que es **profesionalmente ignorante**. Que esto es cierto se demuestra en el hecho de que la geometría descriptiva y el dibujo técnico son materias de estudio obligatorio en virtualmente todas las facultades y escuelas de ingeniería del mundo.

Puesto que los elaborados dibujos artísticos ya no se usan como modo de expresión técnica, el estudiante de ingeniería moderno no necesita ningún talento artístico especial para aprender el lenguaje gráfico. Sólo necesita las mismas aptitudes que para las demás materias de su currículo de ingeniería. Podemos afirmar que el estudiante deficiente en dibujo técnico y geometría descriptiva probablemente será también deficiente en las otras materias técnicas.

El ingeniero bien entrenado debe ser capaz de hacer una representación gráfica correcta de cualquier estructura de ingeniería, lo que significa que debe conocer a profundidad los principios fundamentales, o la **gramática** del lenguaje gráfico, y por tanto ser capaz de dibujar técnicamente con razonable habilidad, capacidad que sólo se logra con estudio consciente, disciplina y práctica permanente.

Los estudiantes de dibujo técnico con frecuencia tratan de disculparse de sus deficientes resultados (por lo general a causa de su poca dedicación a esta disciplina) arguyendo que una vez graduados no necesitan volver a dibujar; esperan que sean otros quienes hagan este trabajo bajo sus órdenes. Tales estudiantes se imaginan presuntuosamente a sí mismos, recién salidos de las aulas, como consumados ingenieros dedicados a grandes proyectos de ingeniería, y olvidan que sus primeros trabajos serán probablemente de dibujantes bajo la dirección de ingenieros realmente experimentados. Aunque no se den cuenta inicialmente, empezar la carrera de ingeniería por la vía de la mesa de dibujo es una circunstancia afortunada puesto que ello proporciona una excelente oportunidad de conocer y aprender los secretos de la industria para la cual trabaja, además de que la habilidad que adquiere para leer e interpretar correctamente los planos y dibujos técnicos será de máxima utilidad para su desempeño profesional.

El joven estudiante de ingeniería debe comprender que prácticamente en todas las materias que debe estudiar durante su carrera se encontrará con dibujos técnicos en los textos de estudio, además de que deberá complementar con planos, diagramas y dibujos, los resultados de sus cálculos matemáticos. Así pues, el estudio del lenguaje gráfico le será de gran utilidad no solamente en el desempeño posterior de su actividad profesional, sino también durante sus estudios en la universidad.

Además del valor intrínseco que se obtiene del estudio serio y consciente del lenguaje gráfico existen otros valores tan importantes como el lenguaje mismo que se adquieren a través de él, de vital importancia para el desarrollo de su personalidad. El estudiante aprende por primera vez el verdadero significado de **exactitud, claridad, rapidez, armonía, belleza estética**, conceptos y hábitos básicos que debe adquirir para tener éxito profesional. Amén de los grandes beneficios adicionales que su salud física y mental obtiene con la práctica permanente del dibujo, no únicamente como obligación profesional sino como constructivo pasatiempo y placer espiritual.

Todos estamos de acuerdo en que la habilidad para **pensar en tres dimensiones** es uno de los requisitos más importantes para el éxito del ingeniero. Esta capacidad para visualizar los objetos en el espacio, para usar la «**imaginación constructiva**», es uno de los valores principales que se obtienen con el estudio del lenguaje gráfico. La habilidad para visualizar la tienen en gran medida las personas de gran capacidad creadora. Difícil pensar en perso-

najes de la talla de Miguel Ángel, Leonardo da Vinci, Edison, Steinmetz o De Forest como individuos de corta imaginación constructiva.

Así pues, es imperativo que el estudiante de ingeniería tome conciencia de la necesidad de no limitar el estudio del dibujo técnico al poco tiempo que se le dedica en el aula universitaria, complementándolo con estudio personal más profundo, en la seguridad de que todo esfuerzo y sacrificio que haga para adquirir destreza y habilidad para expresarse gráficamente redundarán únicamente en su propio beneficio.

1.7 EQUIPO DE DIBUJO PARA INGENIERÍA

Un buen equipo de dibujo permite al estudiante elaborar sus trabajos en forma más confortable y exacta, por lo que es conveniente desde un comienzo contar con **equipo profesional de la mejor calidad posible**. Si bien la inversión inicial parece costosa, vale la pena hacerla por la satisfacción de trabajar con el equipo apropiado, además de que éste le servirá para su vida profesional.

Equipo mínimo

- Mesa de dibujo para planchas, de 1,00 m x 0,70 m
- Lámpara de brazo articulado
- Regla T de cabeza giratoria graduada - 0,80 m (Fig. 1.5)
- Escuadra mediana de 45° (Ref. 45/25)
- Escuadra mediana de 30° x 60° (Ref. 60/25)

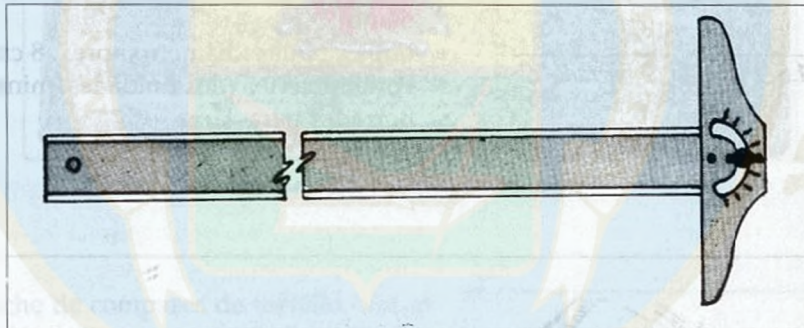


Figura 1.5. Regla T de cabeza giratoria

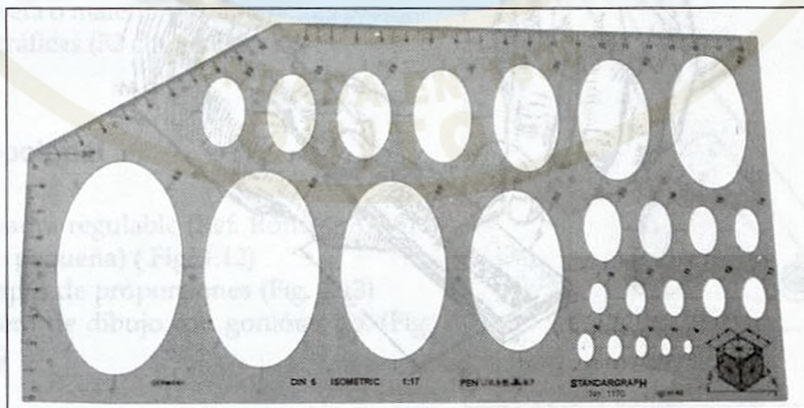


Figura 1.6. Plantilla de elipses isométricas

- Escuadra grande de 45° (Ref. 45/40)
- Escuadra grande de 30° x 60° (Ref. 60/40)
- Plantilla de elipses isométricas (Ref. Standardgraph No. 1170), Fig. 1.6
- Escalímetro triangular para ingeniería (sistema métrico), Fig. 1.15
- Escalímetro de abanico, sistema métrico, Fig. 1.16



Figura 1.7. Regla graduada en pulgadas y cm

- Escalas 1:100, 20, 50, 25, 75, 125, 40, 33.3, 30, 15
- Regla corriente graduada en pulgadas: divisiones en 1/16", 1/10", 1/12" (Ref. Berol R-562-10), (Fig. 1.7)
- Transportador profesional de 360° (diámetro 10 cm)
- Plantilla metálica para borrado (Fig. 1.8)
- Juego de curvigráficos de plantilla (tamaño medio)
- Lupa circular (diámetro aprox. 8 cm)
- Portaminas 0.5 (dos unidades, minas 2H y 3H)
- Borrador para lápiz

Figura 1.8. Plantilla de borrado

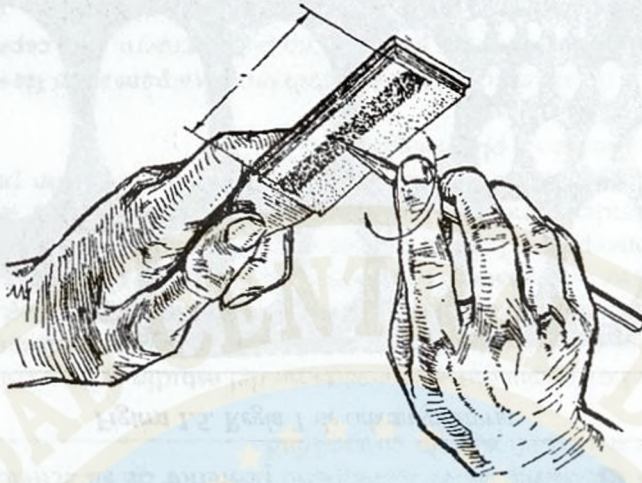


Figura 1.9. Plantilla afilaminas



Figura 1.10. Brocha de dibujante

- Afilador de minas de compás (tablilla) y bolsa de plástico (Fig. 1.9)
- Brocha ancha para barrido de residuos de borrador (Fig. 1.10)
- Pieza de bayetilla para limpieza de elementos.

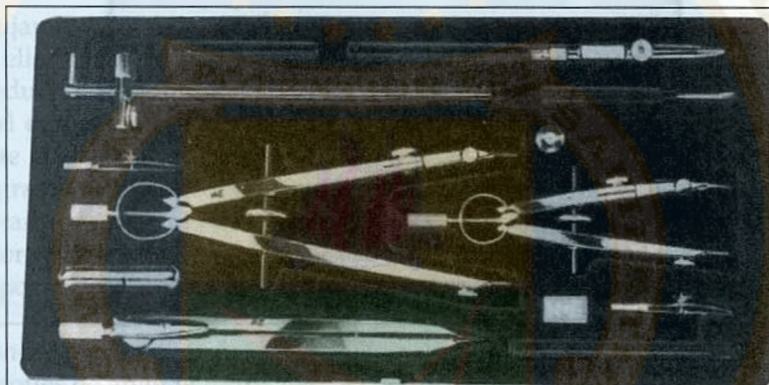


Figura 1.11. Esiuche de compases

- Estuche de compases de tornillo central para lápiz, tinta y puntas secas, y bigotera. (Fig. 1.11)
- Carpeta o maletín portaplanchas para artes gráficas (52 cm x 37 cm).

Equipo opcional

- Escuadra regulable (Ref. Rotring Art 814 312 - pequeña) (Fig. 1.12)
- Compás de proporciones (Fig. 1.13)
- Tablero de dibujo con goniómetro. (Fig. 1.14)

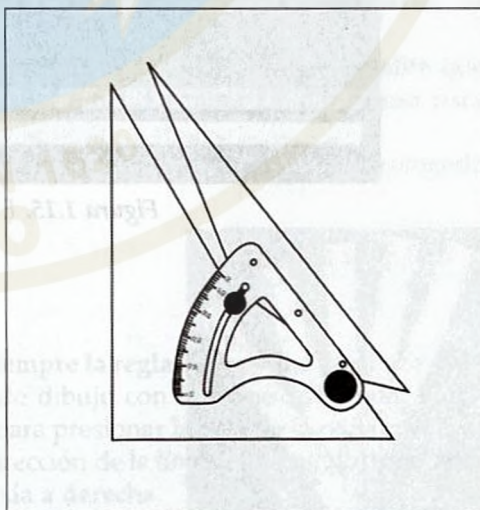


Figura 1.12. Escuadra regulable

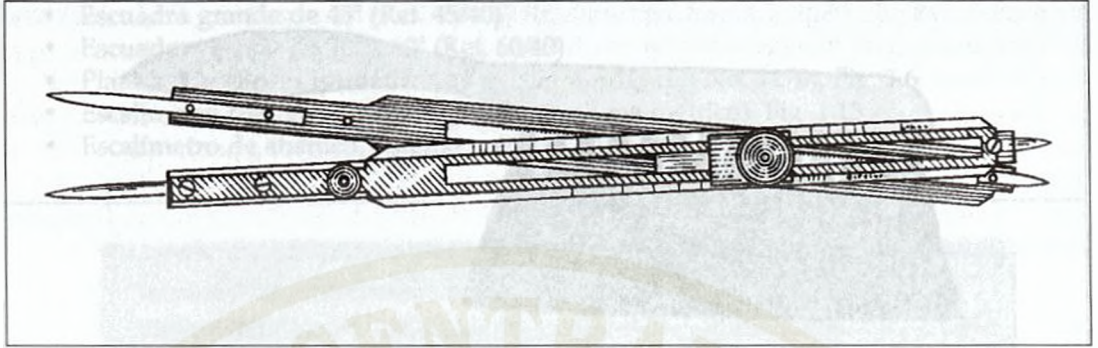


Figura 1.13. Compás de proporciones



Figura 1.14. Tablero profesional de dibujo



Figura 1.15. Escalímetros triangulares

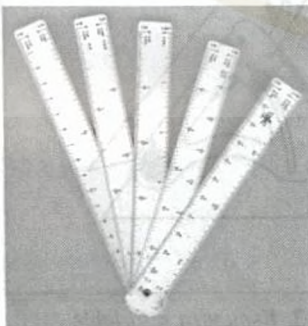


Figura 1.16. Escalímetro de abanico

INTRODUCCIÓN AL DIBUJO TÉCNICO

2

2.1 NORMAS PARA LIMPIEZA Y BUENA PRESENTACIÓN DE UN DIBUJO

La limpieza en el dibujo es un hábito que todo ingeniero debe mantener como norma permanente de su trabajo, ya sea como estudiante o como profesional. A fin de lograr este hábito se deben seguir las siguientes reglas:

- El dibujante debe mantener las manos limpias todo el tiempo. La grasa o el sudor deben eliminarse lavándolas con agua y jabón. El uso de talco en las manos contribuye a reducir la sudoración.
- Todo el equipo, incluyendo la mesa de dibujo, debe limpiarse y mantenerse así durante el tiempo en que se esté dibujando. Es de especial atención limpiar con desengrasantes (alcohol isopropílico) la regla T y las escuadras antes y con frecuencia durante el trabajo, para eliminar los rastros de grafito que se adhieren a ellas.
- El factor que más contribuye a ensuciar un dibujo no es el polvo sino el grafito del lápiz; por tanto, el dibujante debe observar las siguientes instrucciones:
 - Nunca afile la punta del lápiz encima de la plancha del dibujo.
 - Después de afilar la punta del lápiz o del compás, límpiela con un pedazo de tela para remover las partículas sueltas.
 - Nunca ponga la tablilla afilaminas encima de las escuadras o cualquier otro instrumento de dibujo. Guárdela siempre dentro de un sobre.
 - Nunca pase la mano por encima de la hoja de dibujo para retirar los restos de borrador. Siempre utilice la brocha de dibujante para este fin.
 - No use lápiz de mina HB o B para dibujo técnico. Ésta suelta mucho grafito que ensucia fácilmente el dibujo. Use minas 3H a 6H. La mina H sólo se usa para rotulación.
 - Cuando termine el trabajo, guarde la hoja en un sobre o carpeta para protegerla del polvo.

2.2 TRAZADO DE RECTAS HORIZONTALES

Para dibujar rectas horizontales (Fig. 2.1), utilice siempre la regla T; presione la cabeza de la regla T firmemente contra el borde de la mesa de dibujo con la mano izquierda; luego deslice la mano izquierda a la posición mostrada, para presionar la hoja de la regla contra la superficie de la mesa; luego incline el lápiz en la dirección de la línea a un ángulo aproximado de 60° con el papel, y dibuje la línea de izquierda a derecha.

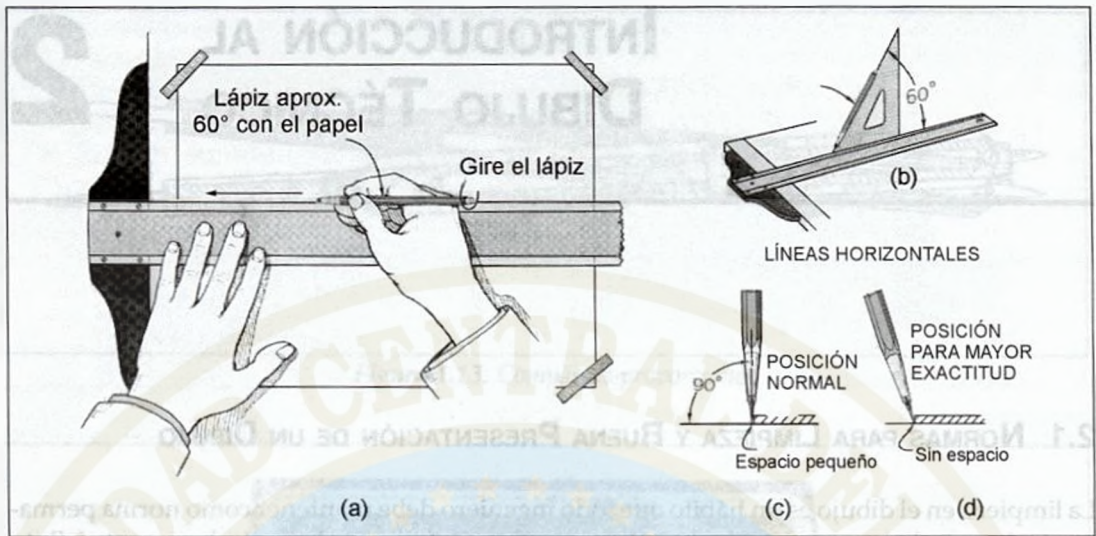


Figura 2.1. Dibujo de una línea horizontal

A medida que vaya trazando la línea, gire el lápiz de modo que el trazo sea uniforme –mantenga el mismo grosor– en toda su longitud. Las personas zurdas invierten la posición anterior, colocando la regla T sobre el borde derecho de la mesa y utilizando la mano izquierda para trazar.

2.3 TRAZADO DE RECTAS VERTICALES

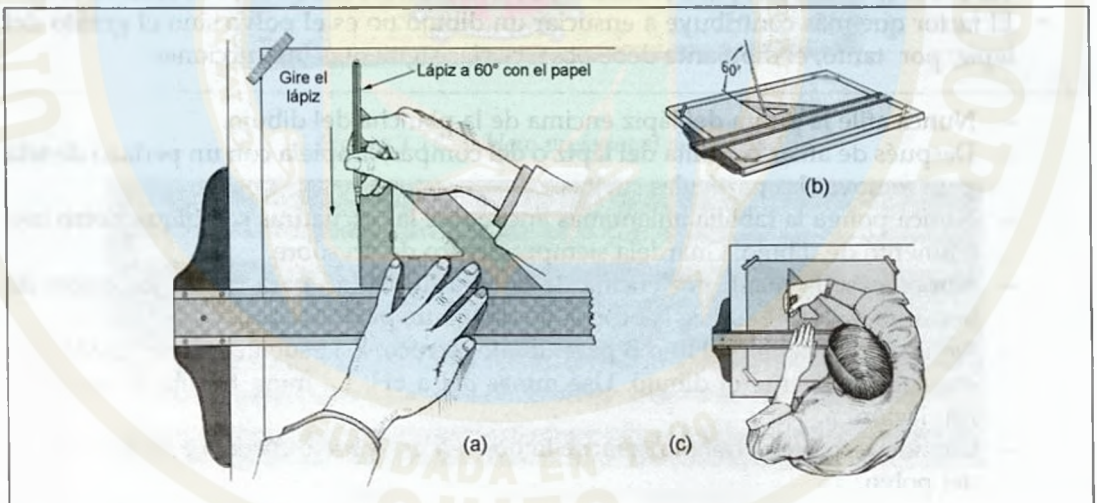


Figura 2.2. Dibujo de una línea vertical

Para trazar líneas verticales utilice siempre las escuadras de $30^\circ \times 60^\circ$ o de 45° apoyadas sobre la regla T, como se indica en la Fig. 2.2. Coloque la escuadra sobre la regla T con el borde vertical a la izquierda; con la mano izquierda, presione la cabeza de la regla T contra el borde de la mesa de dibujo, luego deslice la mano a la posición mostrada y sostenga la regla T y la escuadra firmemente, mientras traza la línea con la mano derecha, girando la punta del lápiz para darle grosor uniforme. La inclinación del lápiz es de 60° con respecto a la mesa, y el trazo se ejecuta de arriba hacia abajo, lo cual permite ver permanentemente los puntos extremos de la línea.

Las personas zurdas invierten el procedimiento, o sea la regla T a la derecha de la mesa y el borde vertical de la escuadra hacia el lado derecho; el trazo de la línea se hace con la mano izquierda, siempre de arriba hacia abajo.

La única vez que se permite a las personas diestras girar la escuadra de modo que el borde vertical quede a la derecha para dibujar una línea vertical, es cuando la línea queda cerca del borde derecho de la regla T; en este caso la línea se dibuja de abajo hacia arriba.

2.4 TRAZADO DE RECTAS INCLINADAS

En la Fig. 2.3 se muestran las posiciones para el trazado de rectas en todos los ángulos múltiplos de 15° , utilizando únicamente escuadras y regla T. En la figura se entiende que en todos los casos, una de las escuadras descansa sobre la regla T; así es posible dividir la circunferencia en 24 sectores de 15° cada uno, utilizando las escuadras en forma individual o en combinación. Las flechas indican la dirección en que se deben trazar las líneas.

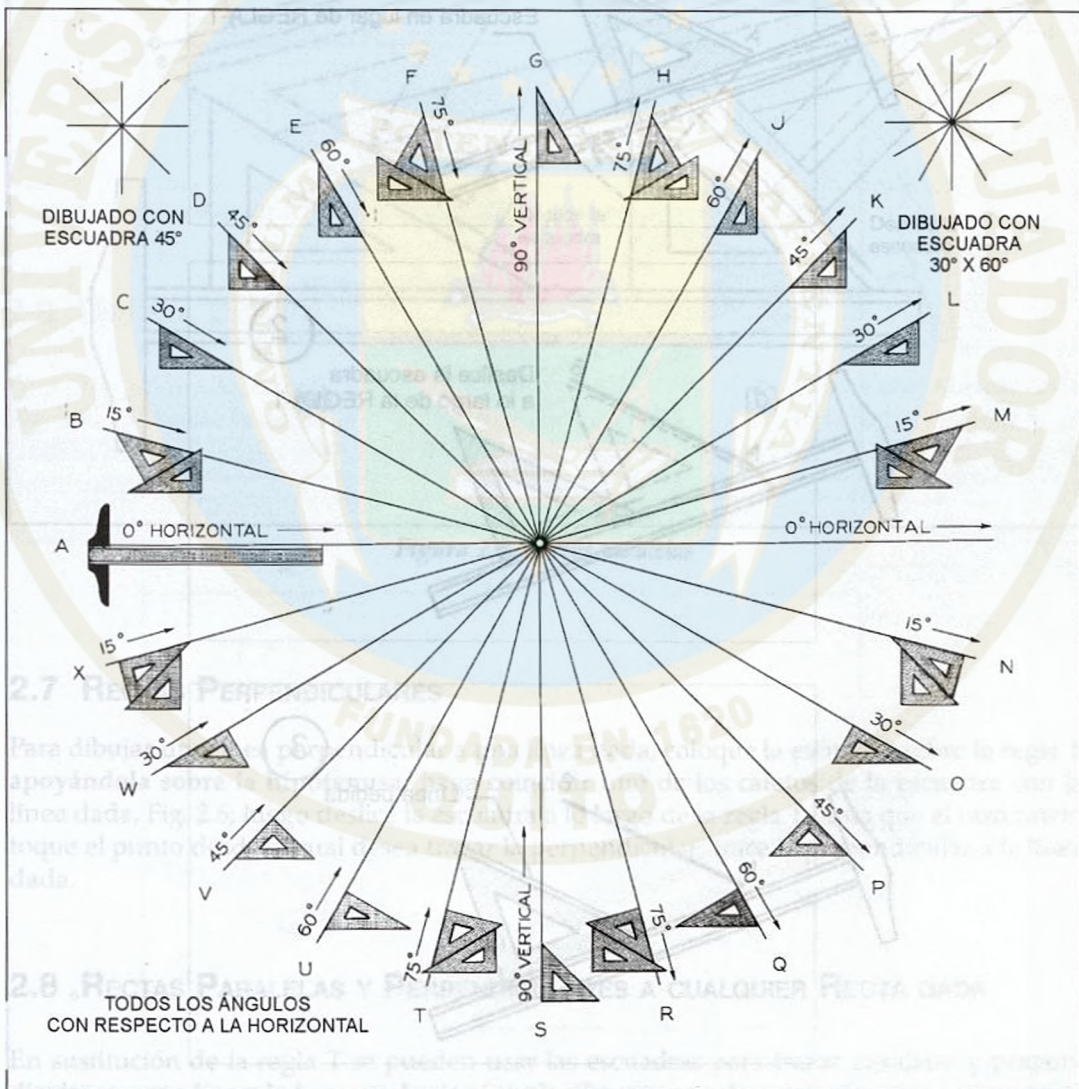


Figura 2.3. La rueda de escuadras

2.5 DIBUJAR UNA RECTA ENTRE DOS PUNTOS

Para trazar una recta entre dos puntos, coloque primero la punta del lápiz en uno de los puntos; luego acerque la escuadra o la regla T hasta la punta del lápiz y gire la escuadra hasta que se alinee con el otro punto; luego trace la línea girando la punta del lápiz para mantener la uniformidad del trazo.

2.6 DIBUJAR RECTAS PARALELAS

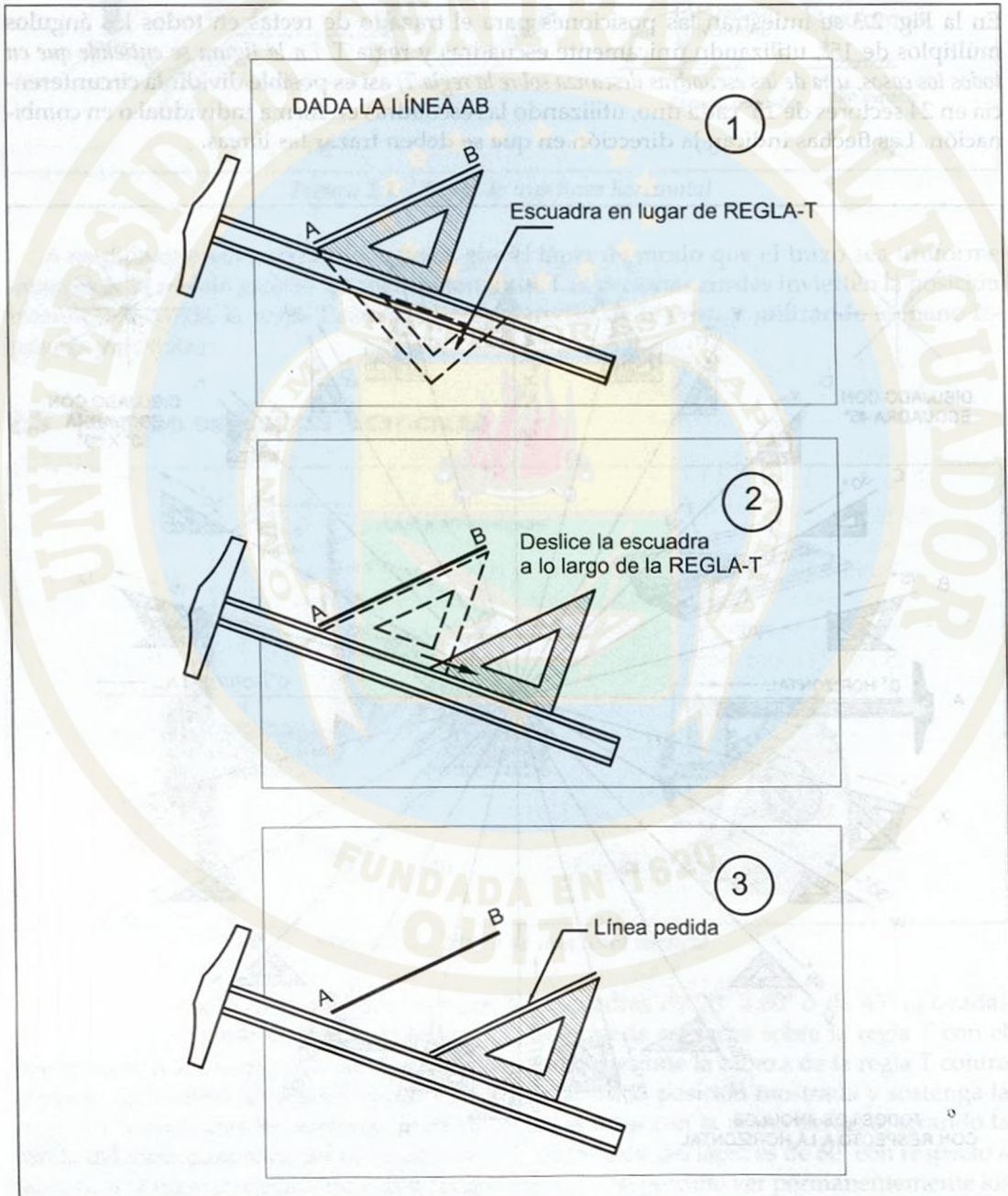


Figura 2.4. Dibujar una recta paralela a una recta dada

Para trazar una línea paralela a una línea dada, Fig. 2.4, mueva la escuadra y la regla T como una sola unidad hasta que la hipotenusa de la escuadra se alinee con la línea dada (1); luego, manteniendo firme la regla T en su posición, deslice la escuadra alejándola de la línea original y dibuje la línea requerida a lo largo de la hipotenusa.

Obviamente, cualquier borde recto puede sustituir a la regla T, como una escuadra, según se ve en la Fig. 2.5. Para dibujar líneas paralelas a 15° hacia abajo con la horizontal, acomode las escuadras en la forma indicada en (a) o (b).

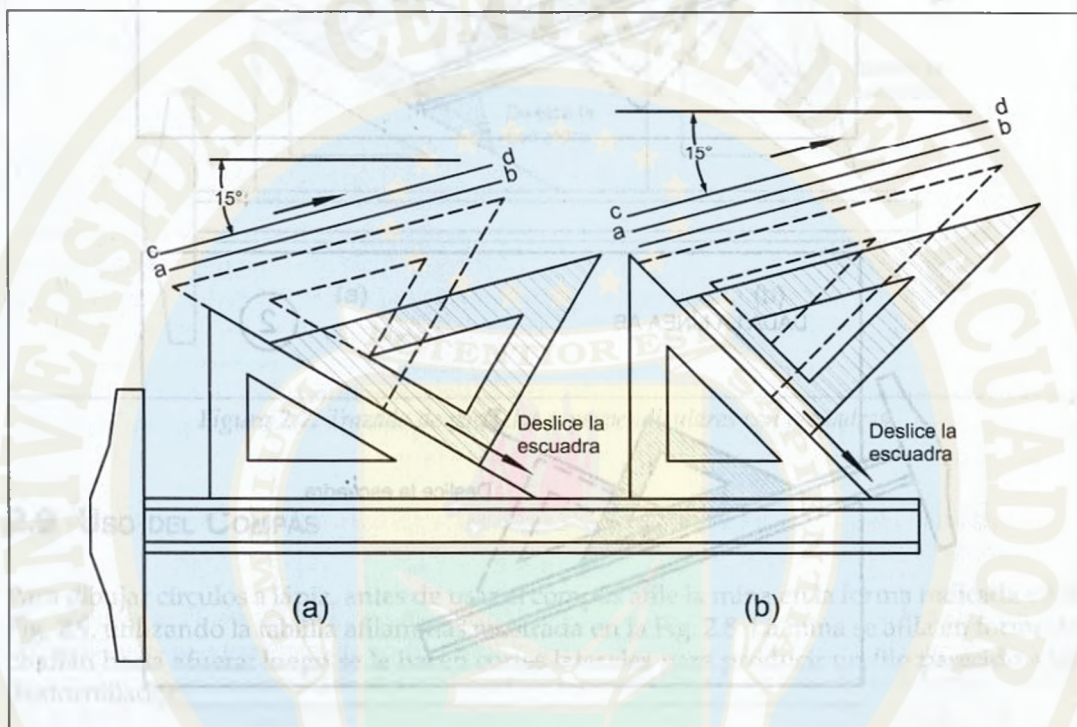


Figura 2.5. Líneas paralelas

2.7 RECTAS PERPENDICULARES

Para dibujar una línea perpendicular a una línea dada, coloque la escuadra sobre la regla T, apoyándola sobre la hipotenusa; haga coincidir uno de los catetos de la escuadra con la línea dada, Fig. 2.6; luego deslice la escuadra a lo largo de la regla T hasta que el otro cateto toque el punto desde el cual desea trazar la perpendicular; trace la perpendicular a la línea dada.

2.8 RECTAS PARALELAS Y PERPENDICULARES A CUALQUIER RECTA DADA

En sustitución de la regla T se pueden usar las escuadras para trazar paralelas y perpendiculares a una línea dada en cualquier ángulo. En este caso, las escuadras se acomodan de

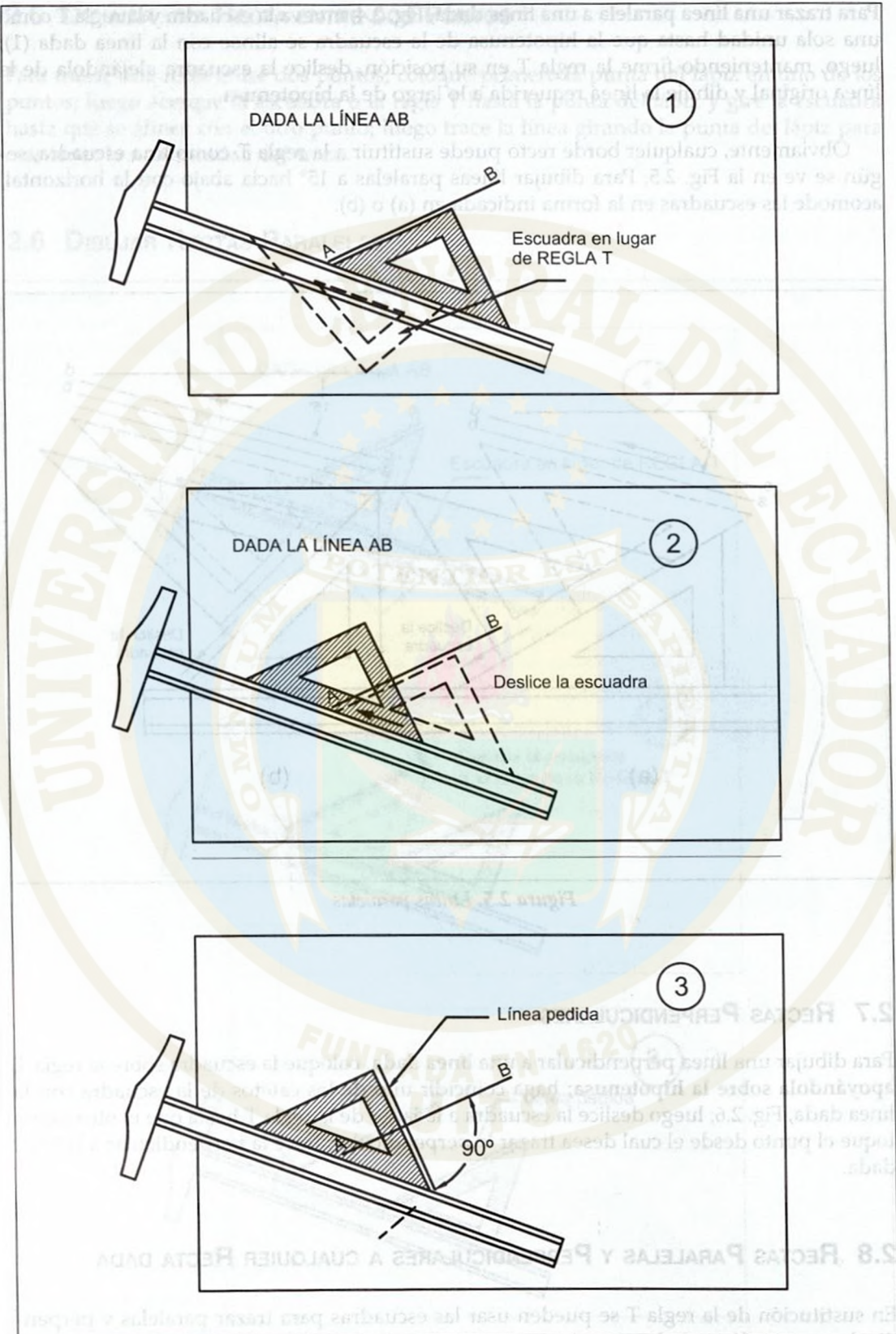


Figura 2.6. Dibujar una línea perpendicular a una línea dada

tal manera que puedan deslizarse sobre sus hipotenusas, dejando una de ellas fija y la otra móvil; uno de los catetos de la escuadra móvil se hace coincidir con la línea dada; deslizando ésta en la dirección apropiada, se trazan las paralelas o perpendiculares requeridas.

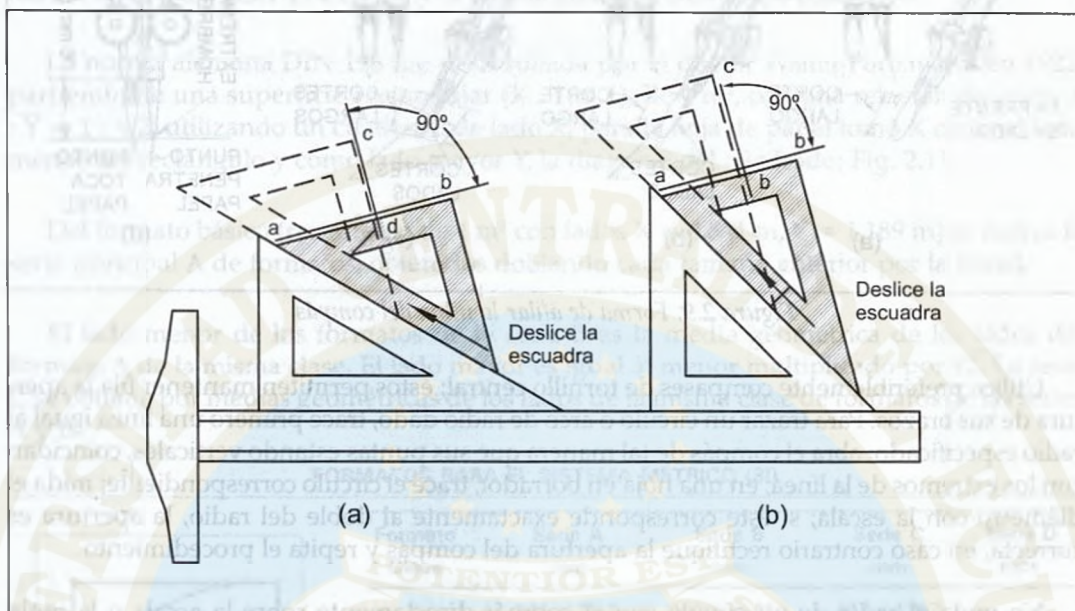


Figura 2.7. Trazado de paralelas y perpendiculares con escuadras

2.9 USO DEL COMPÁS

Para dibujar círculos a lápiz, antes de usar el compás afile la mina en la forma indicada en la Fig. 2.9, utilizando la tablilla afilaminas mostrada en la Fig. 2.8. La mina se afila en forma de chaflán hacia afuera; luego se le hacen cortes laterales para producir un filo parecido a un destornillador.

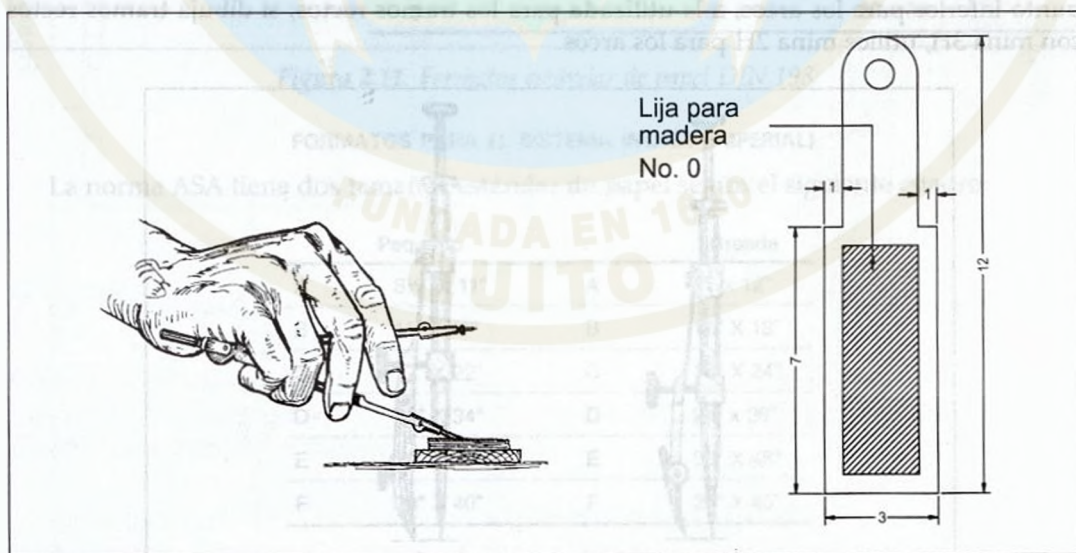


Figura 2.8. Uso del afilaminas

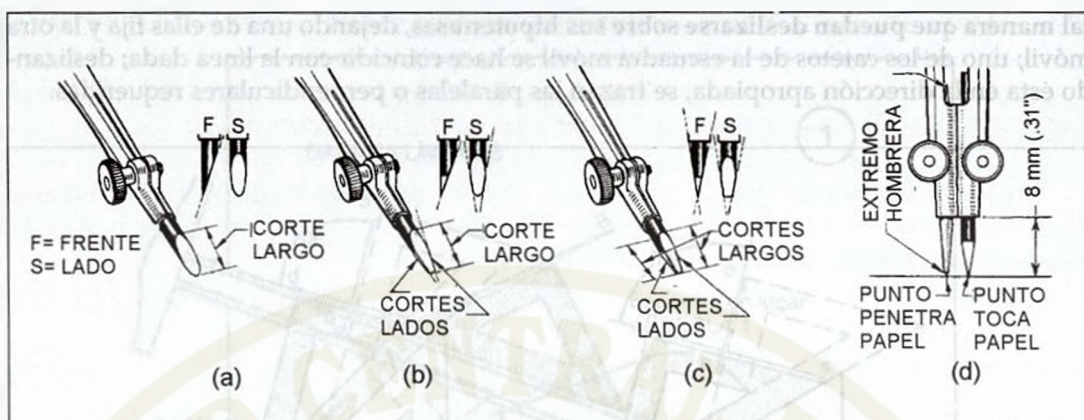


Figura 2.9. Forma de afilar la mina del compás

Utilice preferiblemente compases de tornillo central; éstos permiten mantener fija la apertura de sus brazos. Para trazar un círculo o arco de radio dado, trace primero una línea igual al radio especificado; abra el compás de tal manera que sus puntas estando verticales, coincidan con los extremos de la línea; en una hoja en borrador, trace el círculo correspondiente; mida el diámetro con la escala; si éste corresponde exactamente al doble del radio, la apertura es correcta; en caso contrario rectifique la apertura del compás y repita el procedimiento.

No mida el radio de un círculo con el compás directamente sobre la escala o la regla graduada. Esto produce grandes errores en la medición, que se reflejan luego en el dibujo. Utilice el método indicado anteriormente.

Para dibujar círculos muy pequeños, de radio inferior a 5 mm, utilice el compás de eje libre o «bigotera», ilustrado en la Fig. 2.10.

La aguja del compás tiene dos puntas; una plana y otra con hombreras. Para el dibujo de círculos se usa la punta con hombreras y para traslado de dimensiones se usa la punta plana. La punta de la mina debe quedar a la misma altura de la punta del compás al trazar el círculo, para que éste sea de trazo uniforme. Siempre utilice una mina de dureza un punto inferior para los arcos, a la utilizada para los tramos rectos; si dibuja tramos rectos con mina 3H, utilice mina 2H para los arcos.

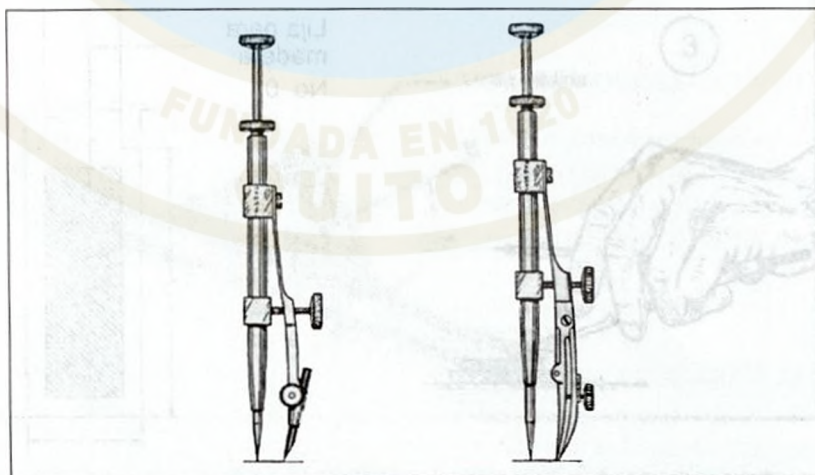


Figura 2.10. Bigotera

2.10 TAMAÑOS ESTÁNDAR DEL PAPEL PARA PLANOS DE INGENIERÍA

En la actualidad se utilizan en la industria dos tipos de normas para el tamaño del papel. La norma americana ASA Y14.1-1957 y la norma alemana DIN-198,476,829,4999.

La norma alemana DIN 198 fue desarrollada por el doctor Walter Portsmann en 1922, partiendo de una superficie rectangular ($X \cdot Y = 1$), de 1 m^2 , con una relación de lados $X : Y = 1 : \sqrt{2}$, utilizando un cuadrado de lado X ; para la hoja de papel tomó X como el lado menor del rectángulo y como lado mayor Y , la diagonal del cuadrado; Fig. 2.11.

Del formato básico (rectángulo de 1 m^2 con lados $X = 0.841 \text{ m}$, $Y = 1.189 \text{ m}$) se deriva la serie principal A de formatos, obtenidos doblando cada tamaño anterior por la mitad.

El lado menor de los formatos de la serie B es la media geométrica de los lados del formato A de la misma clase. El lado mayor es igual al menor multiplicado por $\sqrt{2}$. La serie C se obtiene por medias geométricas de los lados de la misma clase de formatos de las series A y B.

FORMATOS PARA EL SISTEMA MÉTRICO (SI)

Formato Clase	Serie A mm	Serie B mm	Serie C mm	Serie D mm
0	841 x 1189	1000 x 1414	917 x 1297	
1	594 x 841	707 x 1000	648 x 917	
2	420 x 594	500 x 707	548 x 648	(Se ha
3	297 x 420	353 x 500	324 x 548	suprimido
4	210 x 297	250 x 353	229 x 324	este
5	148 x 210	176 x 250	162 x 229	formato)
6	105 x 149	125 x 176	114 x 162	
7	74 x 105	88 x 125	81 x 114	
8	52 x 74	62 x 88	57 x 81	

Figura 2.11. Formatos estándar de papel DIN 198

FORMATOS PARA EL SISTEMA INGLÉS (IMPERIAL)

La norma ASA tiene dos tamaños estándar de papel según el siguiente cuadro:

	Pequeño		Grande
A	8½" X 11"	A	9" x 12"
B	11" X 17"	B	12" X 18"
C	17" X 22"	C	18" X 24"
D	22" X 34"	D	24" x 36"
E	34" X 44"	E	36" X 48"
F	28" X 40"	F	28" X 40"

Los márgenes y recuadros para títulos e identificación se indican en la Fig. 2.12.

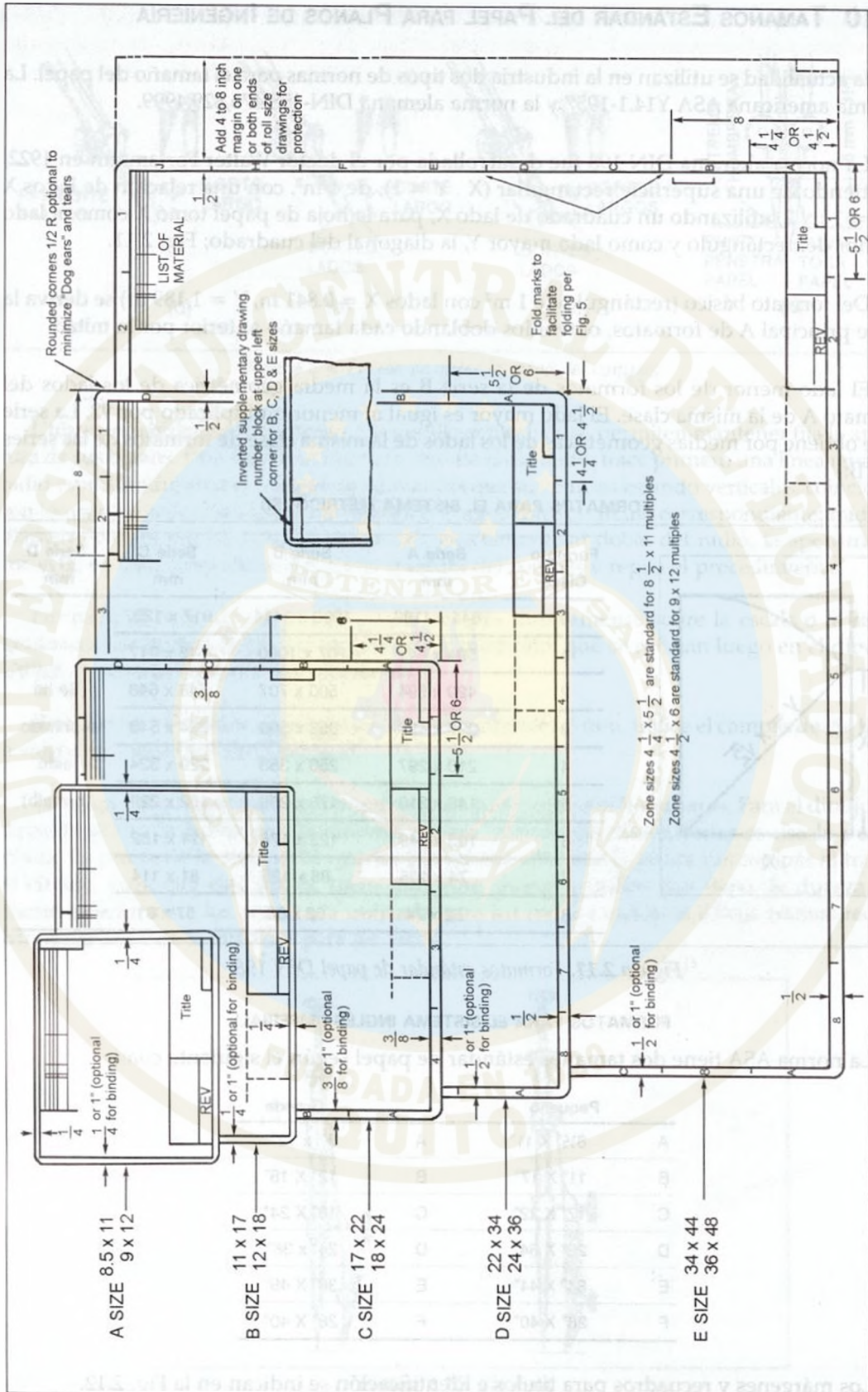


Figura 2.12. Hojas estándar americanas (ASA Y14.1-1957)

En Colombia rige, para el tamaño normalizado de papel, la norma ICONTEC 1687 (del Instituto Colombiano de Normas Técnicas) que es igual a la norma alemana DIN 198, la cual se ilustra en la Fig. 2.13.

TABLA 1. DIMENSIONES DE LOS FORMATOS

Formato	Área (m ²)	Dimensiones (mm)	Número de módulos A4
A0	1	841 x 1189	16
A1	1/2	594 x 841	8
A2	1/4	420 x 594	4
A3	1/8	297 x 420	2
A4	1/16	210 x 297	1
A5	1/32	148 x 210	1/2

Figura 2.13. Formatos normalizados de papel ICONTEC 1687

2.11 TAMAÑOS COMERCIALES DEL PAPEL

Comercialmente se expende el papel en pliegos de las siguientes dimensiones, que corresponden aproximadamente a la serie B del formato DIN 198.

Dimensiones	Formato	Nombre
1.00 m x 0.70 m	DIN-B1	PLIEGO
0.70 m x 0.50 m	DIN-B2	MEDIO PLIEGO
0.50 m x 0.35 m	DIN-B3	CUARTO DE PLIEGO
0.35 m x 0.25 m	DIN-B4	OCTAVO DE PLIEGO
11" X 8.5"	ASA-A	TAMAÑO CARTA
13" X 8.5"		TAMAÑO OFICIO

2.12 TIPOS DE LÍNEAS USADAS EN DIBUJO TÉCNICO

Cuando se dibuja a tinta se utilizan líneas de diferente espesor. El espesor de las líneas se especifica internacionalmente en décimas de milímetro, siguiendo las medidas normalizadas que se indican en el cuadro de la Fig. 2.14.

La norma ICONTEC 1777, sección 3.2, establece el tipo de líneas y el espesor de las mismas según la utilización que se les vaya a dar en el dibujo. En la Tabla 2, Fig. 2.17, se resumen las características y su aplicación relacionada con las Figs. 2.15 y 2.16.

ISO ancho en mm	Tradicional europeo anchos en mm	Tradicional americano	Líneas
0,13 ———	0,1 ———	0000 ———	Finas
0,18 ———			
0,25 ———	0,2 ———	000 ———	
0,35 ———	0,3 ———	00 ———	Medianas
	0,4 ———	0 ———	
0,5 ———	0,5 ———	1 ———	
0,7 ———	0,6 ———	2 ———	
	0,8 ———	3 ———	Gruesas
1,0 ———	1,0 ———	4 ———	
1,4 ———	1,2 ———	5 ———	
2,0 ———			

Figura 2.14. Espesor de líneas

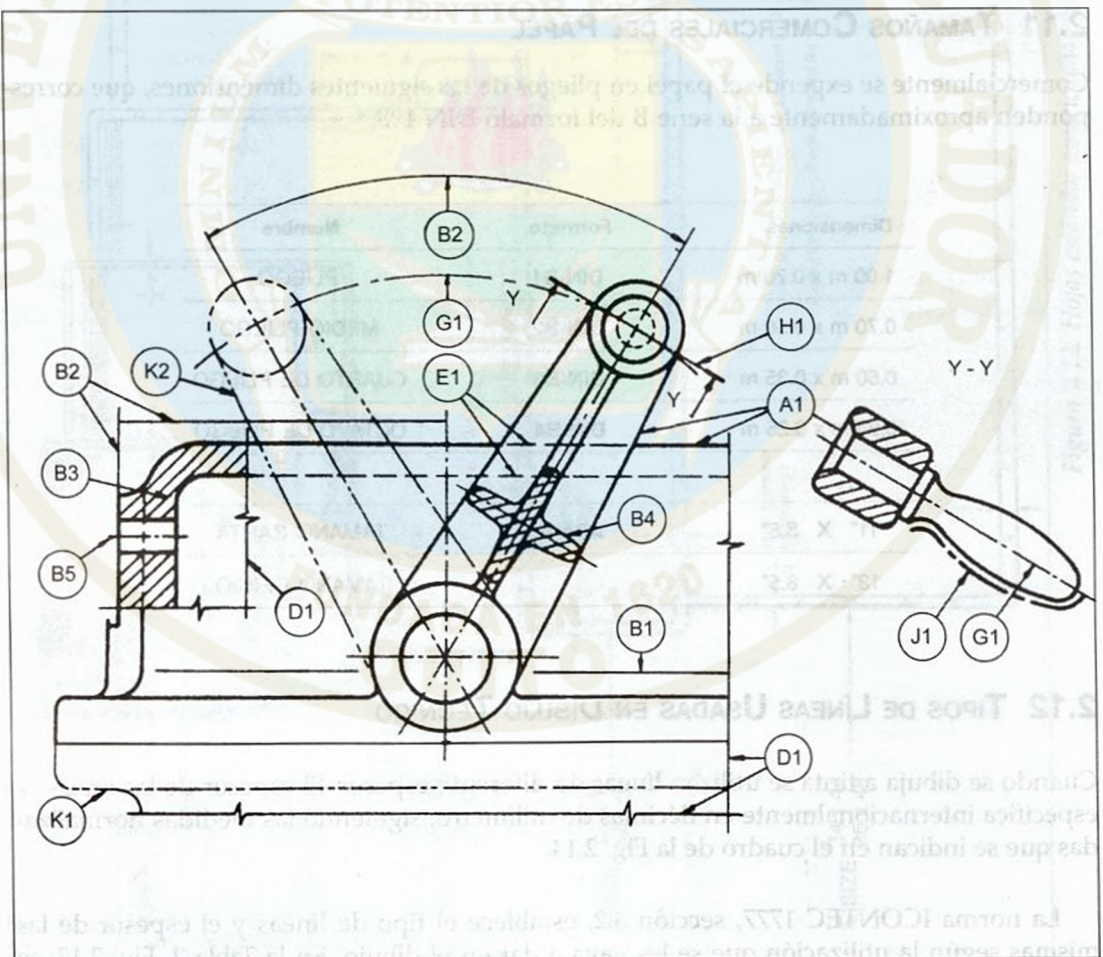


Figura 2.15. Tipos de líneas en dibujo de ingeniería I

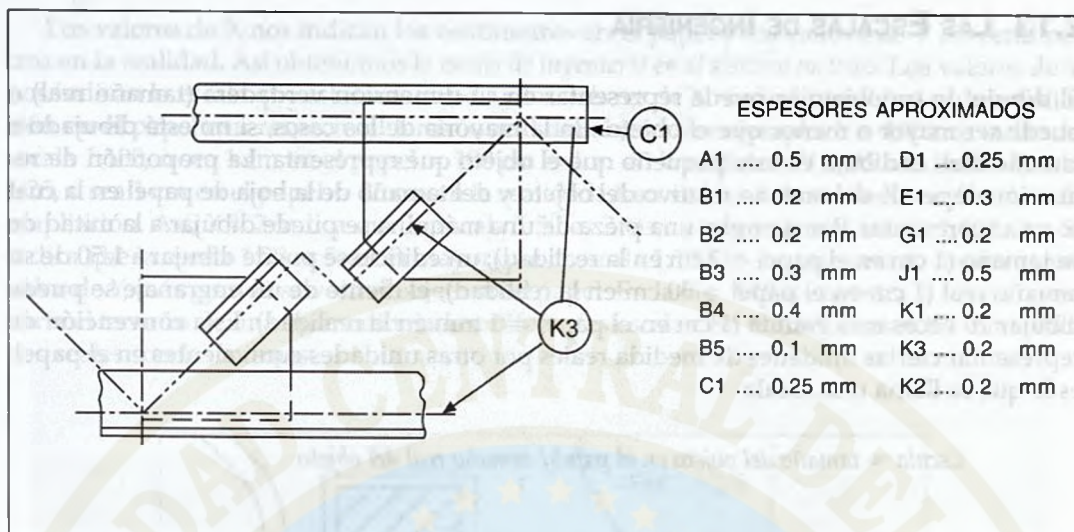


Figura 2.16. Tipos de líneas en dibujo de ingeniería II

TABLA 2. TIPOS DE LÍNEAS Y SU APLICACIÓN

Tipo de línea	Descripción	Aplicaciones generales	(3)
A	Línea continua gruesa (recta o curva)	Aristas y contornos visibles	A ₁
B	Línea continua fina (recta o curva)	Líneas imaginarias de intersección Línea de cota, auxiliares de cota o de referencia Rayados en cortes y secciones Contornos de secciones giradas Ejes cortos.	B ₁ B ₂ B ₃ B ₄ B ₅
C	Línea continua fina (a mano alzada).	Límites de vistas parciales o secciones, cuando el límite no es un eje.	C ₁
D	Línea continua fina (recta) con zig-zag.		D ₁
E	Línea gruesa de segmentos (2).	Aristas y contornos no visibles.	E ₁
F	Línea continua gruesa (recta o curva).		F ₁
G	Línea fina de segmentos cortos y largos alternados.	Líneas de ejes y líneas de simetría. Partes situadas en frente de un plano de corte.	G ₁ G ₂
H	Línea fina de segmentos cortos y largos alternados y gruesos en los extremos y en los cambios de dirección.	Planos de corte.	H ₁
J	Líneas gruesas de segmentos cortos y largos alternados.	Indicación de superficies que deben someterse a un tratamiento complementario.	J ₁
K	Línea fina de segmentos largos y segmentos cortos dobles alternados.	Contornos de partes adyacentes Posición alternativa o externa de partes móviles Líneas centroides Contorno inicial antes del conformado.	K ₁ K ₂ K ₃ K ₄

Notas:

- Este tipo de línea es más apropiado para dibujos elaborados con máquina.
- Aunque se pueda usar cualquiera de los dos tipos de líneas, se recomienda utilizar en un mismo dibujo el mismo tipo de línea.

Figura 2.17. Tipos de líneas según norma ICONTEC 1777

2.13 LAS ESCALAS DE INGENIERÍA

El **dibujo** de un objeto se puede representar en su dimensión verdadera (tamaño real) o puede ser mayor o menor que el objeto. En la mayoría de los casos, si no está dibujado a tamaño real, el dibujo es más pequeño que el objeto que representa. La proporción de reducción depende del tamaño relativo del objeto y del tamaño de la hoja de papel en la cual se va a representar. Por ejemplo, una pieza de una máquina se puede dibujar a la mitad de su tamaño (1 cm en el papel = 2 cm en la realidad); un edificio se puede dibujar a 1/50 de su tamaño real (1 cm en el papel = 50 cm en la realidad); el diente de un engranaje se puede dibujar 10 veces más grande (1 cm en el papel = 1 mm en la realidad). Esta **convención** de representar ciertas unidades de medida reales por otras unidades equivalentes en el papel, es lo que se llama una **escala**.

$$\text{Escala} = \text{tamaño del objeto en el papel} / \text{tamaño real del objeto}$$

2.13.1 Sistema métrico

La unidad de longitud en el sistema métrico es el metro, el cual se divide en cien partes llamadas centímetros (cm).

Si representamos las escalas métricas por la relación:

$$y = K/X \quad \text{para } K = 100 \text{ cm} = 1 \text{ metro}$$

en donde "y" representa centímetros en el terreno y "x" centímetros en el papel y tabulamos para los siguientes valores, obtenemos la siguiente curva, que nos representa 1 metro a diferentes escalas (Fig. 2.18). La interpretación de la gráfica es: Si utilizamos 1 cm en el papel para representar 1 metro, la escala es 1:100; 2 cm en el papel para representar 1 metro, la escala es 1:50; 4 cm en el papel para representar 1 metro, la escala es 1:25, etc.

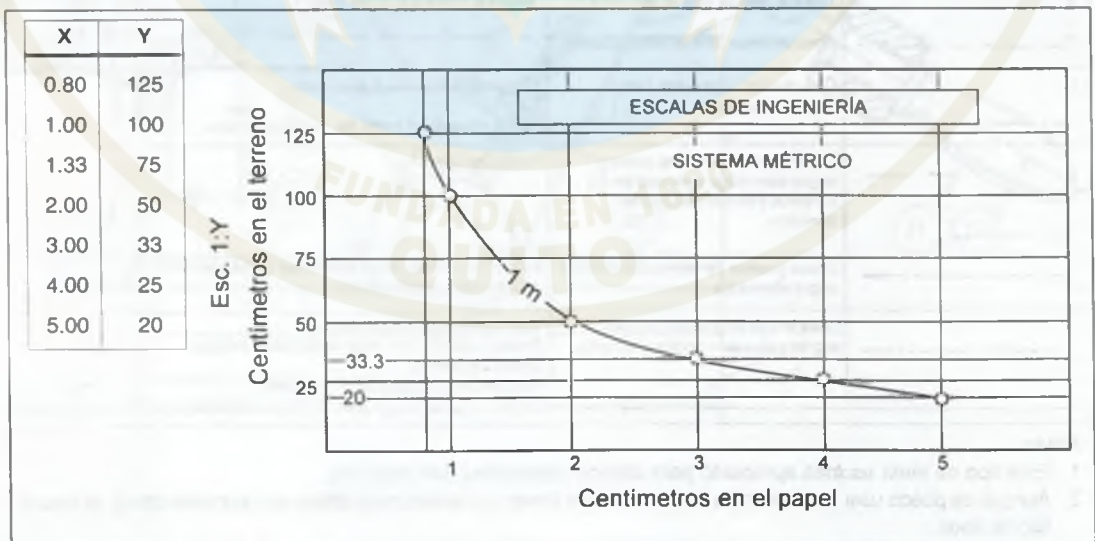


Figura 2.18. Representación de 1 m a diferentes escalas

Los valores de X nos indican los centímetros en el papel y los valores de Y los centímetros en la realidad. Así obtenemos la *escala de ingeniería en el sistema métrico*. Los valores de Y nos indican la escala que estamos usando y los valores de X nos indican el factor de ampliación en el papel con respecto al tamaño real del objeto. Por ejemplo, $Y = 100$ nos indica la escala 1:100, o sea 1 cm en el papel = 100 cm = 1 m en la realidad; $Y = 25$ nos indica escala 1:25, o sea 1 cm en el papel = 25 cm en la realidad. A su vez los valores de X son factores de ampliación. Así, $X = 2$ indica que la escala 1:50 es 2 veces mayor que la escala 1:100; $X = 5$, indica que la escala 1:20 es 5 veces mayor que la escala 1:100. O sea que cuanto menor sea el valor de Y, más grande se verá el objeto en el papel. En la Fig. 2.19 se muestra la forma como varía el tamaño de una figura dibujada a diferentes escalas. En todos los casos las dimensiones reales son las mismas.

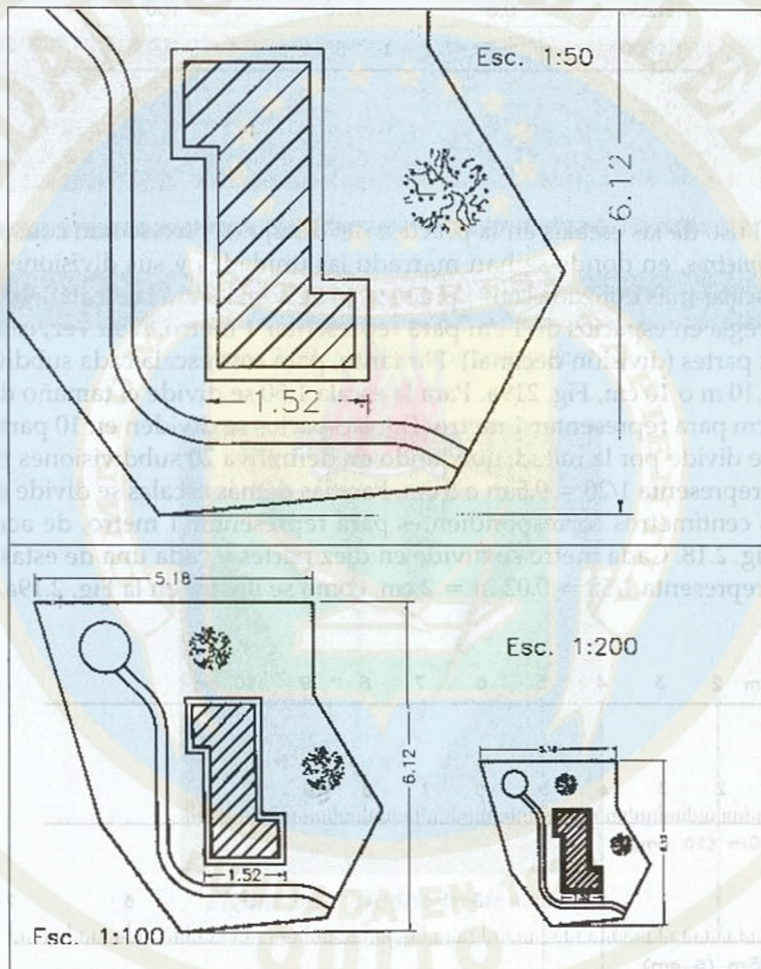


Figura 2.19. Representación de una figura a diferentes escalas

Hay que recordar que las escalas en el sistema métrico utilizan la equivalencia de centímetros en el papel por metros en el terreno. Como 1 centímetro = 10 milímetros, podemos utilizar las escalas con sus equivalencias en milímetros en vez de centímetros, las cuales tabulamos en la siguiente tabla. El valor en milímetros correspondiente a cada escala es el *factor de escala*, cifra utilizada en dibujo por computador (CAD) para imprimir planos a diferentes escalas, en sistema métrico.

TABLA DE ESCALAS EN EL SISTEMA MÉTRICO
Escala equivalente a milímetros por 1 metro

ESCALA	Milímetros	ESCALA	Milímetros
1:100	10	1:2000	0.50
1:200	5	1:2500	0.40
1:250	4	1:50	20
1:333.33	3	1:40	25
1:500	2	1:33.3	30
1:750	1.33	1:20	50
1:1000	1	1:15	66.7
1:1250	0.8	1:10	100
1:1500	0.67	1:5	200

Escalímetros

Para facilitar el uso de las escalas en la práctica del dibujo técnico se han construido reglas, llamadas *escalímetros*, en donde se han marcado las unidades y sus divisiones, correspondientes a las escalas más utilizadas en la práctica profesional. Para la escala 1:100 se divide el tamaño de la regla en espacios de 1 cm para representar 1 metro. A su vez, cada espacio se divide en diez partes (división decimal). Por tanto, para esta escala cada subdivisión representa $1/10 = 0.10$ m o 10 cm, Fig. 219a. Para la escala 1:50 se divide el tamaño de la regla en espacios de 2 cm para representar 1 metro. Estos espacios se dividen en 10 partes. A su vez, cada décimo se divide por la mitad, quedando en definitiva 20 subdivisiones por cada metro. Cada una representa $1/20 = 0.05$ m o 5 cm. Para las demás escalas se divide el tamaño de la regla en los centímetros correspondientes para representar 1 metro, de acuerdo con la gráfica de la Fig. 2.18. Cada metro se divide en diez partes y cada una de estas en 5 partes. Cada división representa $1/50 = 0.02$ m = 2 cm, como se ilustra en la Fig. 2.19a.

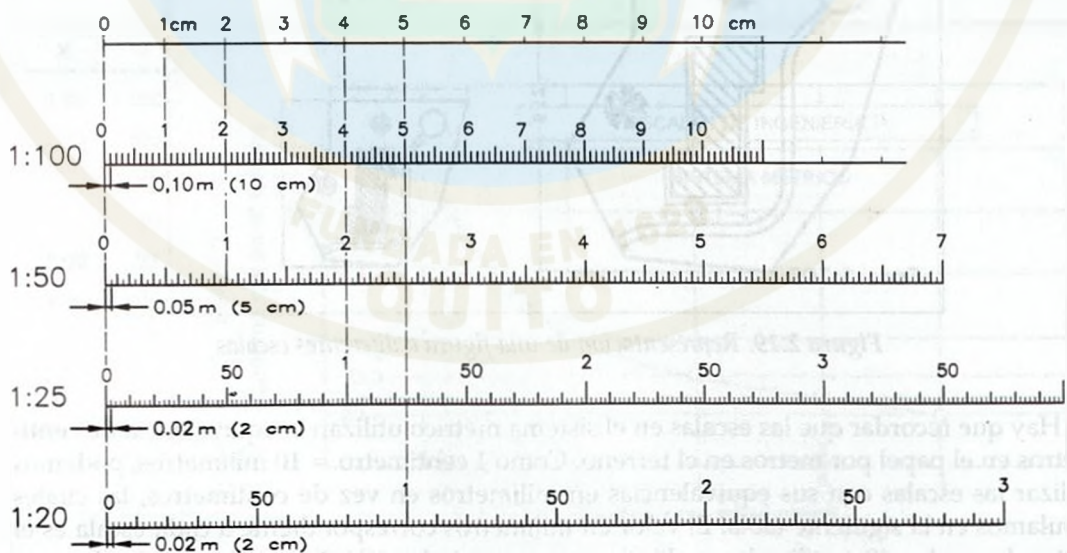


Figura 2.19a

En la práctica los escalímetros se construyen en piezas de madera, metal o plástico, por lo general de forma triangular (Fig. 2.20) en donde se registran seis escalas, dos por cada vértice del triángulo. Las más usadas en ingeniería y arquitectura son: 1:100, 1:20, 1:50, 1:25, 1:75, 1:125. También se consiguen comercialmente escalímetros de abanico (Fig. 2.21) en donde en cada lámina se registran dos escalas; cada abanico tiene cinco láminas de plástico, por tanto se pueden obtener por este medio diez escalas, cuatro más que en el caso de los escalímetros triangulares. Las más comunes son: 1:100, 1:50, 1:20, 1:15, 1:25, 1:75, 1:125, 1:40, 1:33 1/3, 1:30. En los escalímetros en sistema métrico, las escalas están marcadas en el extremo izquierdo. En todos los casos, el número 1 siempre representa 1 metro.

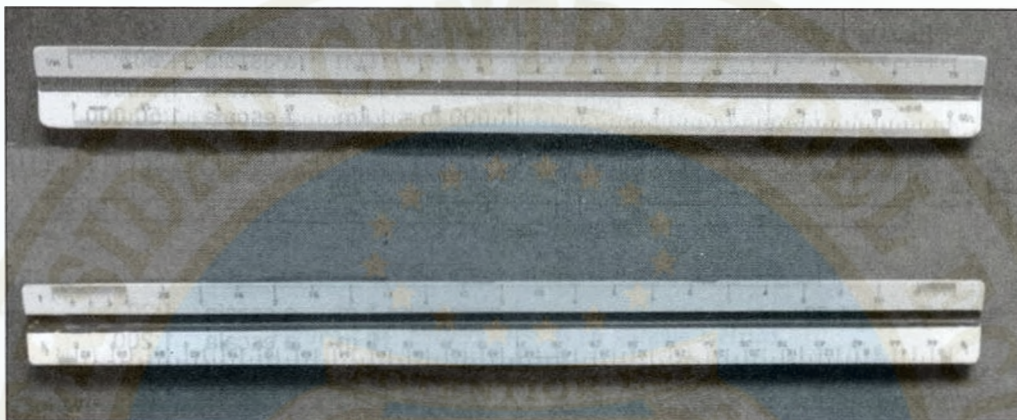


Figura 2.20. Escalímetros triangulares

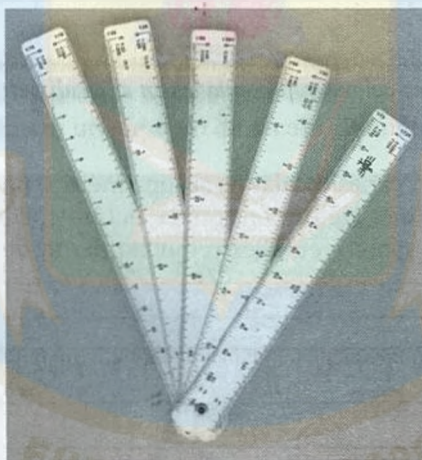


Figura 2.21. Escalímetro de abanico

Los valores de las escalas no sólo representan su valor inicial. También representan múltiplos o submúltiplos de 10 de los mismos. Ejemplo: la escala 1:100 se usa también para la escala 1:1.000, 1:10.000, etc. La escala 1:75 se usa también para la escala 1:750, 1:7.500, etc., multiplicando las unidades por 10, 100, 1.000, etc. (Fig. 2.22). Algunos escalímetros ya traen marcadas dos escalas en cada uno de los bordes, como se muestra en la Fig. 2.22.

Igualmente las escalas se pueden usar para representar cualquier tipo de unidades. Por ejemplo, pulgadas, pies, kilómetros, kilogramos, millones de personas en un censo, metros cúbicos, etc. dependiendo de lo que se quiera representar a escala en un gráfico o un plano.

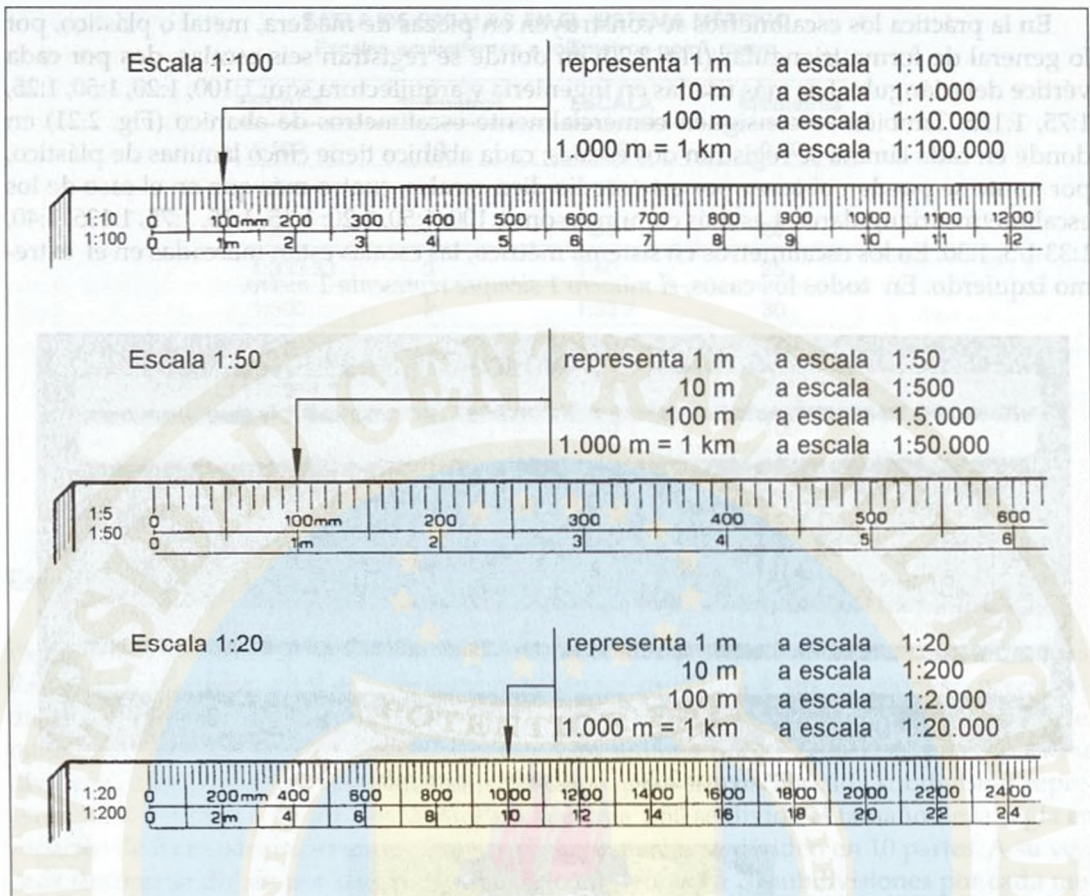


Figura 2.22. Diferentes valores representados en el escalímetro (sistema métrico).

En la figura 2.23 se ilustran varias escalas en sistema métrico (la unidad es el cm = 10 mm). Estúdielas y anote, sobre la línea de dimensión, la lectura correspondiente. La escala está indicada por el número que aparece en el extremo izquierdo de la regla.

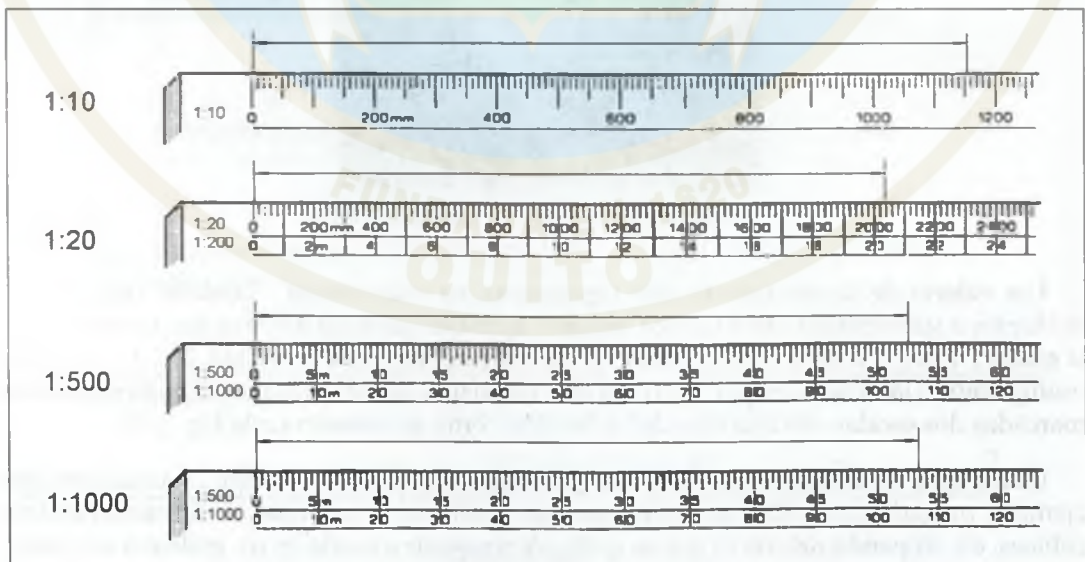


Figura 2.23. Escalas de ingeniería - Sistema Métrico

En los planos topográficos y mapas geográficos se acostumbra representar la escala a la cual se hizo el dibujo en forma gráfica además de numérica. En la Fig. 2.24 se ilustran varias escalas representadas en forma gráfica.

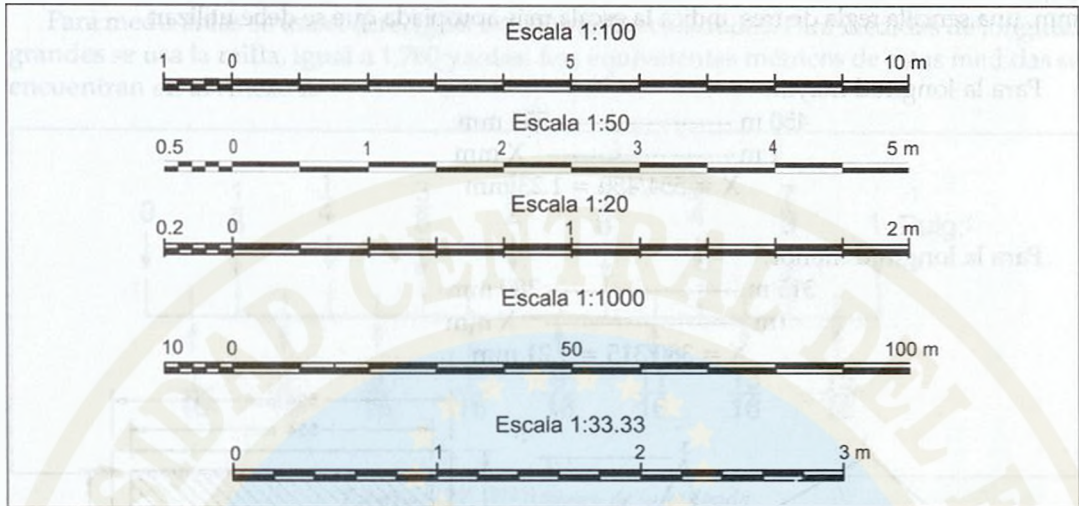


Figura 2.24. Escalas gráficas en sistema métrico

La representación gráfica tiene la ventaja de poder medir las distancias directamente en los planos topográficos o los mapas, sin necesidad de usar el escalímetro, marcando sobre el borde de una hoja de papel la distancia requerida, y poniéndolo alineado con la escala gráfica se obtiene la medida de la distancia a la escala correspondiente.

En las cartas geográficas o mapas se acostumbra usar escalas gráficas mostrando las distancias en kilómetros, dado que estas son de gran magnitud, por lo general de varios kilómetros. En la Fig. 2.25 se ilustra un ejemplo de escala kilométrica.

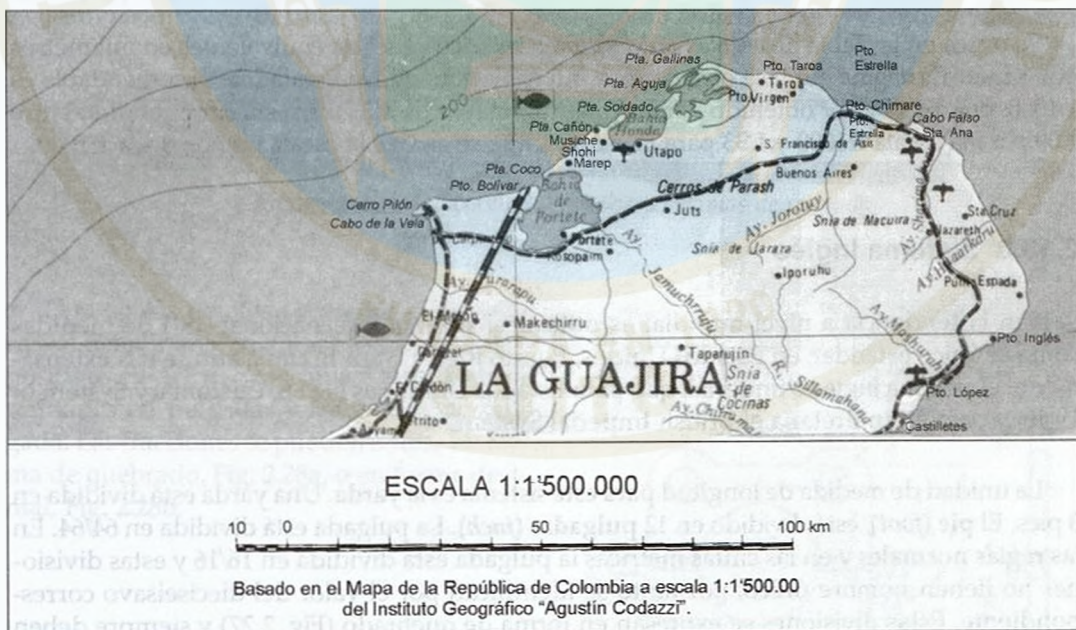


Figura 2.25. Escalas kilométricas en cartas geográficas

La selección de la escala más apropiada para dibujar un plano depende del tamaño del papel de que se disponga y de las dimensiones del objeto que se va a representar. Por ejemplo: si un terreno tiene la forma y dimensiones mostradas en la Fig. 2.26, y se dispone de una hoja de papel tamaño A2 (420 mm x 594 mm), si se desea abarcar el máximo del área útil de 554 mm x 380 mm, una sencilla regla de tres indica la escala más apropiada que se debe utilizar:

Para la longitud mayor:

$$450 \text{ m} \text{ ----- } 554 \text{ mm}$$

$$1 \text{ m} \text{ ----- } X \text{ mm}$$

$$X = 554/450 = 1.23 \text{ mm}$$

Para la longitud menor:

$$315 \text{ m} \text{ ----- } 380 \text{ mm}$$

$$1 \text{ m} \text{ ----- } X \text{ mm}$$

$$X = 380/315 = 1.21 \text{ mm}$$

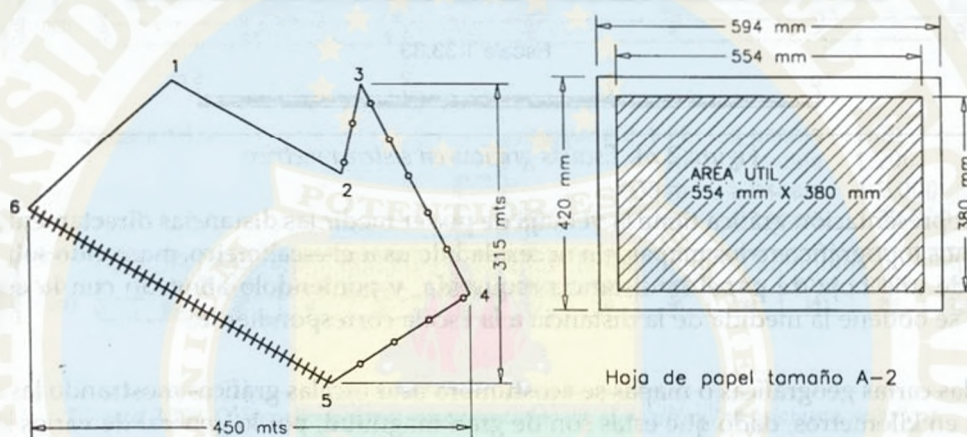


Figura 2.26. Selección de escala

Se busca en la "Tabla de escalas en el sistema métrico - Escalas equivalentes en milímetros por 1 metro" (página 40) y se observa por interpolación, que la escala más recomendable es 1:1000, porque el valor obtenido para la longitud mayor de 1.23 mm está comprendido entre 1.00 para la escala 1:1000 y 1.33 para la escala 1:750; se escoge la escala menor, o sea 1:1000.

2.13.2 Sistema Inglés

Si bien la tendencia a nivel mundial es utilizar el sistema internacional (SI) de medidas como el único estándar, en Estados Unidos, Puerto Rico y Gran Bretaña aún se usa extensamente el sistema inglés o imperial, que para Estados Unidos es el U.S. Customary System of Units y para Gran Bretaña el British Imperial System.

La unidad de medida de longitud para este sistema es la **yarda**. Una yarda está dividida en 3 pies. El **pie (foot)**, está dividido en 12 **pulgadas (inch)**. La pulgada está dividida en 64/64. En las reglas normales y en las cintas métricas la pulgada esta dividida en 16/16 y estas divisiones no tienen nombre único, por tanto se identifican por el valor del dieciseisavo correspondiente. Estas divisiones se expresan en forma de quebrado (Fig. 2.27) y siempre deben darse en forma simplificada; ejemplo: se debe escribir $\frac{1}{2}$ y no $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$ y no $\frac{6}{8}$, $\frac{9}{16}$ y no $\frac{18}{32}$,

$6\frac{1}{2}$ y no $13/2$. También se puede escribir la fracción decimal equivalente; por ejemplo: $\frac{1}{2}" = 0.5"$, $\frac{3}{4}" = 0.75"$, $\frac{13}{16}" = 0.81"$. El Anexo # 3 trae la tabla de equivalentes decimales de las fracciones de la pulgada.

Para medir áreas se usa el **acre**, igual a 4,840 yardas cuadradas. Para medidas de longitud grandes se usa la **milla**, igual a 1,760 yardas. Los equivalentes métricos de estas medidas se encuentran en el Anexo 2.

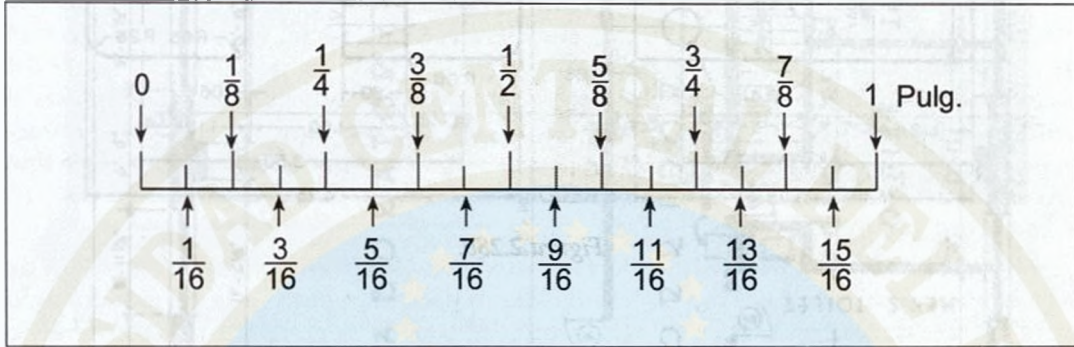


Figura 2.27. Divisiones de la pulgada

Actualmente también se está dividiendo el pie en 10/10 para utilizar décimas de pie en vez de fracciones en pulgadas, Fig. 2.28. La forma usual de anotar una cifra en pies es poniéndole una comilla después de la cifra. Ejemplo: $13' = 13$ pies. Para las pulgadas se usan dos comillas: $9'' = 9$ pulgadas. Una longitud de 140 pies y 11 pulgadas se escribe $140' - 11''$.

Las medidas de longitud se expresan en pies y pulgadas escribiéndolas en la siguiente forma: $21' - 8''$ para indicar 21 pies y 8 pulgadas; el guión es un separador entre pies y pulgadas y no un signo menos. Si la medida es menor que un pie se anota así: $0' - 9''$ para indicar cero (0) pies y 9 pulgadas. También se acostumbra anotar la medida total en pulgadas; ejemplo $3' - 4'' : 40''$; $12' - 3\frac{1}{2}'' : 147\frac{1}{2}''$. Si la medida no tiene pulgadas se anotan los pies y a continuación cero (0) pulgadas; ejemplo: $15' - 00''$ para indicar 15 pies y cero pulgadas.

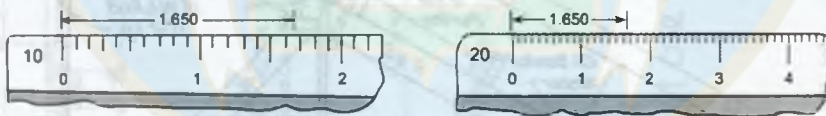


Figura 2.28. Medición en pulgadas y décimas de pulgada

Para acotar objetos pequeños como piezas de maquinaria, circuitos electrónicos, dispositivos eléctricos o mecánicos, etc., se usan unidades en pulgadas y fracciones de pulgada. Las fracciones se pueden anotar en forma de quebrado, Fig. 2.28a, o en forma decimal, Fig. 2.28b.

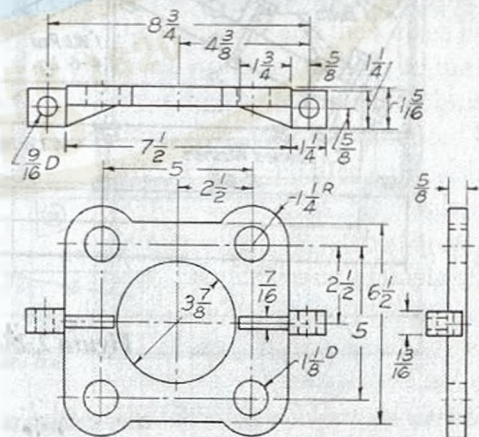


Figura 2.28a.

Para medidas relativamente grandes como las de planos arquitectónicos, planos de obras de ingeniería, estructurales, eléctricos, sanitarios, hidráulicos, de aire acondicionado y ventilación, etc., se acostumbre acotar en pies y pulgadas, como se muestra en las Figuras 2.28c y 2.28d.

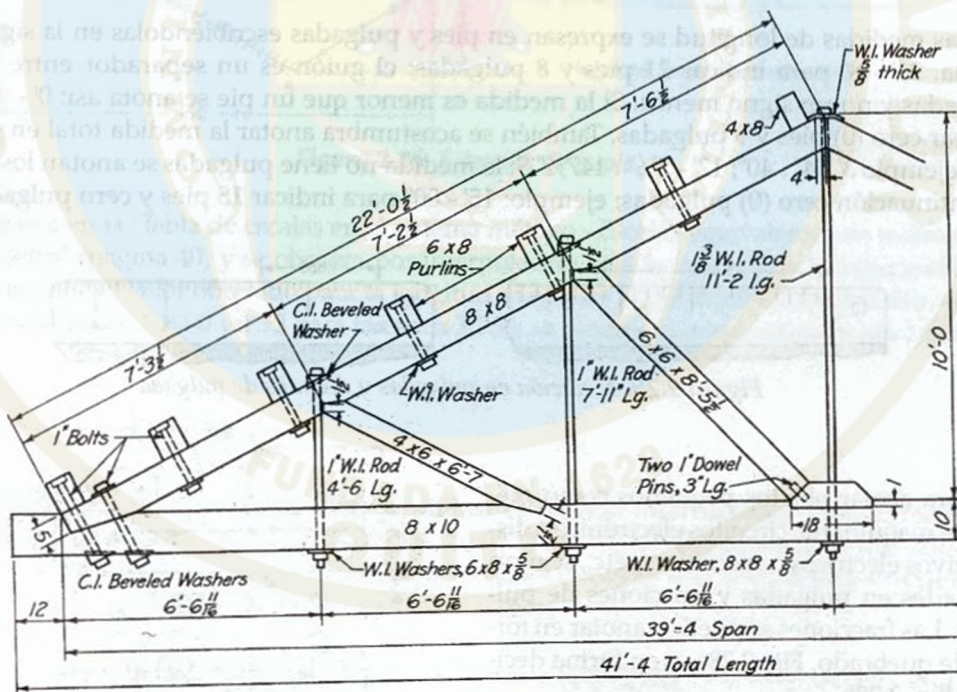


Figura 2.28c. Plano estructural

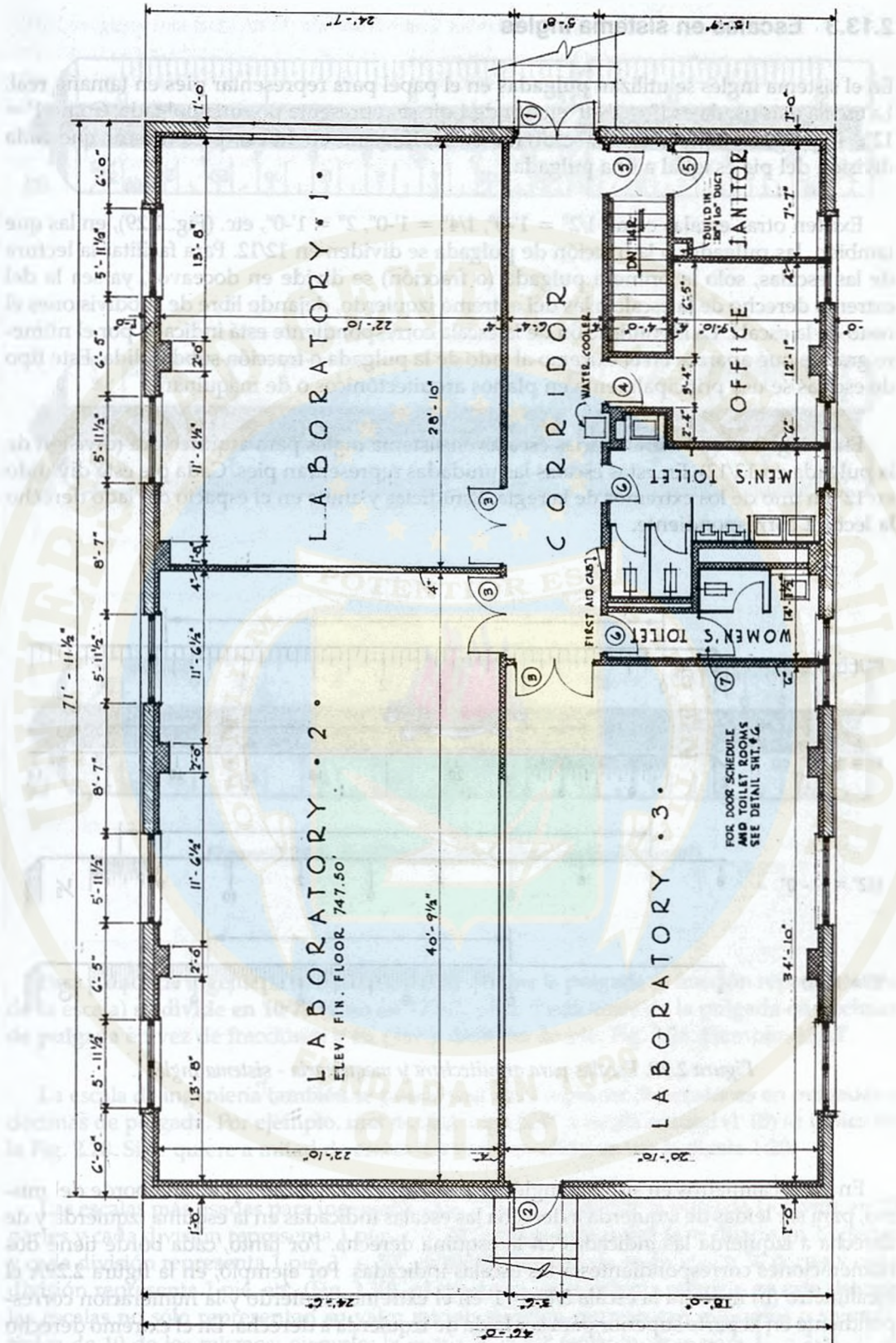


Figura 2.28d. Plano arquitectónico

2.13.3 Escalas en sistema inglés

En el sistema inglés se utilizan **pulgadas** en el papel para representar **pies** en tamaño real. La escala más usada es $1'' = 1' - 0''$ en donde 1 pie se representa por una pulgada. Como $1' = 12''$, la pulgada en esta escala se divide en 12/12 (y no en 16/16), para indicar que cada división del pie es igual a una pulgada.

Existen otras escalas como $1/2'' = 1' - 0''$, $1/4'' = 1' - 0''$, $2'' = 1' - 0''$, etc. (Fig. 2.29), en las que también las pulgadas o la fracción de pulgada se dividen en 12/12. Para facilitar la lectura de las escalas, solo la primera pulgada (o fracción) se divide en doceavos, ya sea la del extremo derecho de la escala o las del extremo izquierdo, dejando libre de subdivisiones el resto de la escala. La identificación de la escala correspondiente está indicada por el número grande que aparece en el extremo al lado de la pulgada o fracción subdividida. Este tipo de escalas se usa principalmente en planos arquitectónicos o de maquinaria.

En la Fig. 2.29 se ilustran varias escalas en sistema inglés para arquitectura (división de la pulgada en 12/12). En estas escalas las unidades representan pies. Cada pie está dividido en 12'' en uno de los extremos de la regla. Estúdielas y anote en el espacio del lado derecho la lectura correspondiente.

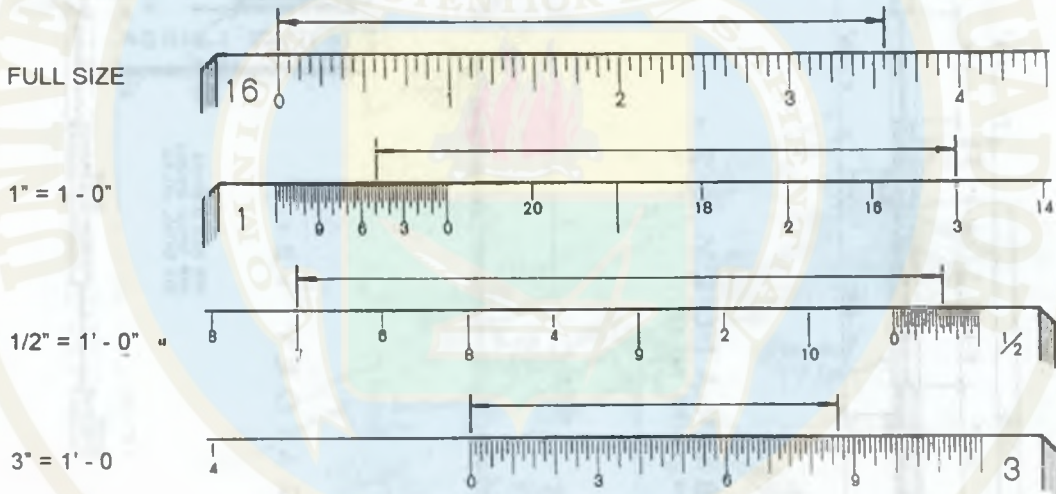


Figura 2.29. Escalas para arquitectura y maquinaria - sistema inglés

En los escalímetros en sistema inglés se construyen dos escalas por cada borde del mismo, para ser leídas de izquierda a derecha las escalas indicadas en la esquina izquierda y de derecha a izquierda las indicadas en la esquina derecha. Por tanto, cada borde tiene dos numeraciones correspondientes a las escalas indicadas. Por ejemplo, en la figura 2.29A el escalímetro (b) muestra la escala $3/8'' = 1'$ en el extremo izquierdo y la numeración correspondiente en la parte superior para ser leída de izquierda a derecha. En el extremo derecho muestra la escala $3/4'' = 1'$ y la numeración correspondiente en la parte inferior para ser leída de derecha a izquierda.

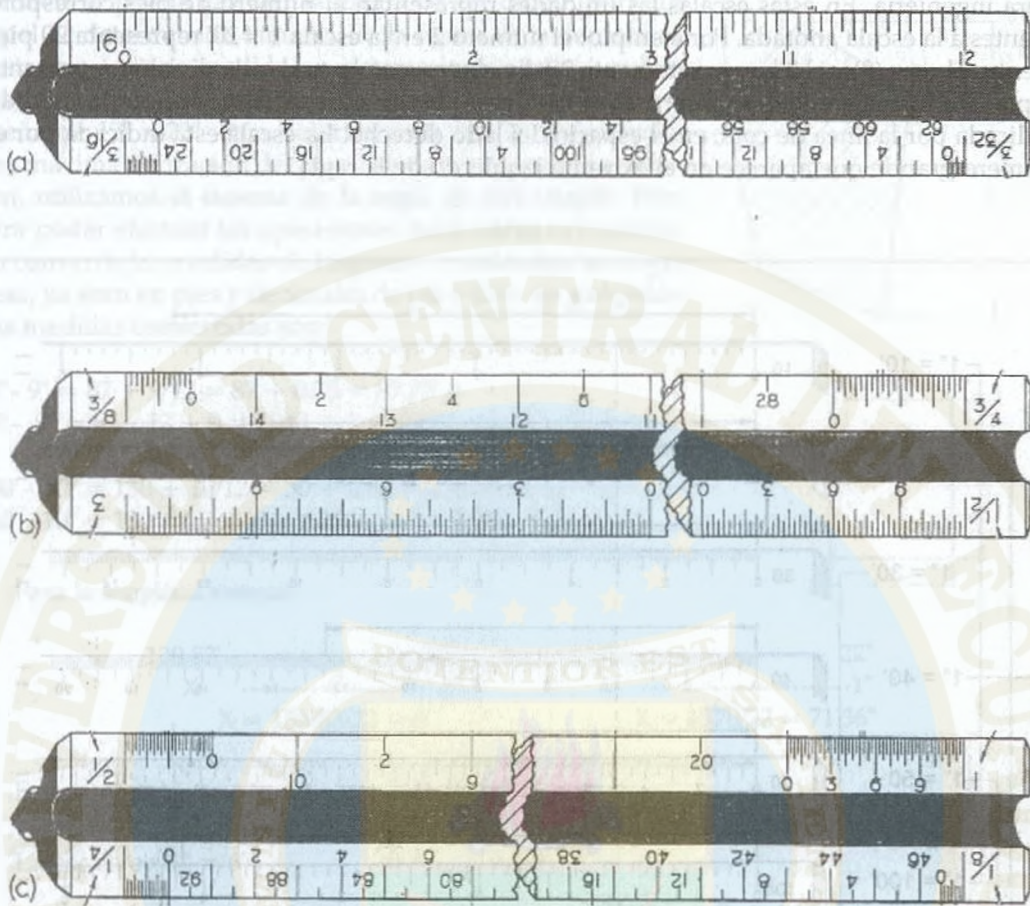


Figura 2.29A. Escalímetros en sistema inglés (imperial)

Para planos de ingeniería se usan escalas en las que la pulgada (o fracción representativa de la escala) se divide en 10/10 (y no en 12/12), para mediciones de la pulgada en **décimas de pulgada** en vez de fracciones y en **pies y décimas de pie**, Fig. 2.28. Ejemplo: 45.63'.

La escala de ingeniería también se puede usar para expresar dimensiones en pulgadas y décimas de pulgada. Por ejemplo, una medida de 1.650" a escala natural (1:10) se indica en la Fig. 2.28. Si se quiere a mitad de escala la misma medida, se usa la escala 1:20.

Las escalas más usadas para ingeniería son: 1" = 10', en donde la pulgada se divide en 10 partes y cada división representa 1 pie; 1" = 20', en donde la pulgada se divide en 20 partes y cada división representa 1 pie; 1" = 50', en donde la pulgada se divide en 50 partes y cada división representa 1 pie, etc. (Fig. 2.30). Al igual que en el sistema métrico, en este sistema las escalas no sólo representan su valor inicial; también representan múltiplos o submúltiplos de 10 de los mismos; ejemplo: la escala 1" = 10' también sirve para 1" = 100', 1" = 1.000', etc.

En la Fig. 2.30 se ilustran varias escalas en sistema inglés (la unidad es 1 pulg = 10/10) para ingeniería. En estas escalas las unidades representan el número de pies correspondientes a la escala anotada. Por ejemplo: el número 2 en la escala $1"=20'$ representa 20 pies y entre el cero (0) y el 2 hay exactamente 20 divisiones, con lo cual cada división representa 1 pie. De forma similar se interpretan las demás escalas. Estúdielas y anote la medida indicada por la línea de cota, en el espacio del lado derecho. La escala está indicada por el número grande que aparece en el extremo izquierdo de la regla.

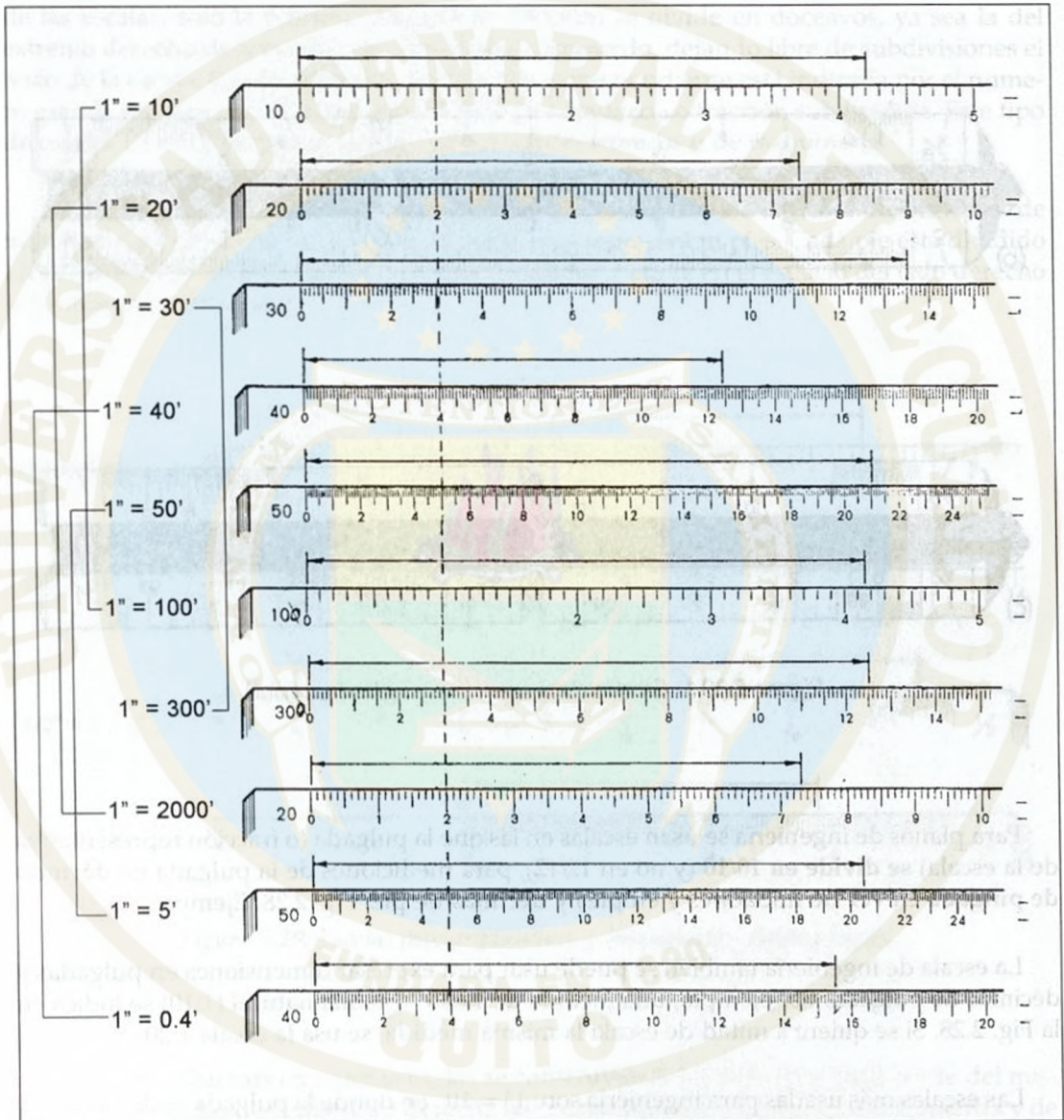


Figura 2.30. Escalas de ingeniería - sistema inglés

Al igual que en el sistema métrico, en el sistema inglés también se puede calcular la escala de un dibujo para un papel de determinado tamaño. En la figura de la derecha se ilustra un terreno medido en sistema inglés (pies - pulgadas). Se dispone de una hoja de papel tamaño ASA-C pequeña de 17" x 22". Para determinar la escala que permita una máxima utilización del papel sin tener en cuenta el margen, utilizamos el sistema de la regla de tres simple. Pero para poder efectuar las operaciones matemáticas es necesario convertir las medidas de longitud en unidades homogéneas, ya sean en pies y decimales de pie o todo en pulgadas. Las medidas convertidas son:

$$87' - 9'' = 87 + 9/12 = 87 + 0.75 = 87.75' \text{ o}$$

$$87' - 9'' = 87 \times 12 + 9 = 1044 + 9 = 1053''$$

$$130' - 10'' = 130 + 10/12 = 130 + 0.83 = 130.83' \text{ o}$$

$$130' - 10'' = 130 \times 12 + 10 = 1560 + 10 = 1570''$$



Para la longitud mayor:

$$\begin{array}{rcl} 130.83' & \text{-----} & 22'' \quad \text{o} \quad 1570'' & \text{-----} & 22'' \\ X & \text{-----} & 1'' & X & \text{-----} & 1'' \\ X = 130.83/22 = 6' & & & X = 1570/22 = 71.36'' & & \end{array}$$

Estas pulgadas se convierten a pies: $71.36/12 = 6'$

La escala es: $1'' = 6'$

Para la longitud menor:

$$\begin{array}{rcl} 87.85' & \text{-----} & 17'' \quad \text{o} \quad 1053'' & \text{-----} & 17'' \\ X & \text{-----} & 1'' & X & \text{-----} & 1'' \\ X = 87.85/12 = 5' & & & X = 1053/17 = 61.94'' & & \end{array}$$

Estas pulgadas se convierten a pies: $61.94/12 = 5'$

La escala es : $1'' = 5'$

La escala final es la mayor, o sea $1'' = 6'$

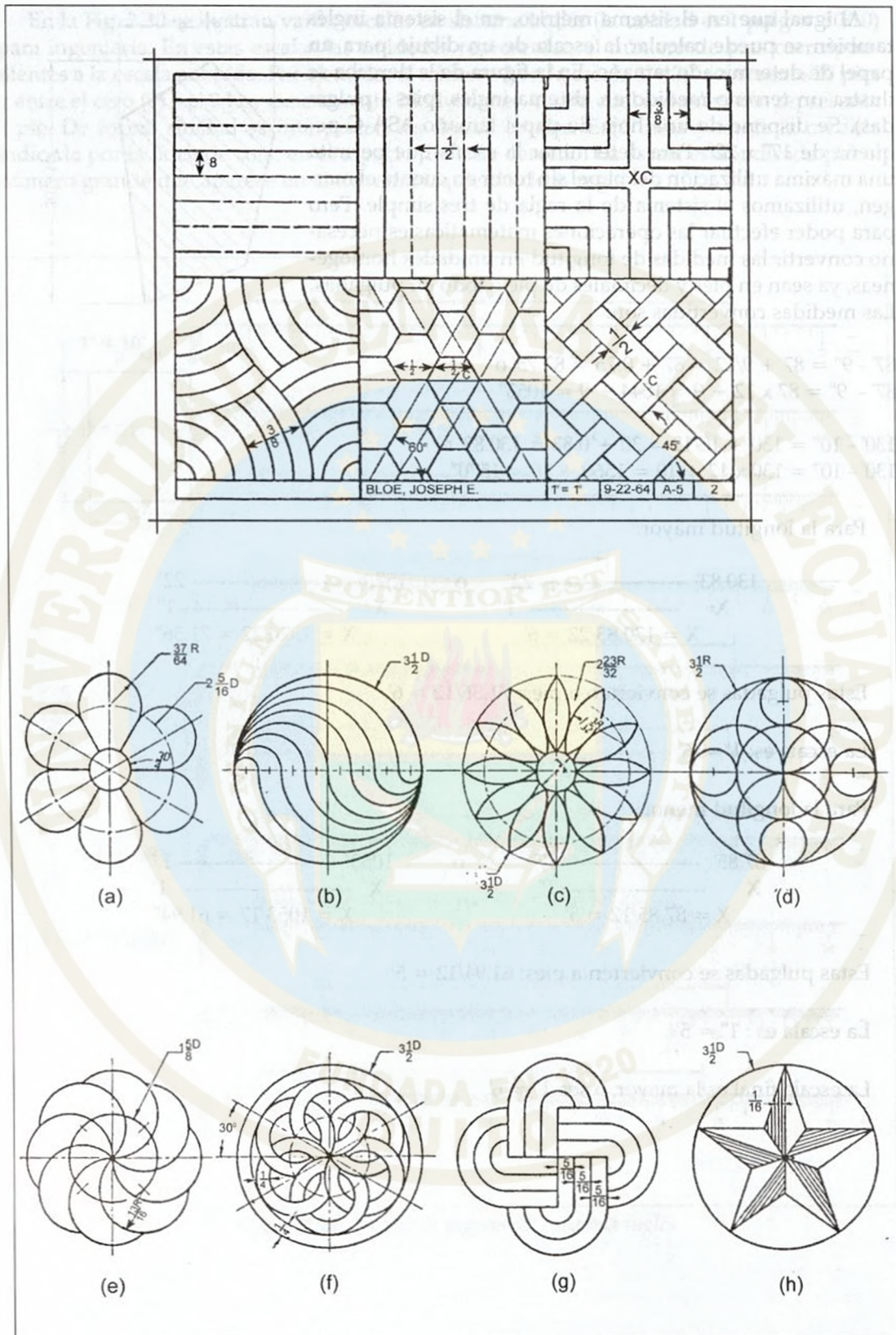


Figura 2.31. Ejercicios básicos de dibujo técnico I

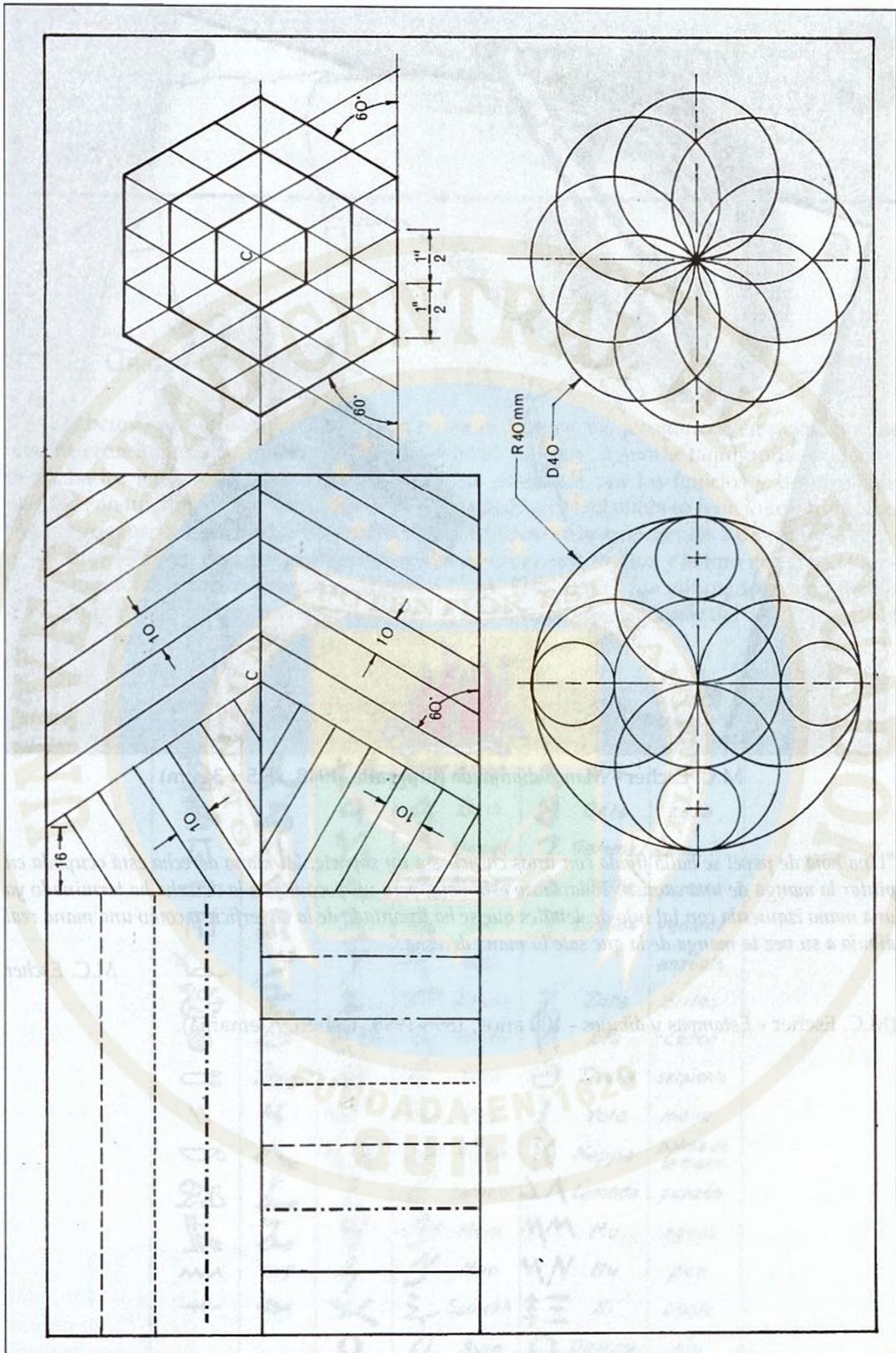
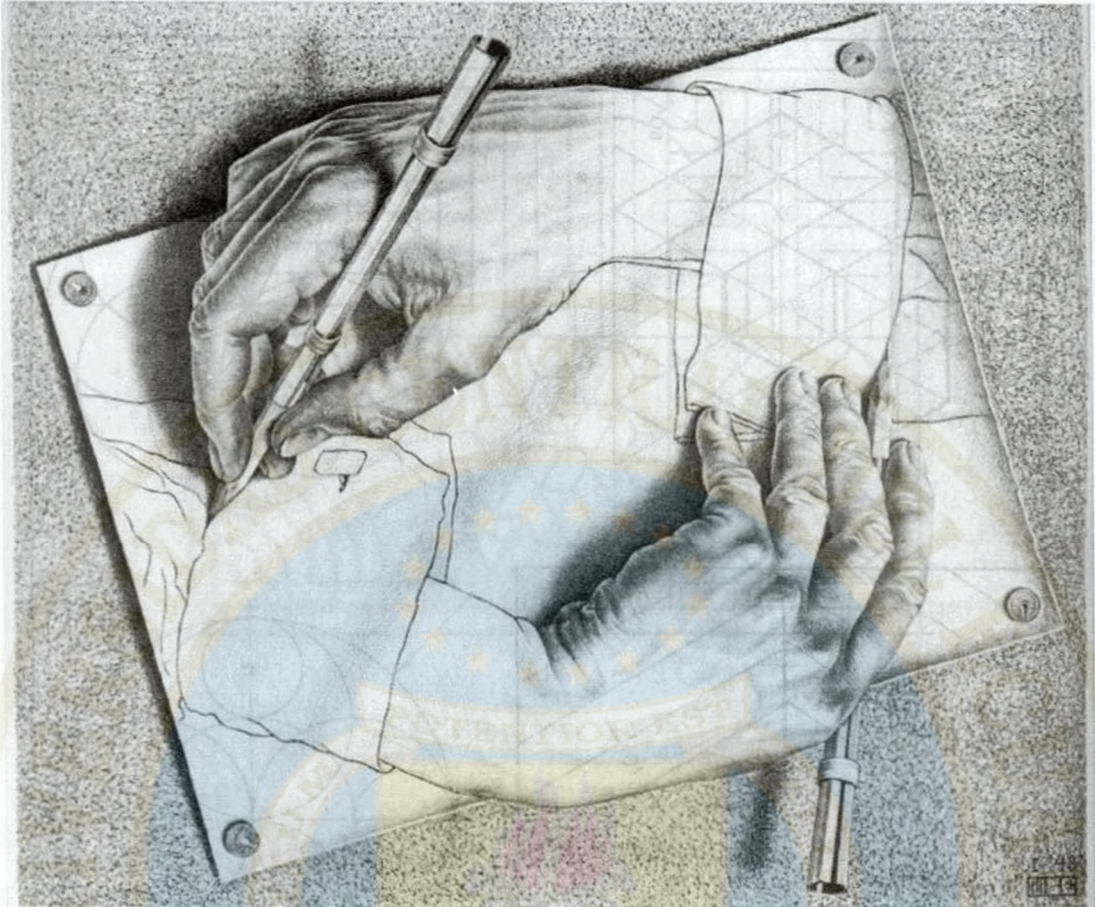


Figura 2.32. Ejercicios básicos de dibujo técnico II



M.C. Escher - Manos dibujando (litografía, 1948, 28.5 x 34 cm)

“Una hoja de papel se halla fijada con unos chinchas a un soporte. La mano derecha está ocupada en pintar la manga de una camisa. Todavía no está lista, pero un poco más a la derecha ha terminado ya una mano izquierda con tal lujo de detalles que se ha levantado de la superficie y como una mano real dibuja a su vez la manga de la que sale la mano derecha.”

M.C. Escher

(M.C. Escher - Estampas y dibujos - 100 años, 1898-1998, Tashen, Alemania).

ROTULACIÓN

3

3.1 EL ORIGEN DE LAS LETRAS

Los alfabetos europeos modernos tuvieron su origen en los jeroglíficos egipcios, que se convirtieron luego en escritura jeroglífica o hierática, que, como la taquigrafía moderna, dibujaba los jeroglíficos abreviándolos. Ésta fue adoptada por los fenicios y desarrollada por ellos en un alfabeto de veintidós letras. Posteriormente, el alfabeto fenicio fue adoptado por los griegos, que lo dividieron en dos tipos distintos correspondientes a diferentes regiones del imperio: un tipo griego oriental, utilizado en el Asia Menor, y el tipo griego occidental usado en las colonias griegas próximas a Italia. Este último fue adoptado y modificado después por los romanos convirtiéndose en el alfabeto latino alrededor del año 700 a. C., el cual se utilizó en forma generalizada en todo el mundo antiguo.

JEROGLÍFICOS EGIPCIOS	SIGNOS HIERÁTICOS	ALFABETO FENICIO	ALFABETO HEBREO	ALFABETO GRIEGO	SIGNIFICADO
			Aleph	Alfa	buey
			Beth	Beta	casa
			Gimel	Gamma	camello
			Daleth	Delta	puerta
			He	Epsilon	ventana
			Vau		anzuelo
			Zayin	Zeta	útiles
			Cheth	Eta	cerca
			Teth	Theta	serpiente
			Yod	Yota	mano
			Kaph	Kappa	palma de la mano
			Lamed	Lambda	punzón
			Mem	Mu	aguas
			Nun	Nu	pez
			Samekh	Xi	poste
			Ayin	Omicron	ojo

Figura 3.1. Origen del alfabeto

Originalmente el alfabeto romano de mayúsculas constaba de veintidós letras, las cuales permanecen prácticamente inalteradas hasta nuestros días. Se pueden apreciar en la Columna de Trajano en el antiguo Foro Romano y en muchos otros monumentos de la Roma imperial. La letra V se usó como V y como U hasta el siglo X. El último de los veintiséis caracteres del alfabeto actual, la J, fue adoptada sólo hasta el final del siglo XIV, como modificación de la letra I. Todos los estilos de letras que se usan hoy en día tienen su origen en las letras mayúsculas del alfabeto latino.

3.2 ESTILOS DE LETRAS

En la Figura 3.2 se ilustra la clasificación general de los estilos de letras. El estilo que se usa en dibujo técnico es el gótico, por la simplicidad de sus trazos, aunque también tienen cierta utilidad los estilos romano e itálico, especialmente para ilustrar mapas y planos topográficos.

Clasificación de estilos de letras por división de grupos

ABCDEFGH abcdefgh	GÓTICO Se clasifican como góticas todas las letras formadas por trazos elementales de igual espesor.
ABCDEFGH abcdefghij	Romano Se clasifican como romanas todas las letras formadas por trazos elementales acentuados en forma de líneas gruesas y delgadas.
<i>ABCDEFGH</i> <i>abcdefghij</i>	<i>Itálico</i> Se clasifican como itálicas todas las letras inclinadas de cualquier tipo de fuente.
ABCDEF abcdefghij	<i>Texto</i> Este texto incluye estilos de letras antiguas inglesas, textos alemanes y Bradley. Son casi ilegibles para propósitos comerciales.

Figura 3.2. Clasificación de los estilos de letras

3.3 LETRAS EXTENDIDAS Y LETRAS CONDENSADAS

De acuerdo con la disponibilidad de espacio para desarrollo del texto, las letras se pueden comprimir espaciándolas más cerca de lo normal, lo cual constituye las letras condensadas, o hacerlas más anchas de lo normal separándolas a mayor espacio, en cuyo caso se denominan letras extendidas. La Fig. 3.3 ilustra ambos casos.

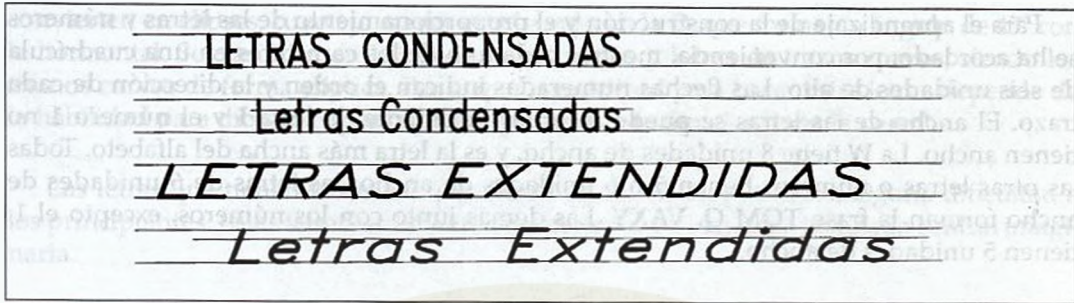


Figura 3.3. Letras extendidas y letras condensadas

3.4 ESTANDARIZACIÓN DE LAS LETRAS

El tipo de letras usadas en dibujo técnico y de ingeniería está basado en el estilo gótico, debido a la simplicidad de sus trazos. En este texto se usará la norma americana ASA Y14.2-1957, la cual se basa en el trabajo desarrollado por C. W. Reinhardt, quien fuera jefe de dibujantes de la revista *Engineering News*, en 1935, el cual se ilustra a continuación. Para el trazado de letras a lápiz se usa mina H o 2H. Para las líneas de guía se usa mina 4H a 6H (véase el numeral 3.9.1), dibujando trazos muy tenues.

3.5 LETRAS MAYÚSCULAS Y NÚMEROS VERTICALES

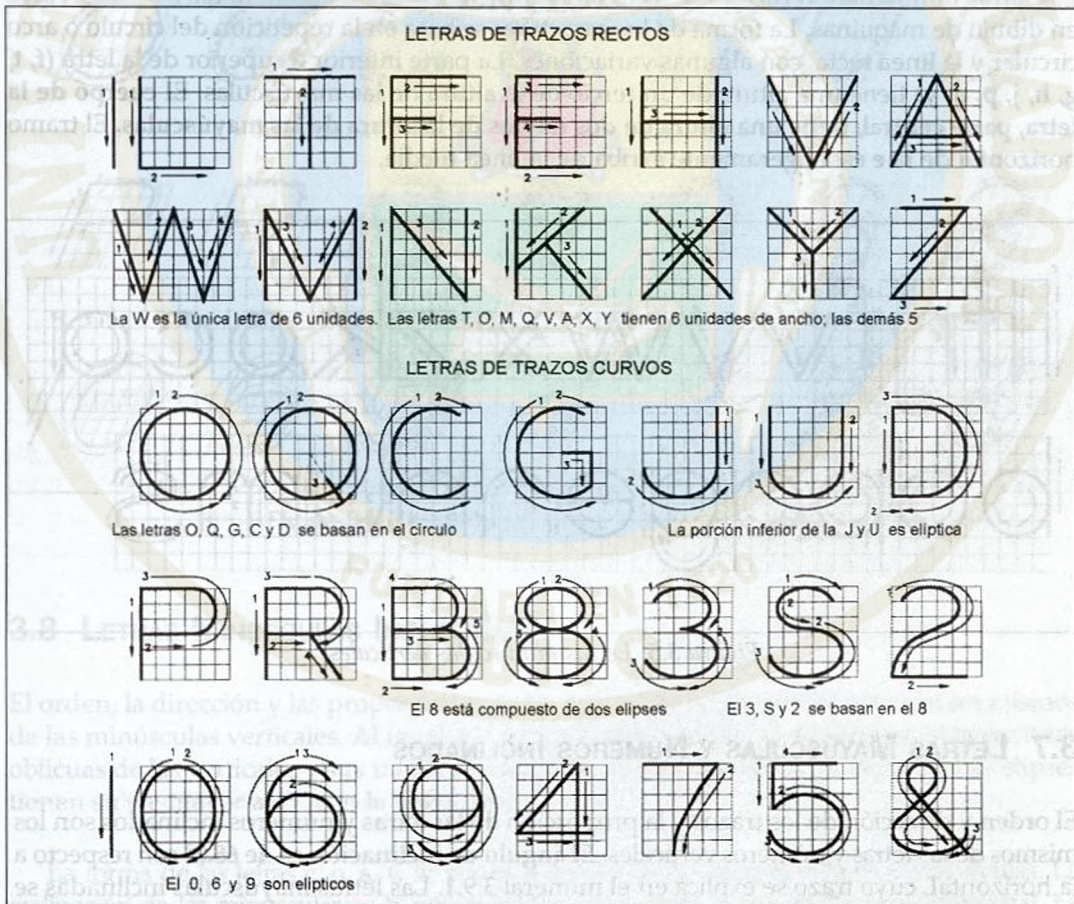


Figura 3.4. Letras mayúsculas y números verticales

Para el aprendizaje de la construcción y el proporcionamiento de las letras y números se ha acordado, por conveniencia, mostrar cada uno de los caracteres en una cuadrícula de seis unidades de alto. Las flechas numeradas indican el orden y la dirección de cada trazo. El ancho de las letras se puede recordar fácilmente: la letra I y el número 1 no tienen ancho. La W tiene 8 unidades de ancho, y es la letra más ancha del alfabeto. Todas las otras letras o números tienen 5 o 6 unidades de ancho; las letras de 6 unidades de ancho forman la frase TOM Q. VAXY. Las demás junto con los números, excepto el 1, tienen 5 unidades de ancho.

Los trazos horizontales se dibujan de izquierda a derecha y los verticales de arriba hacia abajo. Se deben practicar en borrador utilizando papel milimetrado, haciendo letras de seis unidades de alto. El ancho será de 5, 6 u 8 unidades, según el carácter. Como se ilustra en la Fig. 3.4, el alfabeto se clasifica en: **letras de trazos rectos** y **letras de trazos curvos**. Según se ilustra en la tercera fila, las letras O, Q, C y G están basadas en el círculo. La porción inferior de la J y la U son semi-elipses y los lados derechos de la D, P, R y B son semi-círculos. Los caracteres 8, 3, 5 y 2 están basados en la figura del 8, el cual se forma de una elipse pequeña superior sobre una elipse más grande inferior. El 6 y el 9 se basan en la elipse del 0.

3.6 LETRAS MINÚSCULAS VERTICALES

Las letras minúsculas verticales se usan ampliamente en el dibujo de mapas, y raras veces en dibujo de máquinas. La forma de los caracteres se basa en la repetición del círculo o arco circular y la línea recta, con algunas variaciones. La parte inferior o superior de la letra (f, t, g, h, j, p, q, y) tiene una altura de un tercio de la altura de las mayúsculas. El cuerpo de la letra, parte central, tiene una altura de dos tercios de la altura de las mayúsculas. El tramo horizontal de la e está ligeramente arriba de la línea media.

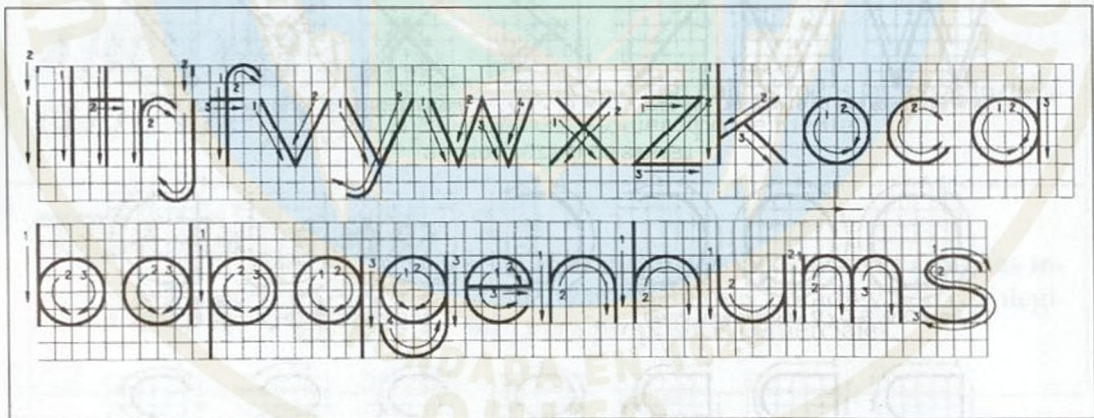


Figura 3.5. Letras minúsculas verticales

3.7 LETRAS MAYÚSCULAS Y NÚMEROS INCLINADOS

El orden y dirección de los trazos y la proporción de las letras y números inclinados son los mismos de las letras y números verticales. El **ángulo de inclinación es de 68.2°** con respecto a la horizontal, cuyo trazo se explica en el numeral 3.9.1. Las letras mayúsculas inclinadas se consideran como proyecciones oblicuas de las verticales. En ellas, las partes circulares se

convierten en elipses, cuyo eje mayor esta basado en la O, que forma un ángulo de 45° con la horizontal. Se clasifican en **letras de trazos rectos** y **letras de trazos curvos**, siendo los tramos curvos de forma elíptica. Por lo que la exactitud para hacer estas letras depende de la habilidad para dibujar elipses suaves ligeramente inclinadas hacia la derecha.

Las letras que tienen lados con pendiente (V, A, W, Y), presentan alguna dificultad a los principiantes. Estas letras son simétricas alrededor de una línea inclinada central imaginaria.



Figura 3.6. Letras mayúsculas y números inclinados

3.8 LETRAS MINÚSCULAS INCLINADAS

El orden, la dirección y las proporciones de las letras minúsculas inclinadas son los mismos de las minúsculas verticales. Al igual que las mayúsculas, éstas se consideran proyecciones oblicuas de las verticales y sus trazos circulares se convierten en trazos elípticos. Las elipses tienen su eje mayor a 45° con la horizontal.

La forma de las letras c, o, s, v, w, y z es la misma de las correspondientes mayúsculas. La inclinación de las minúsculas es la misma de las mayúsculas, o sea 68.2° con la horizontal. La inclinación se da trazando paralelas al triángulo de guía de 2 por 5, explicado en el numeral 3.9.1.

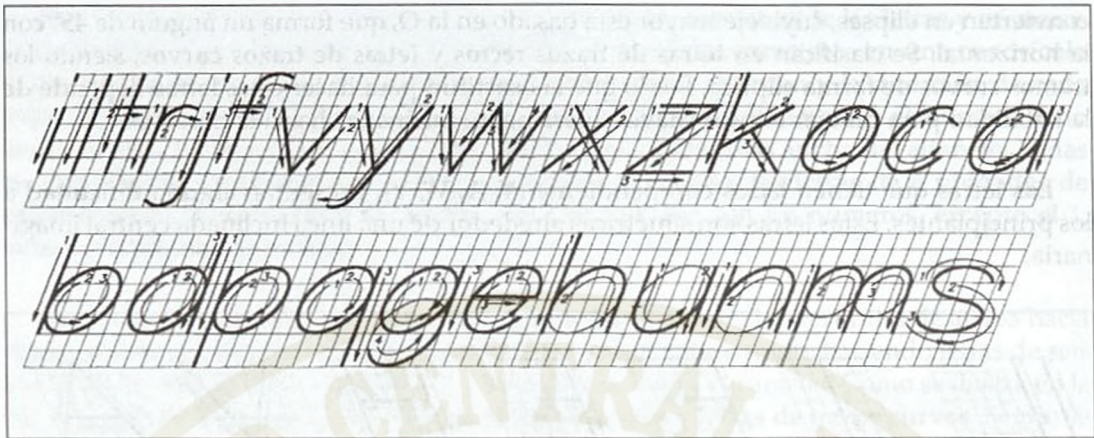


Figura 3.7. Letras minúsculas inclinadas

3.9 LÍNEAS DE GUÍA

A fin de mantener una altura uniforme de las letras se usan líneas de guía horizontales paralelas. Éstas se dibujan con trazos muy finos y tenues, utilizando un lápiz con mina 4H. Las líneas de guía son obligatorias en el rotulado a mano, y no se borran después de terminado el texto a lápiz.

Sólo se borran cuando el texto se escribe en tinta. Adicionalmente se trazan líneas verticales o inclinadas a espacios irregulares, como guía para mantener la correcta inclinación de las letras, durante todo el texto (véase la Fig. 3.8).

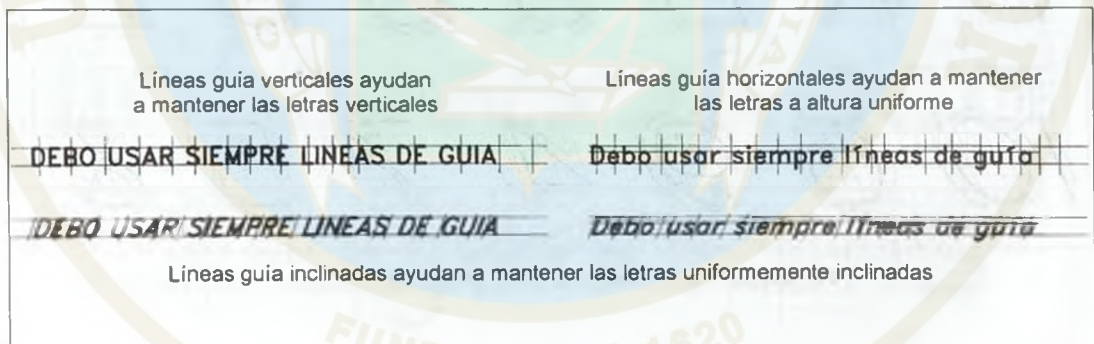


Figura 3.8. Líneas de guía

3.9.1 Líneas de guía para letras mayúsculas

Las líneas de guía para letras mayúsculas verticales se muestran en la Fig. 3.9. La altura estándar para estas letras es de $1/8"$ (3 mm), y el espacio entre líneas de letras es $3/5$ de la altura (2 mm). Las líneas verticales no se usan para espaciar las letras horizontalmente, sino sólo como guía para mantener los trazos verticales; por tanto, estas líneas se dibujan al azar. Las líneas de guía para letras mayúsculas inclinadas se muestran en la Fig. 3.10. El espaciado de las líneas

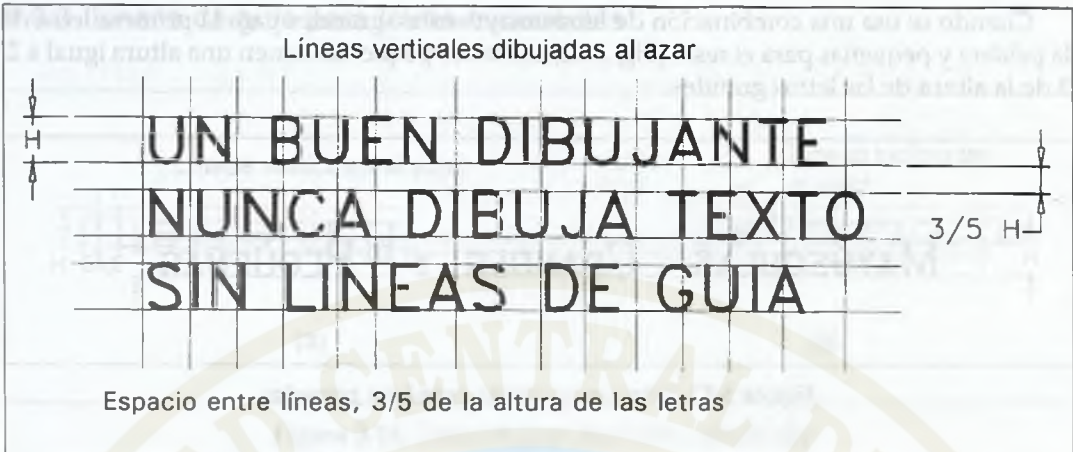


Figura 3.9. Líneas de guía para letras mayúsculas verticales

horizontales es el mismo que para las verticales. Las líneas inclinadas se dibujan con un ángulo de 68.2° con respecto a la horizontal, el cual se obtiene dibujando un triángulo de guía de pendiente 2 en 5 (2 unidades horizontales por 5 unidades verticales), como se indica en la Fig. 3.10, y luego trazando paralelas a la pendiente al azar con regla T y escuadra en la forma indicada.

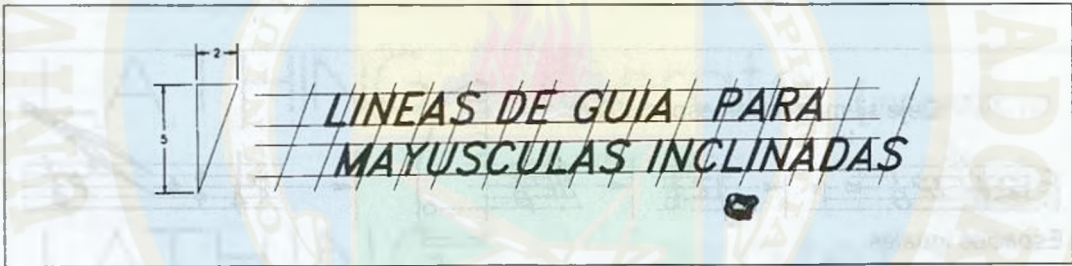


Figura 3.10. Líneas de guía para letras mayúsculas inclinadas

Si se quiere hacer letras mayúsculas más pequeñas que el tamaño estándar ($1/8'' - 3 \text{ mm}$ de altura), se utiliza el método de reducir los espacios proporcionalmente, colocando la escala en sentido diagonal con el cero en la línea inferior, en la forma indicada en la Fig. 3.11 (a) y (c). En este caso la altura y el espacio entre líneas disminuyen pero permanecen proporcionales.

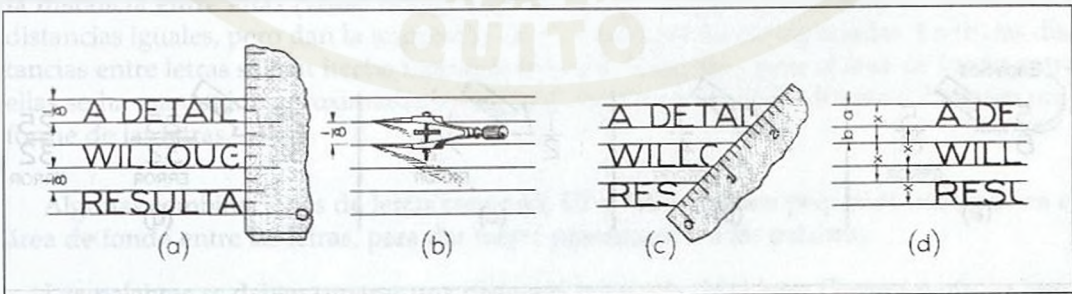


Figura 3.11. Espaciado de líneas de guía

Cuando se usa una combinación de letras mayúsculas, grandes para la primera letra de la palabra y pequeñas para el resto (Fig. 3.12), las letras pequeñas tienen una altura igual a $\frac{2}{3}$ de la altura de las letras grandes.

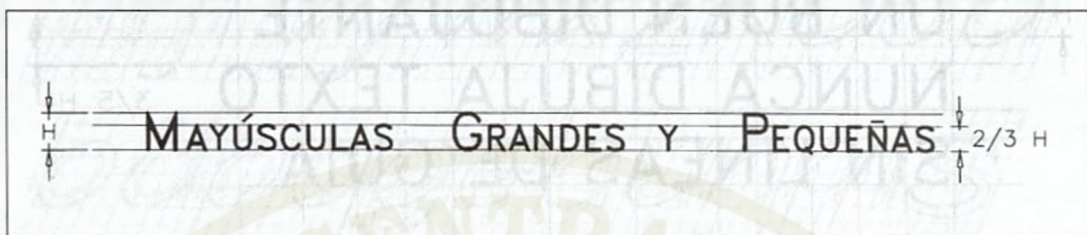


Figura 3.12. Letras mayúsculas grandes y pequeñas

3.9.2 Líneas de guía para números y fracciones

Para los números y fracciones también se deben usar líneas de guía, especialmente para los principiantes. Para ello se trazan cinco líneas de guía igualmente espaciadas a $\frac{1}{16}$ " (1.5 mm). Los números enteros se escriben entre las tres líneas centrales. La línea del quebrado o fracción se traza en la línea central; el numerador y el denominador se escriben arriba y abajo de dicha línea sin tocarla, dejando un espacio amplio entre la línea y el número, y cuya altura va hasta las líneas superior e inferior, respectivamente.

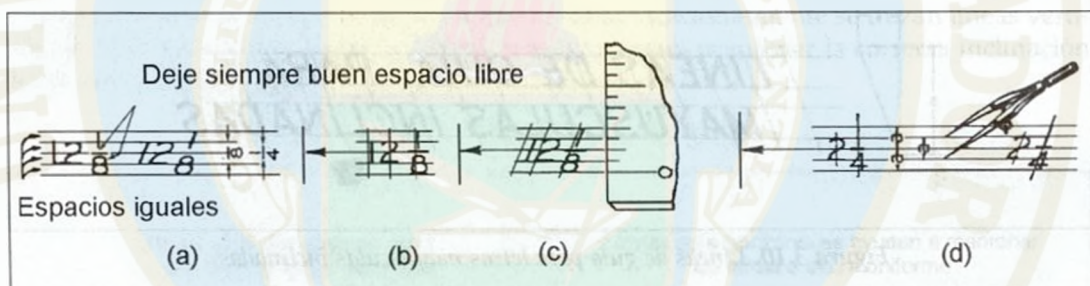


Figura 3.13. Líneas de guía para números y fracciones

Los errores más comunes al escribir fracciones se indican en la Fig. 3.14. Analícelos cuidadosamente.

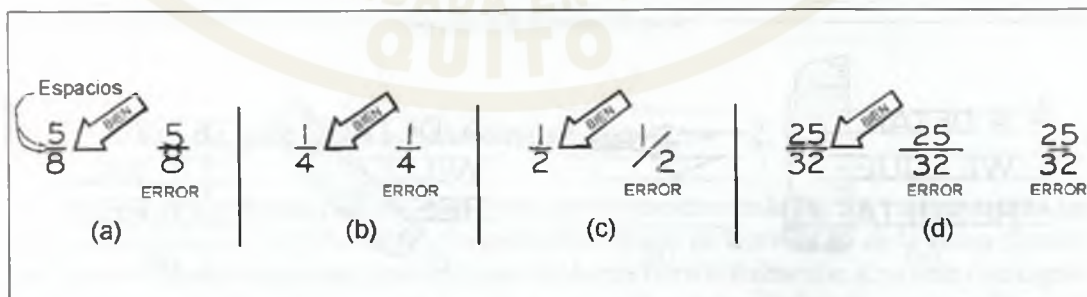


Figura 3.14. Errores más comunes en dibujo de fracciones

3.9.3 Líneas de guía para letras minúsculas

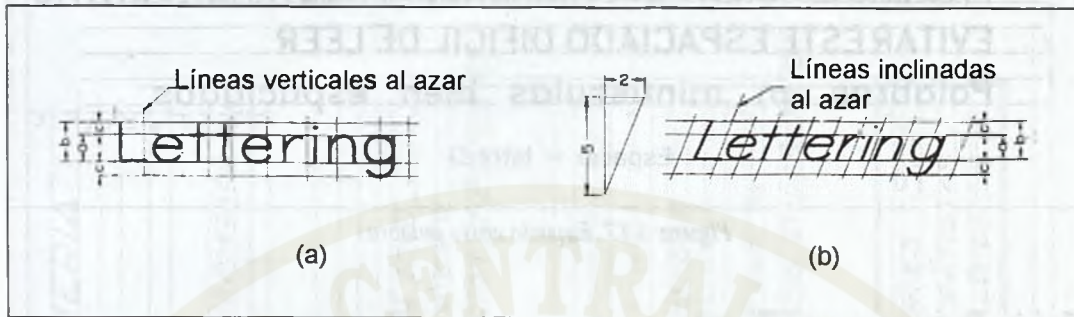


Figura 3.15. Líneas de guía para letras minúsculas

Las letras minúsculas se dibujan sobre cuatro líneas de guía. El espacio central entre líneas horizontales (a) es de 1/8" (3 mm). El espacio entre las líneas superior e inferior con las centrales (c) es de 1/16" (1.5 mm). Estas medidas se ajustan a la proporción de la altura de las minúsculas (a), igual a 2/3 de la altura de las mayúsculas (b).

3.10 ESPACIO ENTRE LETRAS Y PALABRAS



Figura 3.16. Espacio entre letras

La uniformidad en el espaciado entre letras de una palabra y dos palabras seguidas se hace a ojo. La esencia del sistema consiste en mantener iguales el área de fondo entre letras y no la distancia entre ellas (véase la Fig. 3.16). En la Fig. 3.16 (a) las letras están separadas a distancias iguales, pero dan la impresión de no estar igualmente espaciadas. En (b) las distancias entre letras se han hecho intencionalmente desiguales, pero el área de fondo entre ellas se ha mantenido aproximadamente igual, dando como resultado una colocación uniforme de las letras.

Algunas combinaciones de letras como AT, LT y VA permiten pequeños traslajos en el área de fondo entre las letras, para dar mejor presentación a las palabras.

Las palabras se deben separar una distancia igual a la de la letra O mayúscula, ya sean mayúsculas totales o minúsculas. (Véase la Fig. 3.17).

PALABRAS BIEN ESPACIADAS, Y LETRAS JUNTAS
EVITAR ESTE ESPACIADO DIFÍCIL DE LEER
Palabras en minúsculas bien espaciadas

Espacio = letra O

Figura 3.17. Espacio entre palabras

3.11 CENTRADO DEL TEXTO

Cuando se necesita espaciar las letras simétricamente alrededor de una línea central, lo cual es muy frecuente en el dibujo de títulos, se deben numerar las letras que conforman el título, incluyendo los espacios entre palabras como una letra cualquiera, y colocando el carácter del medio en la línea central, dejando espacio apropiado para las letras estrechas como la I, o anchas como la W a cada lado de la línea central. (Véase la Fig. 3.18). Otro método muy utilizado consiste en escribir el texto correspondiente, utilizando líneas de guía, en el borde de una tira de papel, del tamaño definitivo al que se va a usar en el título, y colocarlo de tal manera que el carácter del medio coincida con la línea central, repartiéndose igualmente a lado y lado el texto completo.

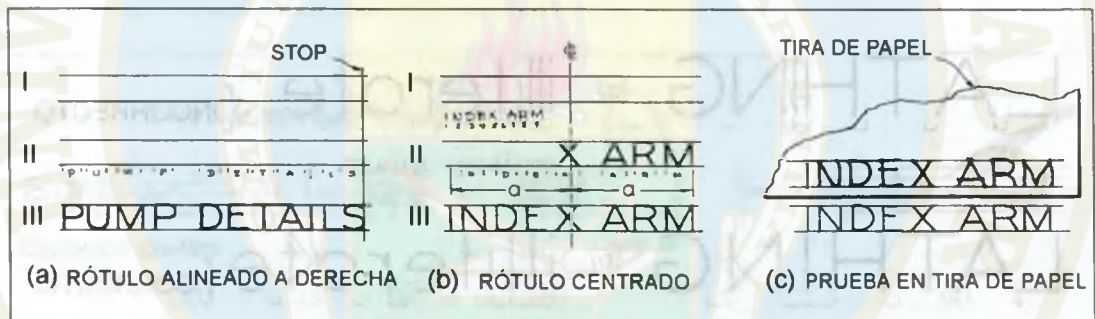


Figura 3.18. Centrado de texto

3.12 EL ALFABETO GRIEGO

Las letras griegas se usan con mucha frecuencia como símbolos tanto en matemáticas como en varias materias de ingeniería y en dibujo técnico. Por tanto incluimos, para ilustración del estudiante, el alfabeto griego moderno completo en la Fig. 3.19.

A α alfa	Z ζ zeta	Λ λ lambda	Π π pi
B β beta	H η eta	M μ mu	P ρ rho
Γ γ gamma	Θ θ theta	N ν nu	Σ σ sigma
Δ δ delta	I ι iota	Ξ ξ xi	T τ tau
E ε epsilon	K κ kappa	O o omicron	Υ υ upsilon
			Ω ω omega
			Φ φ fi
			X χ chi
			Ψ ψ psi

Figura 3.19. El alfabeto griego

PUENTE DE ARCO EN CONCRETO REFORZADO

LONGITUD - 250 MTS

DATOS DE DISEÑO

Concrete: $f_c = 3,000 \text{ \#}/\text{sq. inch}$

Acero Estructural : $f_y = 20,000 \text{ \# / sq inch}$

Carga Viva: Camión H30 distribuida de

acuerdo con la Especificación AASHO-41

PILOTAJE

Cimentación No. 1 = 60 PILOTES

Experimentación N.º 2 = 40 PILOTES

Todos los pilotes hincados con martillo de 20 toneladas

Longitud de los pilotes de acuerdo con la

Especificación AASHTO-Arts D101 & D873



M.C. Escher - Reptiles (litografía, 1943, 33.5 x 38.5 cm)

"En medio de diversos objetos, está abierto un cuaderno de dibujo por una página en la que se puede ver el dibujo de un mosaico compuesto de figuras en forma de reptil, coloreadas en tres tonos que contrastan entre sí. Una de las bestezuelas evidentemente está harta de estar allí, plana y rígida, entre sus congéneres. Así, extiende una de sus patas más allá del borde del cuaderno y se apresta a abandonar la superficie y a gozar de su nueva libertad. Trepa por el lomo de un tratado de zoología y se sube trabajosamente por la pendiente resbaladiza de una escuadra, para llegar a la cumbre de su existencia. Breve pausa, cansada pero satisfecha, inicia, pasando por un cenicero, el descenso que la hará retornar al papel de dibujo, a la superficie plana. Allí se inserta obediente entre sus antiguos compañeros y vuelve a asumir sus funciones de elemento de partición de la superficie."

M.C. Escher

CONSTRUCCIONES GEOMÉTRICAS BÁSICAS

4

4.1 BISECAR UNA RECTA O UN ARCO CIRCULAR (MEDIATRIZ)

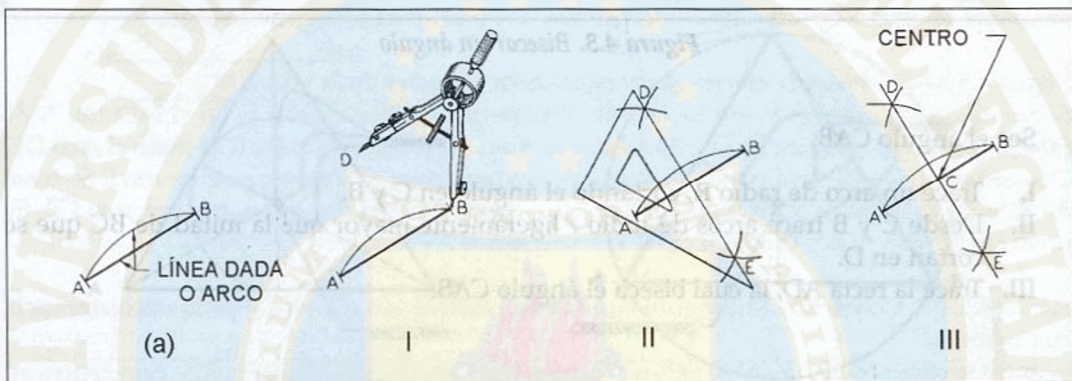


Figura 4.1. Bisecar una línea o arco circular

Sea la recta o el arco AB.

- II. Desde A y B dibujar arcos iguales con radio mayor que la mitad de AB.
- III. Unir las intersecciones D y E con una línea recta para localizar el centro C.

4.1.1 Trisecar una recta

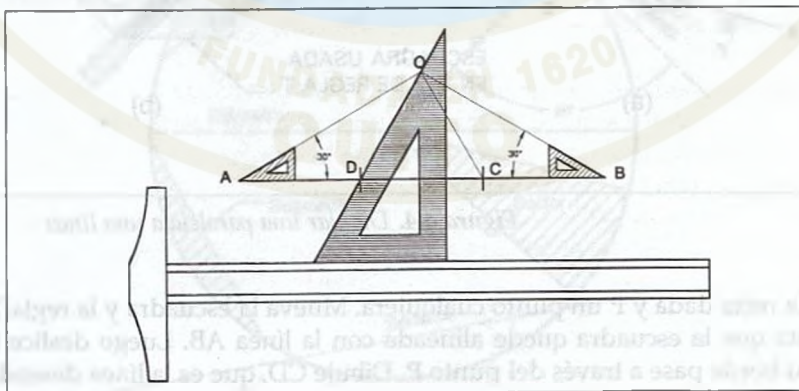


Figura 4.2. Trisecar una línea

Utilizando una escuadra de 30°-60° se trazan ángulos desde el punto de intersección de las líneas, como se indica en la Fig. 4.2.

4.2 BISECAR UN ÁNGULO

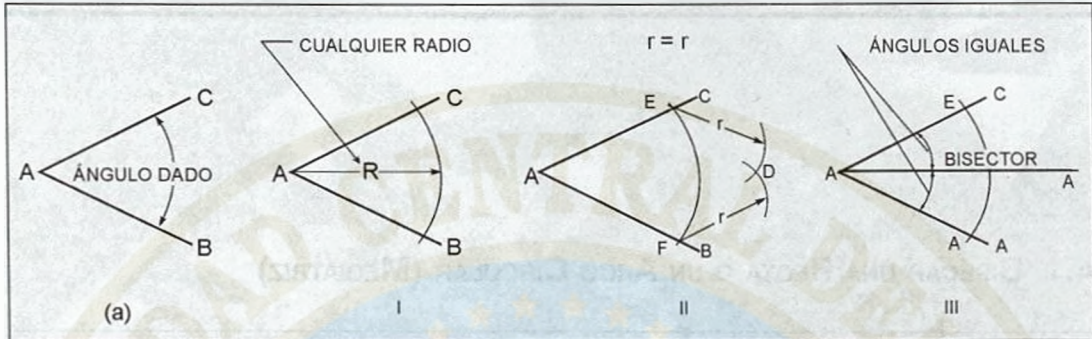


Figura 4.3. Bisección de un ángulo

Sea el ángulo CAB.

- I. Trace un arco de radio R , cortando el ángulo en C y B.
- II. Desde C y B trace arcos de radio r ligeramente mayor que la mitad de BC que se cortan en D.
- III. Trace la recta AD, la cual bisecciona el ángulo CAB.

4.3 TRAZAR UNA PARALELA A UNA RECTA POR UN PUNTO DADO

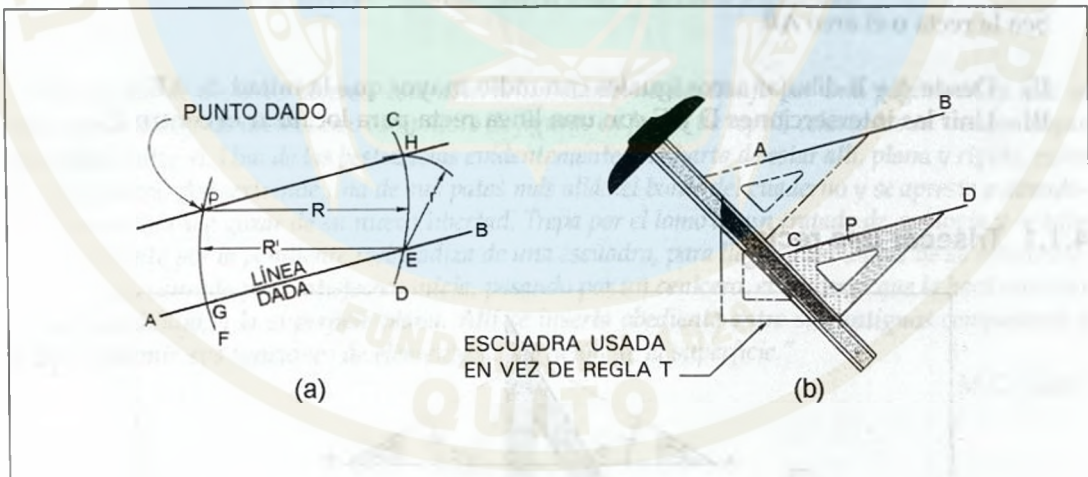
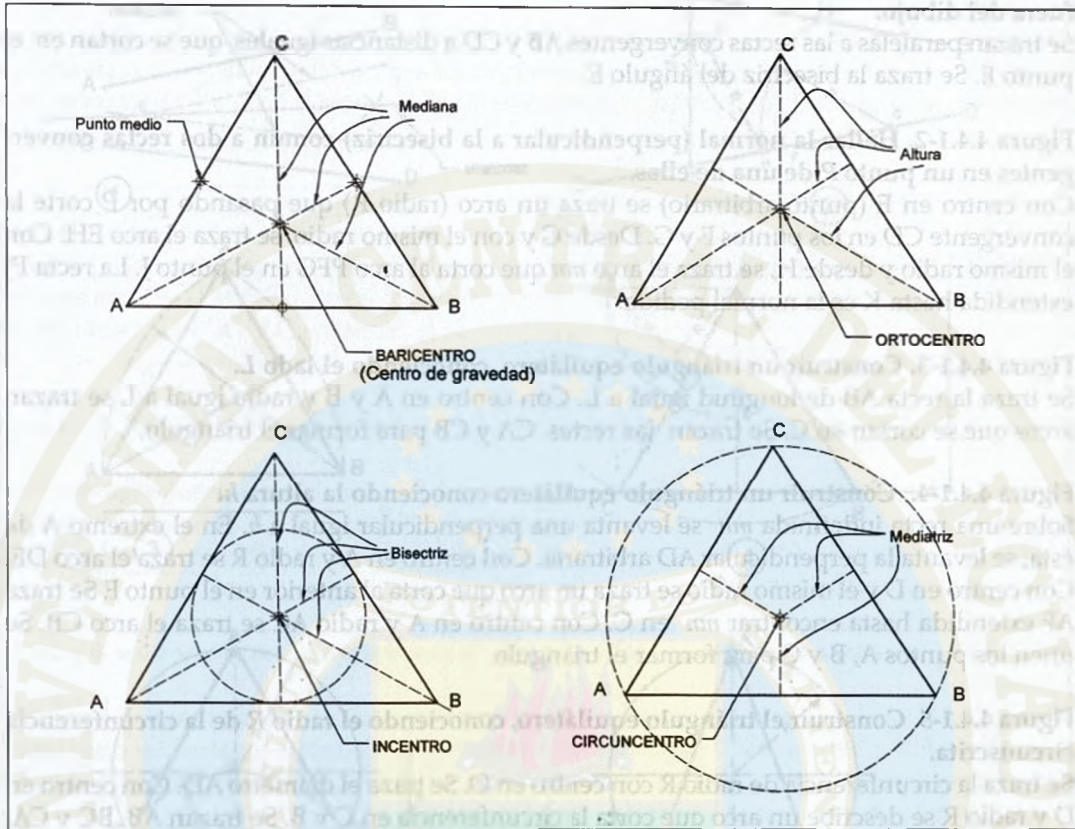


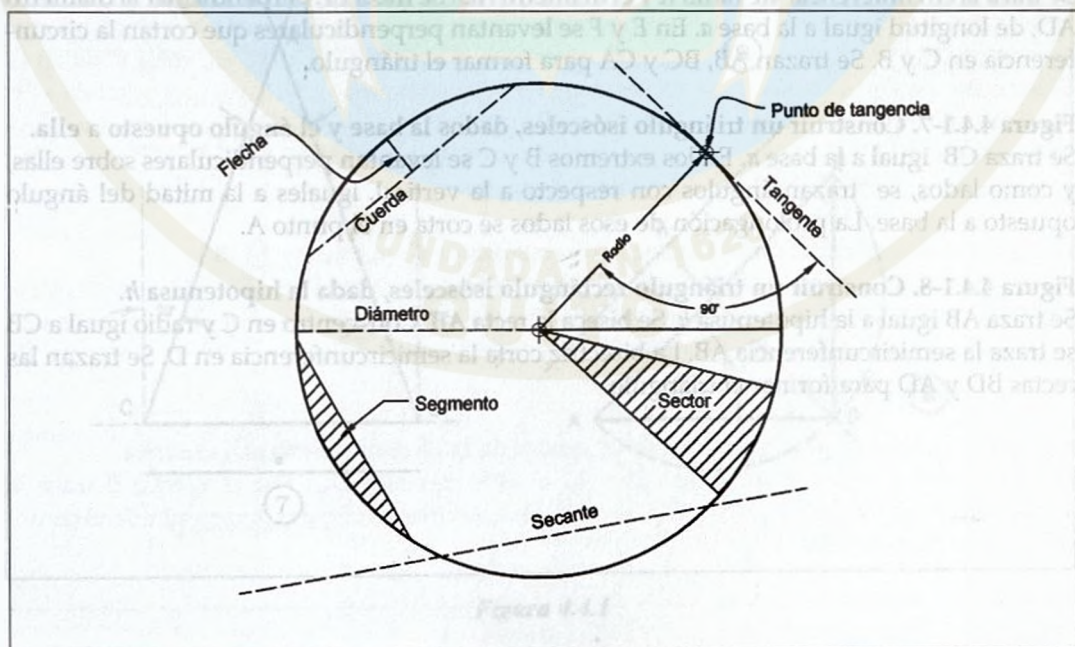
Figura 4.4. Dibujo de una paralela a una línea

Sea AB la recta dada y P un punto cualquiera. Mueva la escuadra y la regla T como una unidad hasta que la escuadra quede alineada con la línea AB. Luego deslice la escuadra hasta que su borde pase a través del punto P. Dibuje CD, que es la línea deseada.

4.3b Elementos fundamentales del triángulo



Elementos fundamentales del círculo



4.3.1 Dibujar triángulos equiláteros e isósceles

Figura 4.4.1-1. Trazar la bisectriz de dos rectas convergentes, AB y CD, cuyo vértice está fuera del dibujo.

Se trazan paralelas a las rectas convergentes AB y CD a distancias iguales, que se cortan en el punto E. Se traza la bisectriz del ángulo E.

Figura 4.4.1-2. Hallar la normal (perpendicular a la bisectriz) común a dos rectas convergentes en un punto P de una de ellas.

Con centro en E (punto arbitrario) se traza un arco (radio R) que pasando por P corte la convergente CD en los puntos F y G. Desde G y con el mismo radio, se traza el arco EH. Con el mismo radio y desde H, se traza el arco *mn* que corta al arco PFG en el punto J. La recta PJ extendida hasta K es la normal pedida.

Figura 4.4.1-3. Construir un triángulo equilátero, conociendo el lado L.

Se traza la recta AB de longitud igual a L. Con centro en A y B y radio igual a L se trazan arcos que se cortan en C. Se trazan las rectas CA y CB para formar el triángulo.

Figura 4.4.1-4. Construir un triángulo equilátero conociendo la altura *h*.

Sobre una recta indefinida *mn* se levanta una perpendicular igual a *h*. En el extremo A de ésta, se levanta la perpendicular AD arbitraria. Con centro en A y radio R se traza el arco DE. Con centro en D y el mismo radio se traza un arco que corta al anterior en el punto E. Se traza AF extendida hasta encontrar *mn* en C. Con centro en A y radio AC se traza el arco CB. Se unen los puntos A, B y C para formar el triángulo.

Figura 4.4.1-5. Construir el triángulo equilátero, conociendo el radio R de la circunferencia circunscrita.

Se traza la circunferencia de radio R con centro en O. Se traza el diámetro AD. Con centro en D y radio R se describe un arco que corta la circunferencia en C y B. Se trazan AB, BC y CA.

Figura 4.4.1-6. Construir el triángulo isósceles. Dados la base *a* y el radio R de la circunferencia circunscrita.

Se traza la circunferencia de radio R y el diámetro AD. Se traza EF, perpendicular al diámetro AD, de longitud igual a la base *a*. En E y F se levantan perpendiculares que cortan la circunferencia en C y B. Se trazan AB, BC y CA para formar el triángulo.

Figura 4.4.1-7. Construir un triángulo isósceles, dados la base y el ángulo opuesto a ella.

Se traza CB igual a la base *a*. En los extremos B y C se levantan perpendiculares sobre ellas, y como lados, se trazan ángulos con respecto a la vertical, iguales a la mitad del ángulo opuesto a la base. La prolongación de esos lados se corta en el punto A.

Figura 4.4.1-8. Construir un triángulo rectángulo isósceles, dada la hipotenusa *h*.

Se traza AB igual a la hipotenusa *h*. Se biseca la recta AB. Con centro en C y radio igual a CB se traza la semicircunferencia AB. La bisectriz corta la semicircunferencia en D. Se trazan las rectas BD y AD para formar el triángulo.

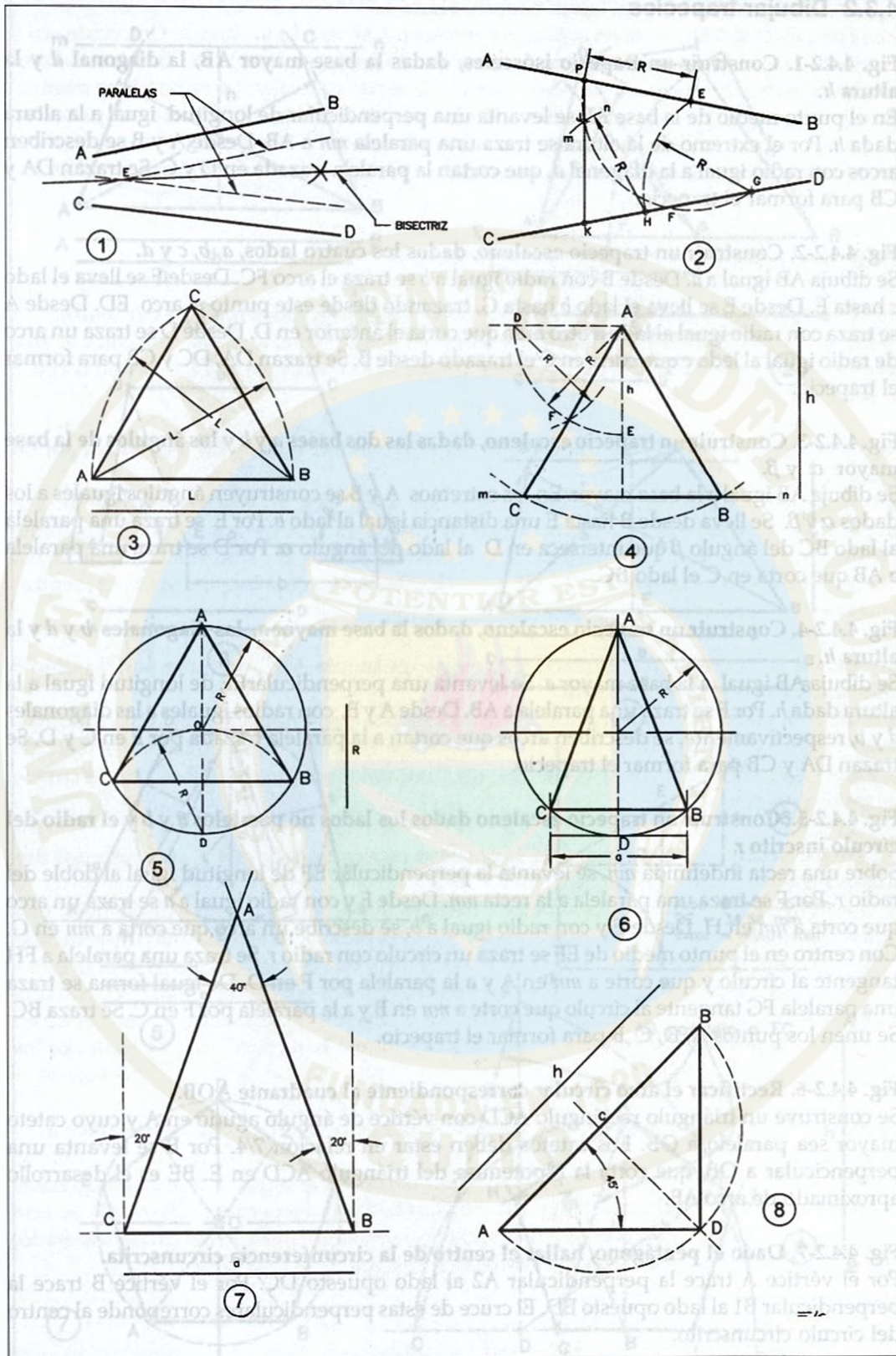


Figura 4.4.1

4.3.2 Dibujar trapezios

Fig. 4.4.2-1. Construir un trapezio isósceles, dadas la base mayor AB , la diagonal d y la altura h .

En el punto medio de la base AB se levanta una perpendicular de longitud igual a la altura dada h . Por el extremo de la altura se traza una paralela mn a AB . Desde A y B se describen arcos con radio igual a la diagonal d , que cortan la paralela trazada en D y C . Se trazan DA y CB para formar el trapezio.

Fig. 4.4.2-2. Construir un trapezio escaleno, dados los cuatro lados, a, b, c y d .

Se dibuja AB igual a a . Desde B con radio igual a b se traza el arco FC . Desde F se lleva el lado c hasta E . Desde E se lleva el lado b hasta G , trazando desde este punto el arco ED . Desde A se traza con radio igual al lado d otro arco que corta el anterior en D . Desde D se traza un arco de radio igual al lado c que corta en C el trazado desde B . Se trazan DA , DC y CB para formar el trapezio.

Fig. 4.4.2-3. Construir un trapezio escaleno, dadas las dos bases a y b y los ángulos de la base mayor α y β .

Se dibuja AB igual a la base mayor. En los extremos A y B se construyen ángulos iguales a los dados α y β . Se lleva desde B hasta E una distancia igual al lado b . Por E se traza una paralela al lado BC del ángulo β que interseca en D al lado del ángulo α . Por D se traza una paralela a AB que corta en C el lado BC .

Fig. 4.4.2-4. Construir un trapezio escaleno, dados la base mayor a , las diagonales b y d y la altura h .

Se dibuja AB igual a la base mayor a . Se levanta una perpendicular EF , de longitud igual a la altura dada h . Por F se traza una paralela a AB . Desde A y B , con radios iguales a las diagonales d y b , respectivamente, se describen arcos que cortan a la paralela trazada por F en C y D . Se trazan DA y CB para formar el trapezio.

Fig. 4.4.2-5. Construir un trapezio escaleno dados los lados no paralelos a y b y el radio del círculo inscrito r .

Sobre una recta indefinida mn , se levanta la perpendicular EF de longitud igual al doble del radio r . Por F se traza una paralela a la recta mn . Desde F y con radio igual a a se traza un arco que corta a mn en H . Desde F y con radio igual a b , se describe un arco que corta a mn en G . Con centro en el punto medio de EF se traza un círculo con radio r . Se traza una paralela a FH tangente al círculo y que corte a mn en A y a la paralela por F en D . De igual forma se traza una paralela FG tangente al círculo que corte a mn en B y a la paralela por F en C . Se traza BC . Se unen los puntos A, D, C, B para formar el trapezio.

Fig. 4.4.2-6. Rectificar el arco circular correspondiente al cuadrante AOB .

Se construye un triángulo rectángulo ACD con vértice de ángulo agudo en A y cuyo cateto mayor sea paralelo a OB . Los catetos deben estar en relación $7/4$. Por B se levanta una perpendicular a OB , que corta la hipotenusa del triángulo ACD en E . BE es el desarrollo aproximado de arco AB .

Fig. 4.4.2-7. Dado el pentágono, hallar el centro de la circunferencia circunscrita.

Por el vértice A trace la perpendicular $A2$ al lado opuesto DC . Por el vértice B trace la perpendicular $B1$ al lado opuesto ED . El cruce de estas perpendiculares corresponde al centro del círculo circunscrito.

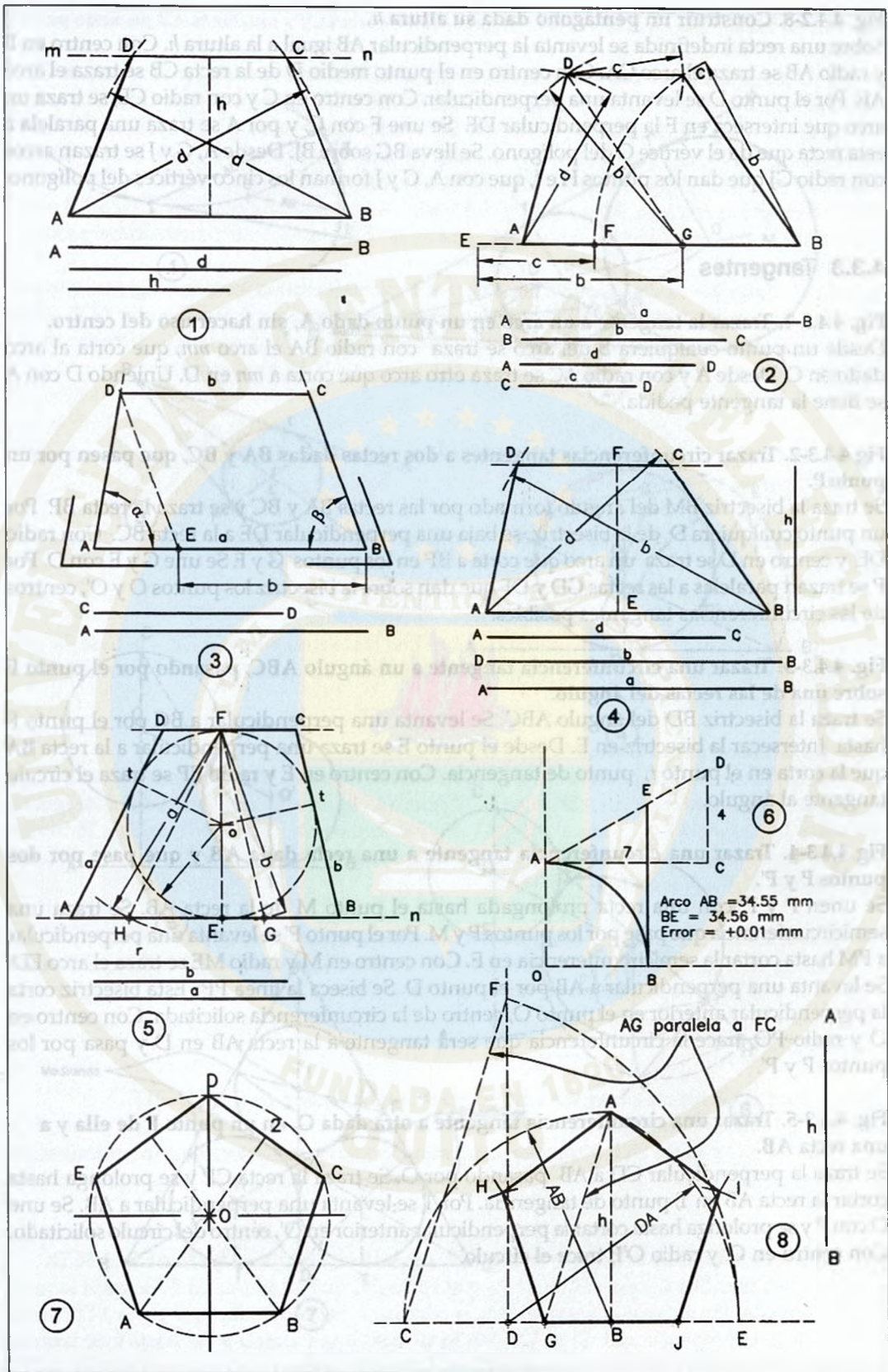


Figura 4.4.2

Fig. 4.4.2-8. Construir un pentágono dada su altura h .

Sobre una recta indefinida se levanta la perpendicular AB igual a la altura h . Con centro en B y radio AB se traza el arco CA. Con centro en el punto medio D de la recta CB se traza el arco AE. Por el punto D se levanta una perpendicular. Con centro en C y con radio CE, se traza un arco que interseca en F la perpendicular DE. Se une F con C, y por A se traza una paralela a esta recta que da el vértice G del polígono. Se lleva BG sobre BJ. Desde A, G y J se trazan arcos con radio GJ que dan los puntos H e I, que con A, G y J forman los cinco vértices del polígono.

4.3.3 Tangentes**Fig. 4.4.3-1. Trazar la tangente a un arco en un punto dado A, sin hacer uso del centro.**

Desde un punto cualquiera B del arco se traza con radio BA el arco mn , que corta al arco dado en C. Desde A y con radio AC se traza otro arco que corta a mn en D. Uniendo D con A se tiene la tangente pedida.

Fig 4.4.3-2. Trazar circunferencias tangentes a dos rectas dadas BA y BC, que pasen por un punto P.

Se traza la bisectriz BM del ángulo formado por las rectas BA y BC y se traza la recta BP. Por un punto cualquiera D de la bisectriz, se baja una perpendicular DE a la recta BC. Con radio DE y centro en D se traza un arco que corta a BP en los puntos G y F. Se une G y E con D. Por P se trazan paralelas a las rectas GD y DF que dan sobre la bisectriz los puntos O y O', centros de las circunferencias tangentes posibles.

Fig. 4.4.3-3. Trazar una circunferencia tangente a un ángulo ABC, pasando por el punto P sobre una de las rectas del ángulo.

Se traza la bisectriz BD del ángulo ABC. Se levanta una perpendicular a BC por el punto P hasta intersectar la bisectriz en E. Desde el punto E se traza una perpendicular a la recta BA que la corta en el punto t , punto de tangencia. Con centro en E y radio EP se traza el círculo tangente al ángulo.

Fig 4.4.3-4. Trazar una circunferencia tangente a una recta dada AB y que pase por dos puntos P y P'.

Se unen P y P' con una recta prolongada hasta el punto M de la recta AB. Se traza una semicircunferencia que pase por los puntos P y M. Por el punto P' se levanta una perpendicular a PM hasta cortar la semicircunferencia en E. Con centro en M y radio ME se traza el arco ED. Se levanta una perpendicular a AB por el punto D. Se biseca la línea PP'. Esta bisectriz corta la perpendicular anterior en el punto O, centro de la circunferencia solicitada. Con centro en O y radio PO, trace la circunferencia que será tangente a la recta AB en D y pasa por los puntos P y P'.

Fig. 4.4.3-5. Trazar una circunferencia tangente a otra dada O, en un punto P de ella y a una recta AB.

Se traza la perpendicular CD a AB pasando por O. Se traza la recta CP y se prolonga hasta cortar la recta AB en T, punto de tangencia. Por T se levanta una perpendicular a AB. Se une O con P y se prolonga hasta cortar la perpendicular anterior en O', centro del círculo solicitado. Con centro en O' y radio O'T, trace el círculo.

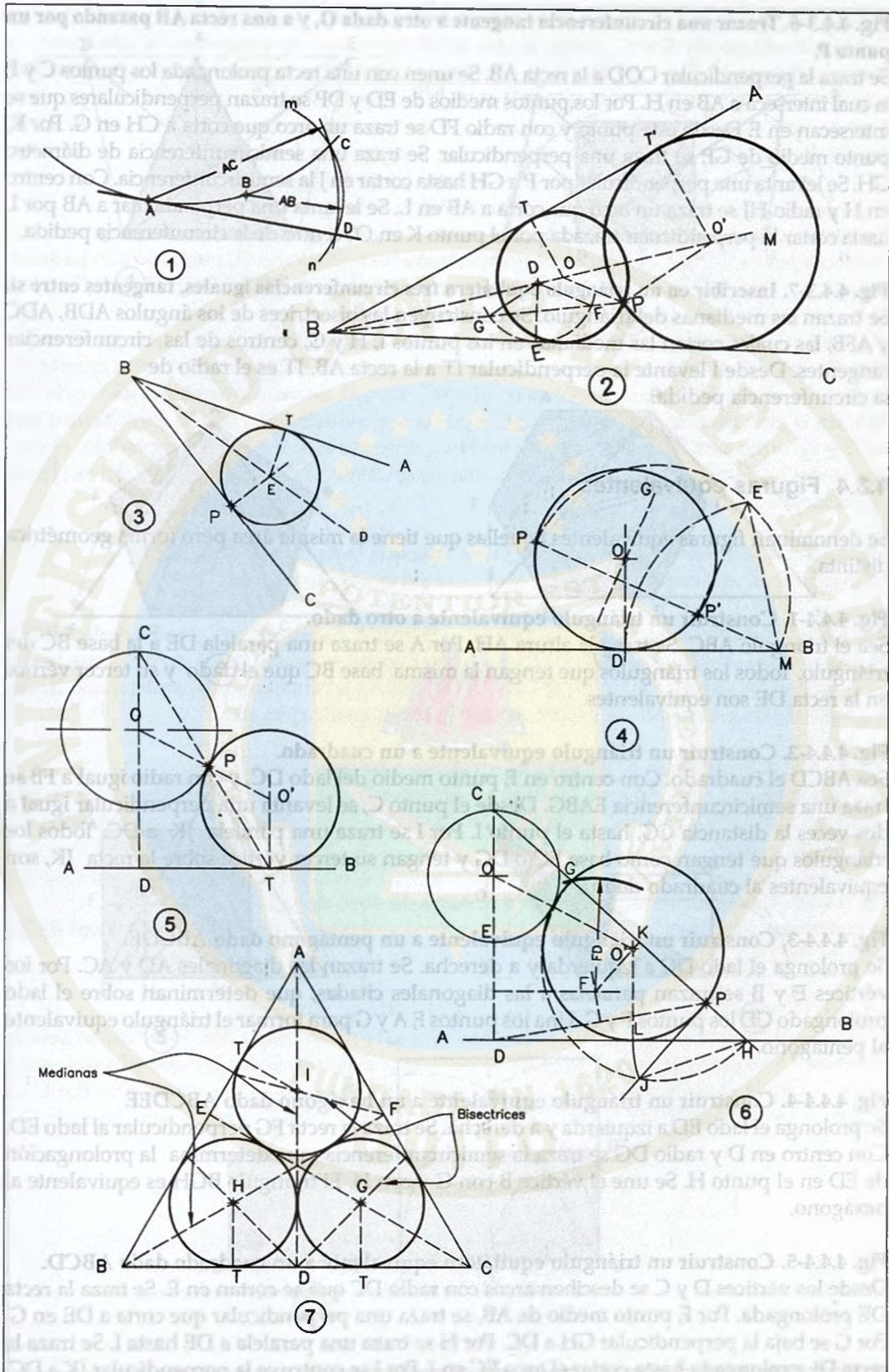


Figura 4.4.3

Fig. 4.4.3-6. Trazar una circunferencia tangente a otra dada O, y a una recta AB pasando por un punto P.

Se traza la perpendicular COD a la recta AB. Se unen con una recta prolongada los puntos C y P, la cual interseca a AB en H. Por los puntos medios de ED y DP se trazan perpendiculares que se intersecan en F. Desde este punto y con radio FD se traza un arco que corta a CH en G. Por K, punto medio de GP, se traza una perpendicular. Se traza una semicircunferencia de diámetro GH. Se levanta una perpendicular por P a GH hasta cortar en J la semicircunferencia. Con centro en H y radio HJ se traza un arco que corta a AB en L. Se levanta una perpendicular a AB por L hasta cortar la perpendicular trazada por el punto K en O', centro de la circunferencia pedida.

Fig. 4.4.3-7. Inscribir en un triángulo equilátero tres circunferencias iguales, tangentes entre sí. Se trazan las medianas del triángulo. Se construyen las bisectrices de los ángulos ADB, ADC y AFB, las cuales cortan las medianas en los puntos I, H y G, centros de las circunferencias tangentes. Desde I levante la perpendicular IT a la recta AB. IT es el radio de la circunferencia pedida.

4.3.4 Figuras equivalentes

Se denominan figuras equivalentes aquellas que tiene la misma área pero forma geométrica distinta.

Fig. 4.4.4-1. Construir un triángulo equivalente a otro dado.

Sea el triángulo ABC. Se traza la altura AH. Por A se traza una paralela DE a la base BC del triángulo. Todos los triángulos que tengan la misma base BC que el dado y su tercer vértice en la recta DE son equivalentes.

Fig. 4.4.4-2. Construir un triángulo equivalente a un cuadrado.

Sea ABCD el cuadrado. Con centro en F, punto medio del lado DC, y con radio igual a FB se traza una semicircunferencia EABG. Desde el punto C, se levanta una perpendicular igual a dos veces la distancia CG, hasta el punto I. Por I se traza una paralela JK a DC. Todos los triángulos que tengan como base EC o DG y tengan su tercer vértice sobre la recta JK, son equivalentes al cuadrado dado.

Fig. 4.4.4-3. Construir un triángulo equivalente a un pentágono dado ABCDE.

Se prolonga el lado DC a izquierda y a derecha. Se trazan las diagonales AD y AC. Por los vértices E y B se trazan paralelas a las diagonales citadas, que determinan sobre el lado prolongado CD los puntos F y G. Una los puntos F, A y G para formar el triángulo equivalente al pentágono.

Fig. 4.4.4-4. Construir un triángulo equivalente a un hexágono dado ABCDEF.

Se prolonga el lado ED a izquierda y a derecha. Se traza la recta FG perpendicular al lado ED. Con centro en D y radio DG se traza la semicircunferencia que determina la prolongación de ED en el punto H. Se une el vértice B con G y con H. El triángulo BGH es equivalente al hexágono.

Fig. 4.4.4-5. Construir un triángulo equilátero equivalente a un cuadrado dado ABCD.

Desde los vértices D y C se describen arcos con radio DC que se cortan en E. Se traza la recta DE prolongada. Por F, punto medio de AB, se traza una perpendicular que corta a DE en G. Por G se baja la perpendicular GH a DC. Por H se traza una paralela a DE hasta I. Se traza la recta DI, prolongada hasta cortar el arco EC en J. Por J se contruye la perpendicular JK a DC, que encuentra en L la recta prolongada DE. LD es el lado del triángulo equilátero pedido.

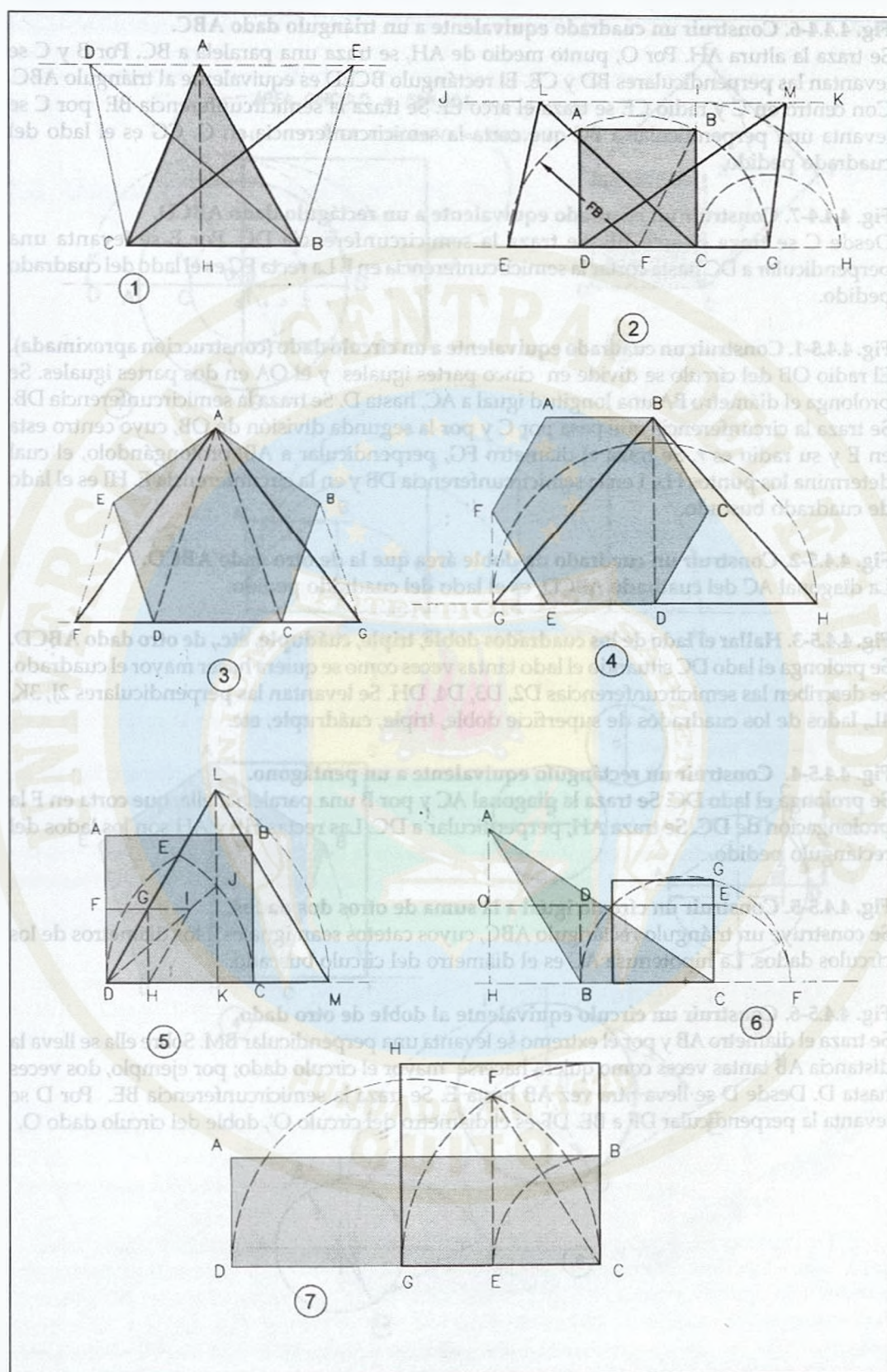


Figura 4.4.4.

Fig. 4.4.4-6. Construir un cuadrado equivalente a un triángulo dado ABC.

Se traza la altura AH. Por O, punto medio de AH, se traza una paralela a BC. Por B y C se levantan las perpendiculares BD y CE. El rectángulo BCED es equivalente al triángulo ABC. Con centro en C y radio CE se traza el arco EF. Se traza la semicircunferencia BE por C se levanta una perpendicular a BC que corta la semicircunferencia en G. CG es el lado del cuadrado pedido.

Fig. 4.4.4-7. Construir un cuadrado equivalente a un rectángulo dado ABCD.

Desde C se traza el arco BE. Se traza la semicircunferencia DC. Por E se levanta una perpendicular a DC hasta cortar la semicircunferencia en F. La recta FC es el lado del cuadrado pedido.

Fig. 4.4.5-1. Construir un cuadrado equivalente a un círculo dado (construcción aproximada).

El radio OB del círculo se divide en cinco partes iguales y el OA en dos partes iguales. Se prolonga el diámetro BA una longitud igual a AC, hasta D. Se traza la semicircunferencia DB. Se traza la circunferencia que pasa por C y por la segunda división de OB, cuyo centro está en E y su radio es r . Se traza el diámetro FG, perpendicular a AB, prolongándolo, el cual determina los puntos H e I en la semicircunferencia DB y en la circunferencia E. HI es el lado de cuadrado buscado.

Fig. 4.4.5-2. Construir un cuadrado de doble área que la de otro dado ABCD.

La diagonal AC del cuadrado ABCD, es el lado del cuadrado pedido.

Fig. 4.4.5-3. Hallar el lado de los cuadrados doble, triple, cuádruple, etc., de otro dado ABCD.

Se prolonga el lado DC situando el lado tantas veces como se quiera hacer mayor el cuadrado. Se describen las semicircunferencias D2, D3, D4, DH. Se levantan las perpendiculares 2J, 3K, 4L, lados de los cuadrados de superficie doble, triple, cuádruple, etc.

Fig. 4.4.5-4. Construir un rectángulo equivalente a un pentágono.

Se prolonga el lado DC. Se traza la diagonal AC y por B una paralela a ella, que corta en F la prolongación de DC. Se traza AH, perpendicular a DC. Las rectas HF y AH son los lados del rectángulo pedido.

Fig. 4.4.5-5. Construir un círculo igual a la suma de otros dos dados.

Se construye un triángulo rectángulo ABC, cuyos catetos sean iguales a los diámetros de los círculos dados. La hipotenusa AC es el diámetro del círculo buscado.

Fig. 4.4.5-6. Construir un círculo equivalente al doble de otro dado.

Se traza el diámetro AB y por el extremo se levanta una perpendicular BM. Sobre ella se lleva la distancia AB tantas veces como quiera hacerse mayor el círculo dado; por ejemplo, dos veces hasta D. Desde D se lleva otra vez AB hasta E. Se traza la semicircunferencia BE. Por D se levanta la perpendicular DF a BE. DF es el diámetro del círculo O', doble del círculo dado O.

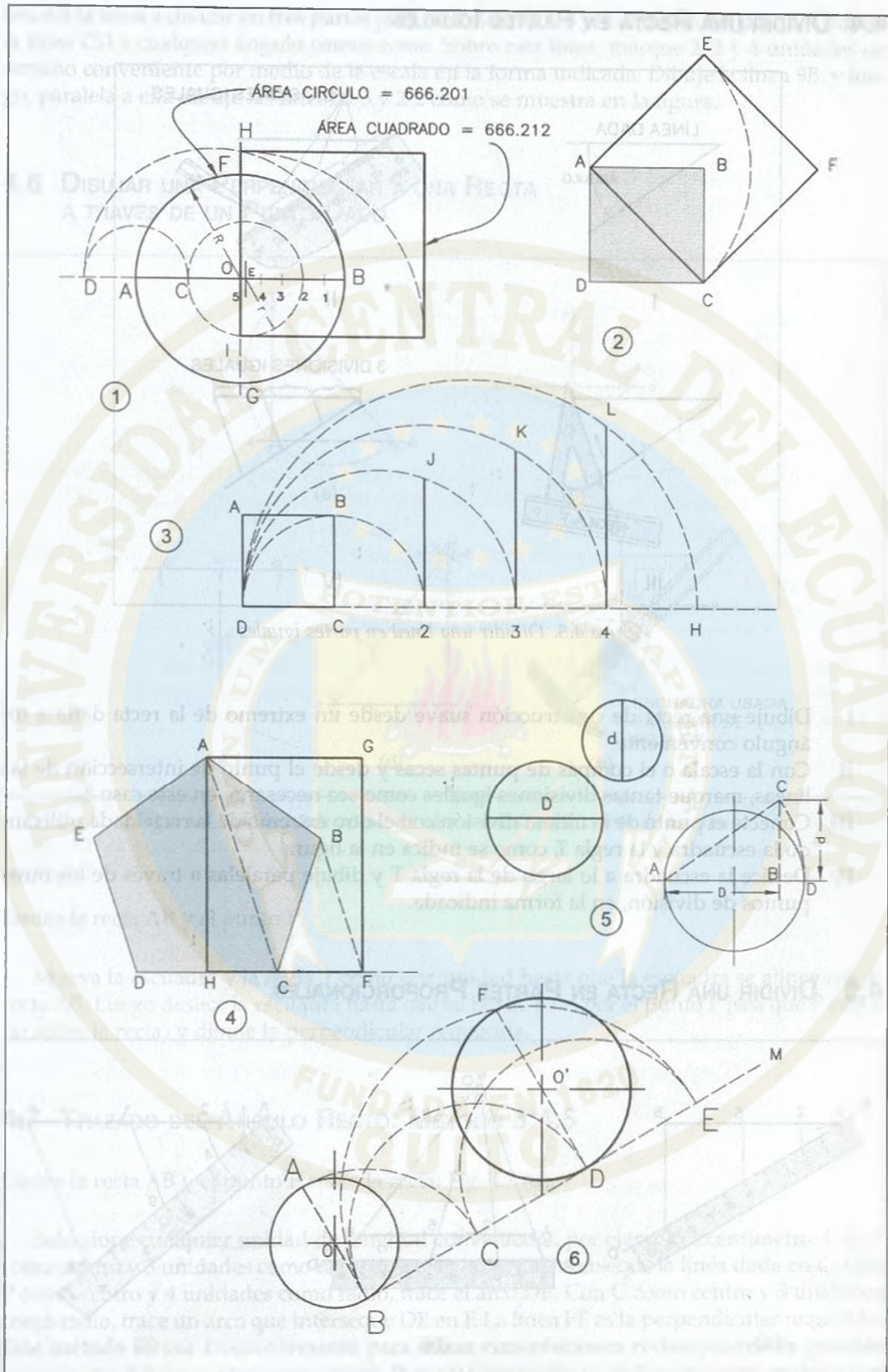


Figura 4.4.5.

4.4 DIVIDIR UNA RECTA EN PARTES IGUALES

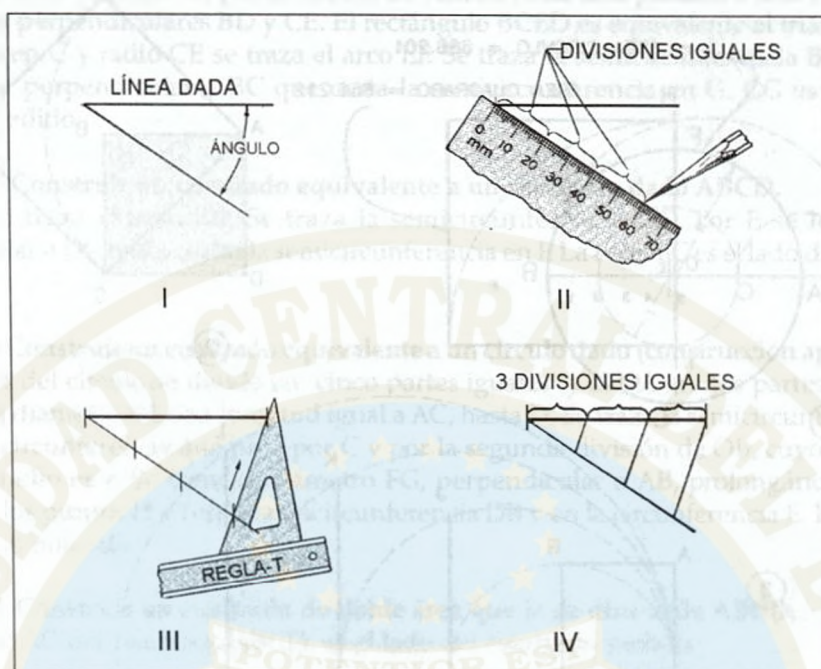


Figura 4.5. Dividir una línea en partes iguales

- I. Dibuje una recta de construcción suave desde un extremo de la recta dada a un ángulo conveniente.
- II. Con la escala o el compás de puntas secas y desde el punto de intersección de las líneas, marque tantas divisiones iguales como sea necesario, en este caso 3.
- III. Conecte el punto de la última división con el otro extremo de la recta dada utilizando la escuadra y la regla T, como se indica en la figura.
- IV. Deslice la escuadra a lo largo de la regla T y dibuje paralelas a través de los otros puntos de división, en la forma indicada.

4.5 DIVIDIR UNA RECTA EN PARTES PROPORCIONALES

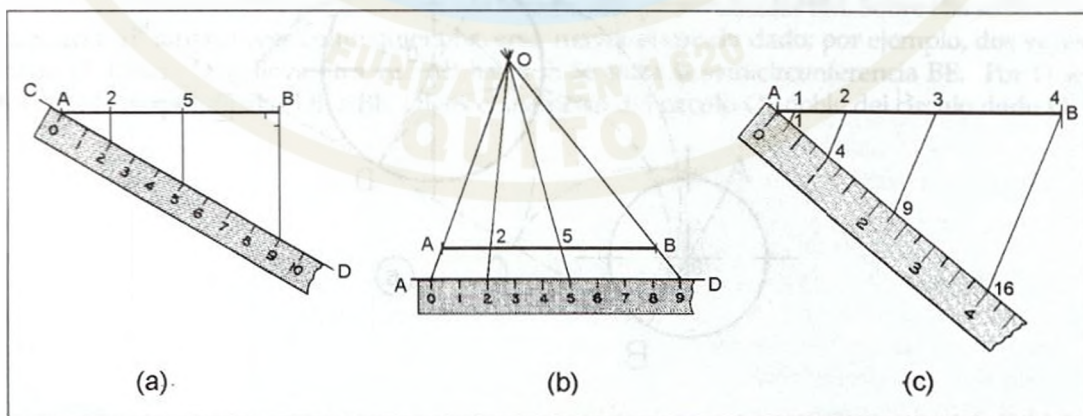


Figura 4.6. Dividir una línea en partes proporcionales

Sea AB la línea a dividir en tres partes proporcionales a 2, 3 y 4. A través del punto A dibuje la línea CD a cualquier ángulo conveniente. Sobre esta línea, marque 2, 3 y 4 unidades de tamaño conveniente por medio de la escala en la forma indicada. Dibuje la línea 9B, y luego, paralela a ella dibuje las líneas 5-5 y 2-2 como se muestra en la figura.

4.6 DIBUJAR UNA PERPENDICULAR A UNA RECTA A TRAVÉS DE UN PUNTO DADO

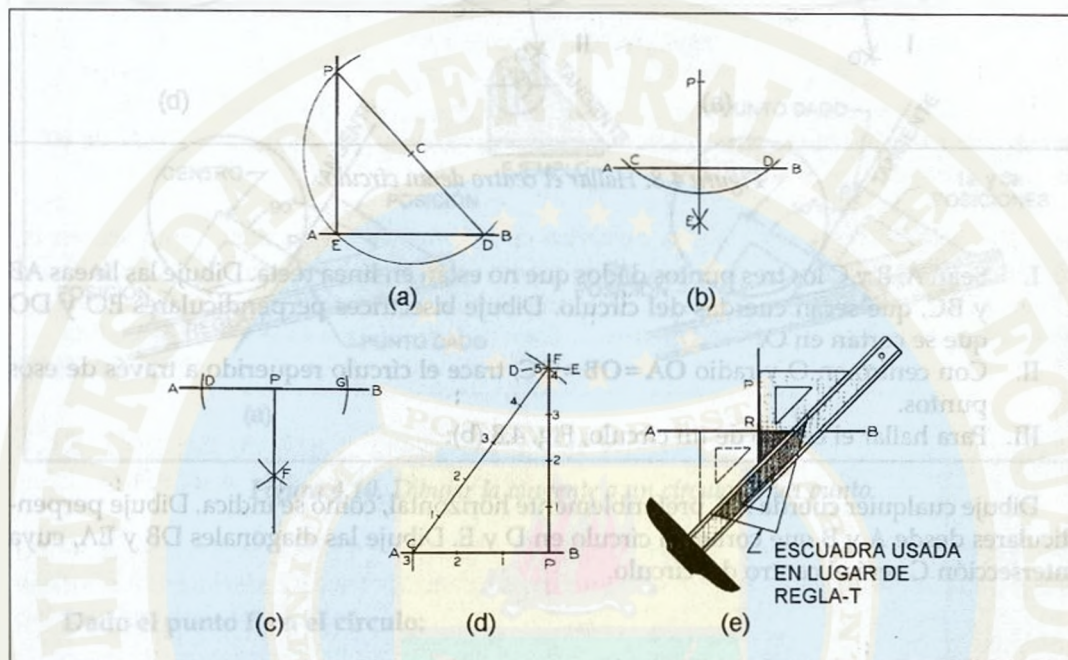


Figura 4.7. Dibujar la perpendicular a una línea a través de un punto

Dados la recta AB y el punto P.

Mueva la escuadra y la regla T como una unidad hasta que la escuadra se alinee con la recta AB. Luego deslice la escuadra hasta que su borde pase por el punto P (sea que P esté o no sobre la recta) y dibuje la perpendicular requerida.

4.7 TRAZADO DEL ÁNGULO RECTO: MÉTODO 3:4:5

Dados la recta AB y el punto P sobre la recta. Fig. 4.7 (d).

Seleccione cualquier unidad de longitud conveniente, por ejemplo 1 centímetro. Con P como centro y 3 unidades como radio, trace un arco que interseque la línea dada en C. Con P como centro y 4 unidades como radio, trace el arco DE. Con C como centro y 5 unidades como radio, trace un arco que interseque DE en F. La línea PF es la perpendicular requerida. Este método se usa frecuentemente para trazar cimentaciones rectangulares de grandes máquinas, edificios y otras estructuras. Para este propósito se utiliza una cinta métrica con distancias de 3 m, 4 m y 5 m como los tres lados del triángulo rectángulo.

4.8 DIBUJAR UN CÍRCULO QUE PASE POR TRES PUNTOS

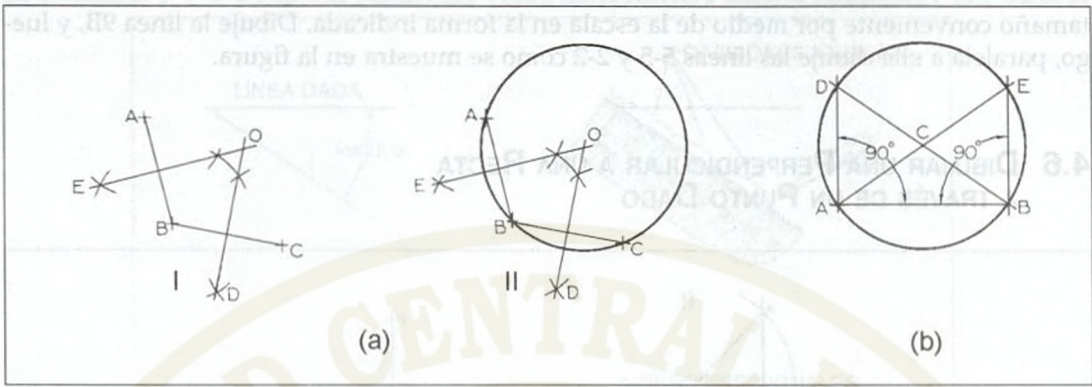


Figura 4.8. Hallar el centro de un círculo

- I. Sean A, B y C los tres puntos dados que no están en línea recta. Dibuje las líneas AB y BC, que serán cuerdas del círculo. Dibuje bisectrices perpendiculares EO y DO que se cortan en O.
- II. Con centro en O y radio $OA=OB=OC$, trace el círculo requerido a través de esos puntos.
- III. Para hallar el centro de un círculo, Fig. 4.8 (b):

Dibuje cualquier cuerda AB, preferiblemente horizontal, como se indica. Dibuje perpendiculares desde A y B que cortan el círculo en D y E. Dibuje las diagonales DB y EA, cuya intersección C será el centro del círculo.

4.9 DIBUJAR UN CÍRCULO TANGENTE A UNA LÍNEA EN UN PUNTO DADO

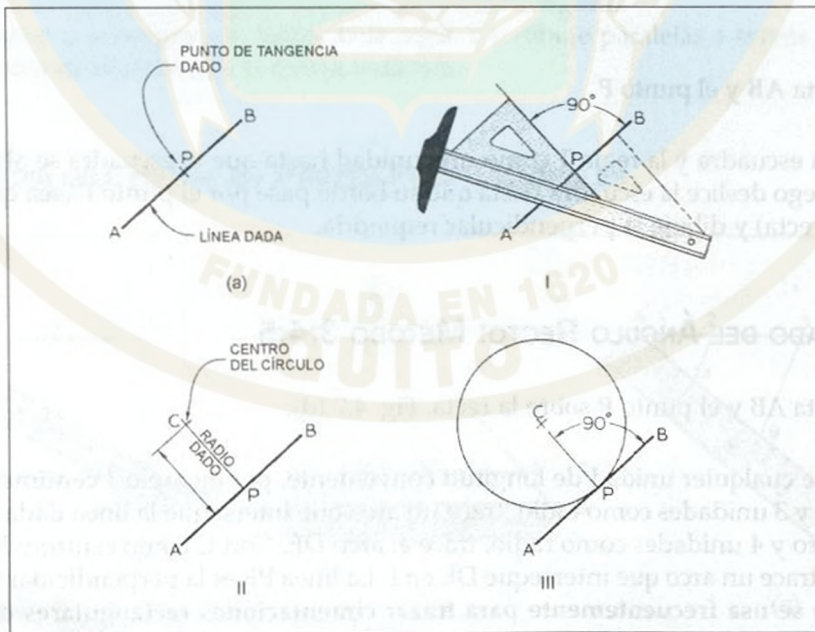


Figura 4.9. Dibujar un círculo tangente a una línea en un punto dado

Dados la línea AB y el punto P sobre la línea.

- I. En P levante una perpendicular a la línea.
- II. Marque el radio del círculo requerido sobre la perpendicular.
- III. Dibuje el círculo con radio CP.

4.10 DIBUJAR LA TANGENTE A UN CÍRCULO EN UN PUNTO DADO

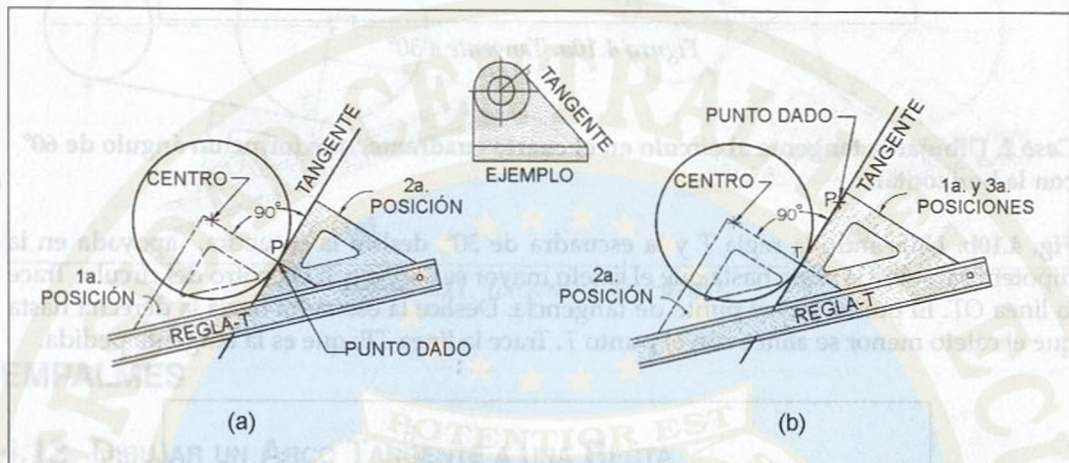


Figura 4.10. Dibujar la tangente a un círculo en un punto

Dado el punto P en el círculo:

Mueva la regla T y la escuadra como una unidad hasta que un lado de la escuadra pase a través del punto P y del centro del círculo; luego deslice la escuadra hasta que pase por el punto P y dibuje la tangente requerida. Fig. 4.10 (a).

Dado el punto P fuera del círculo:

Mueva la regla T y la escuadra como una unidad hasta que un lado de la escuadra pase por el punto P y, por inspección, sea tangente al círculo; luego deslice la escuadra hasta que el otro lado pase a través del centro del círculo, y marque suavemente el punto de tangencia T. Finalmente mueva la escuadra de nuevo a su posición anterior (punto P) y dibuje la tangente requerida. Fig. 4.10 (b).

4.10.1 Dibujar tangentes a un círculo con ángulos dados

Caso 1. Dibujar la tangente al círculo en el primer cuadrante, que forme un ángulo de 30° con la horizontal.

Fig. 4.10a. Utilizando la regla T y la escuadra de 30° , deslice la escuadra, apoyada en la hipotenusa, sobre la regla hasta que el cateto menor se alinee con el centro del círculo. Trace la línea OT. El punto T es el punto de tangencia. Deslice la escuadra hacia la izquierda hasta que el cateto mayor se alinee con el punto T. Trace la línea TA, que es la tangente pedida.

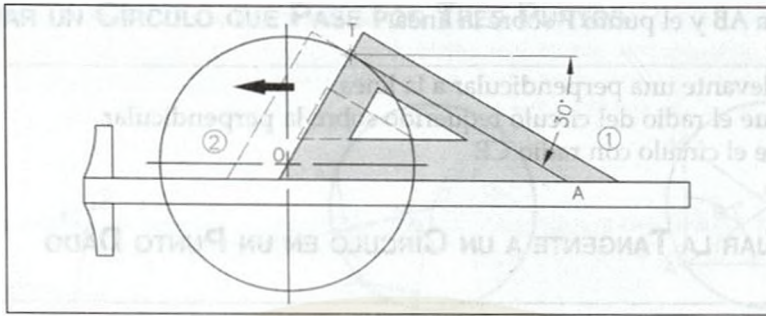


Figura 4.10a. Tangente a 30°

Caso 2. Dibujar la tangente al círculo en el cuarto cuadrante, que forme un ángulo de 60° con la horizontal.

Fig. 4.10b. Utilizando la regla T y la escuadra de 30° , deslice la escuadra, apoyada en la hipotenusa, sobre la regla hasta que el cateto mayor se alinee con el centro del círculo. Trace la línea OT. El punto T es el punto de tangencia. Deslice la escuadra hacia la derecha hasta que el cateto menor se alinee con el punto T. Trace la línea TB, que es la tangente pedida.

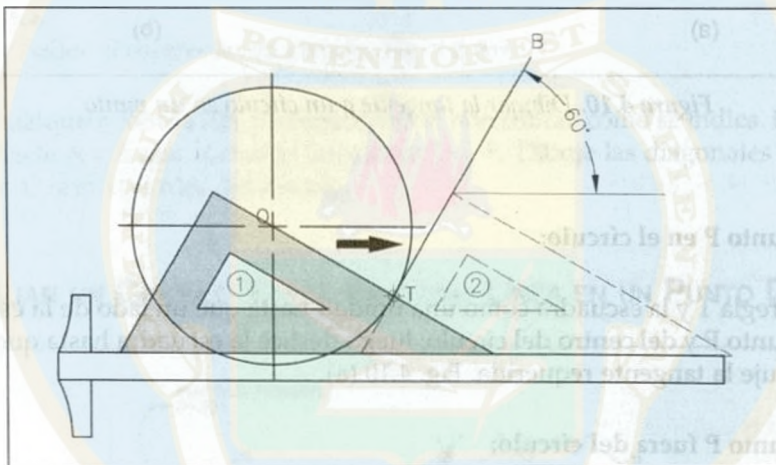


Figura 4.10b. Tangente a 60°

4.11 DIBUJAR TANGENTES A DOS CÍRCULOS

Mueva la escuadra y la regla T como una unidad hasta que un lado de la escuadra sea tangente a los dos círculos por inspección; luego deslice la escuadra hasta que el otro lado pase por el centro de uno de los círculos, y marque suavemente el punto de tangencia. Luego deslice la escuadra hasta que el lado pase a través del centro del otro círculo y marque el punto de tangencia. Finalmente, deslice de nuevo la escuadra a la posición de tangencia y dibuje la línea tangente entre los dos puntos de tangencia.

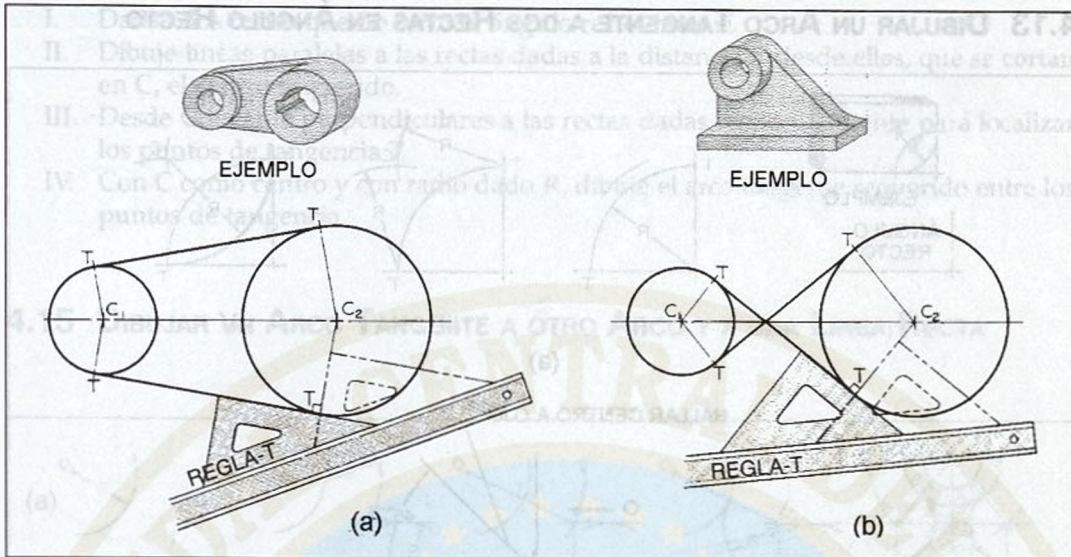


Figura 4.11. Tangente a dos círculos

EMPALMES

4.12 DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A UNA RECTA O ARCO A TRAVÉS DE UN PUNTO

Dados la recta AB, el punto P y el radio R. Dibuje la línea DE paralela a la recta dada a una distancia R desde ella. Desde P dibuje un arco con radio R, cortando la línea DE en C, centro del arco tangente requerido.

Dados la recta AB, con punto de tangencia Q sobre la línea, y el punto P. Dibuje PQ, que será la cuerda del arco requerido. Dibuje la bisectriz perpendicular DE y en Q levante una perpendicular a la línea para cortar DE en C, centro del arco tangente requerido.

Dados el arco con centro en Q, el punto P y el radio R. Desde P trace un arco con radio R. Desde Q trace un arco con radio igual al del arco dado, más R. La intersección C de los arcos es el centro del arco tangente requerido.

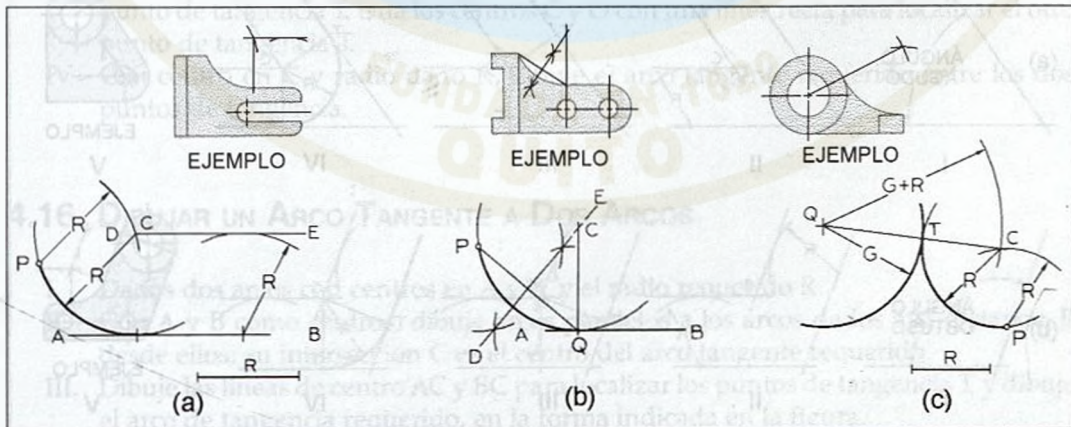


Figura 4.12. Tangente a través de un punto

4.13 DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A DOS RECTAS EN ÁNGULO RECTO

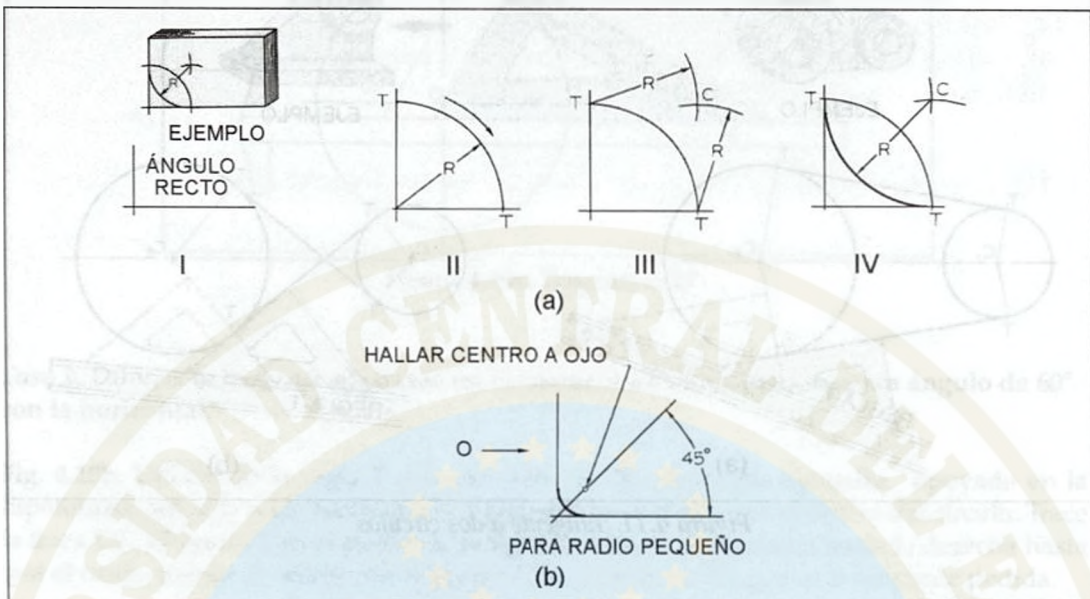


Figura 4.13. Arco tangente con ángulo recto

- I. Dadas dos rectas en ángulo recto entre sí.
- II. Con radio dado R , trace un arco que corta las rectas dadas en los puntos de tangencia T .
- III. Con radio dado R de nuevo y con los puntos T como centros, trace arcos que se cortan en C .
- IV. Con C como centro y radio dado R , dibuje el arco tangente requerido.

Para ángulos muy pequeños, como de 2 o 3 milímetros, no es práctico dibujar construcciones de tangencia completas. En vez de ello, dibuje una bisectriz a 45° del ángulo recto y localice el centro del arco al tanteo a lo largo de esta línea, como se indica en la figura.

4.14 DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A DOS RECTAS EN ÁNGULO AGUDO U OBTUSO

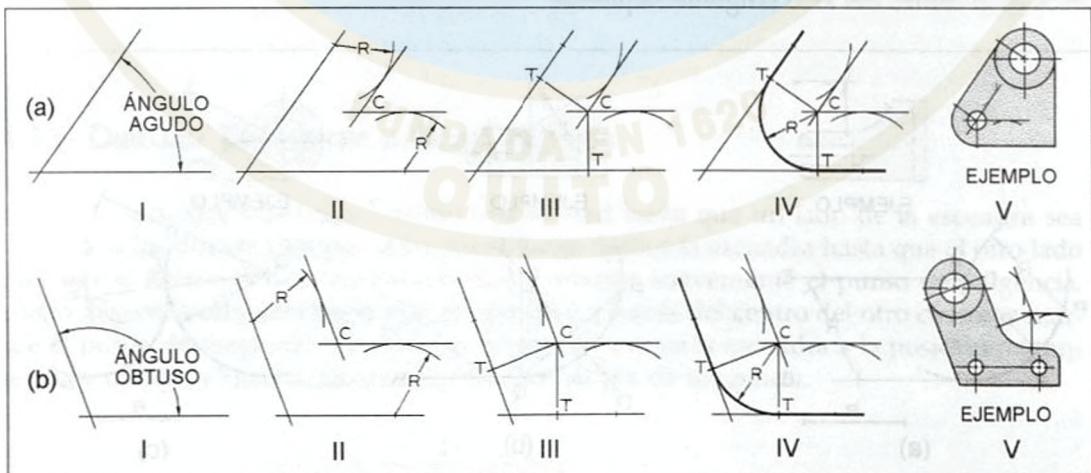


Figura 4.14. Arcos tangentes en varios ángulos

- I. Dadas dos rectas que no forman ángulo recto entre sí.
- II. Dibuje líneas paralelas a las rectas dadas a la distancia R desde ellas, que se cortan en C , el centro requerido.
- III. Desde C levante perpendiculares a las rectas dadas respectivamente para localizar los puntos de tangencia T .
- IV. Con C como centro y con radio dado R , dibuje el arco tangente requerido entre los puntos de tangencia.

4.15 DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A OTRO ARCO Y A UNA LÍNEA RECTA

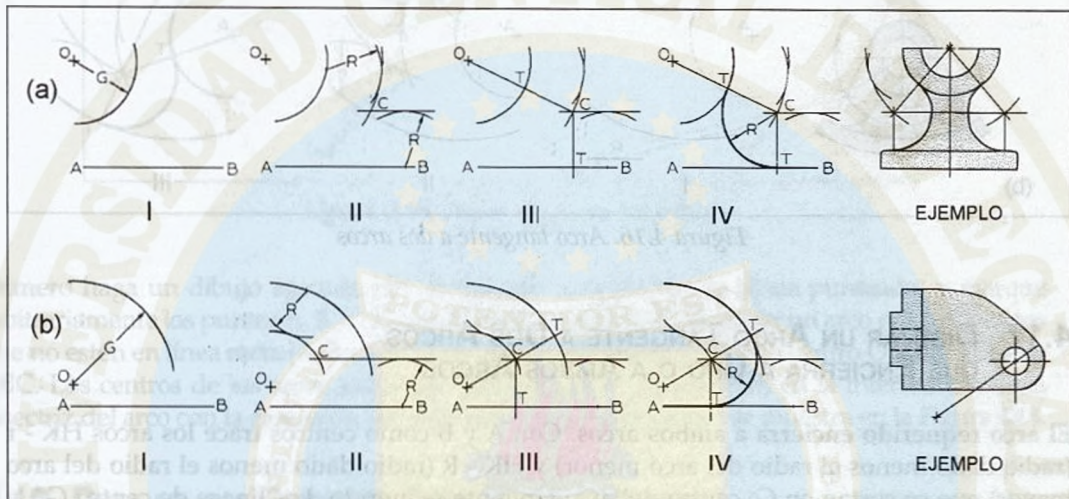


Figura 4.15. Arcos tangentes a otros arcos

- I. Dados un arco con radio G y la línea recta AB .
- II. Dibuje una línea recta paralela a AB a la distancia R . Con radio $G + R$ dibuje un arco paralelo al arco original. Este arco y la paralela se cortan en el punto C , centro requerido.
- III. Desde el punto C levante una perpendicular a la línea recta AB para obtener el punto de tangencia T . Una los centros C y O con una línea recta para localizar el otro punto de tangencia T .
- IV. Con centro en C y radio dado R , dibuje el arco tangente requerido entre los dos puntos de tangencia.

4.16 DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A DOS ARCOS

- I. Dados dos arcos con centros en A y B , y el radio requerido R .
- II. Con A y B como centros, dibuje arcos paralelos a los arcos dados a la distancia R desde ellos; su intersección C es el centro del arco tangente requerido.
- III. Dibuje las líneas de centro AC y BC para localizar los puntos de tangencia T , y dibuje el arco de tangencia requerido, en la forma indicada en la figura.

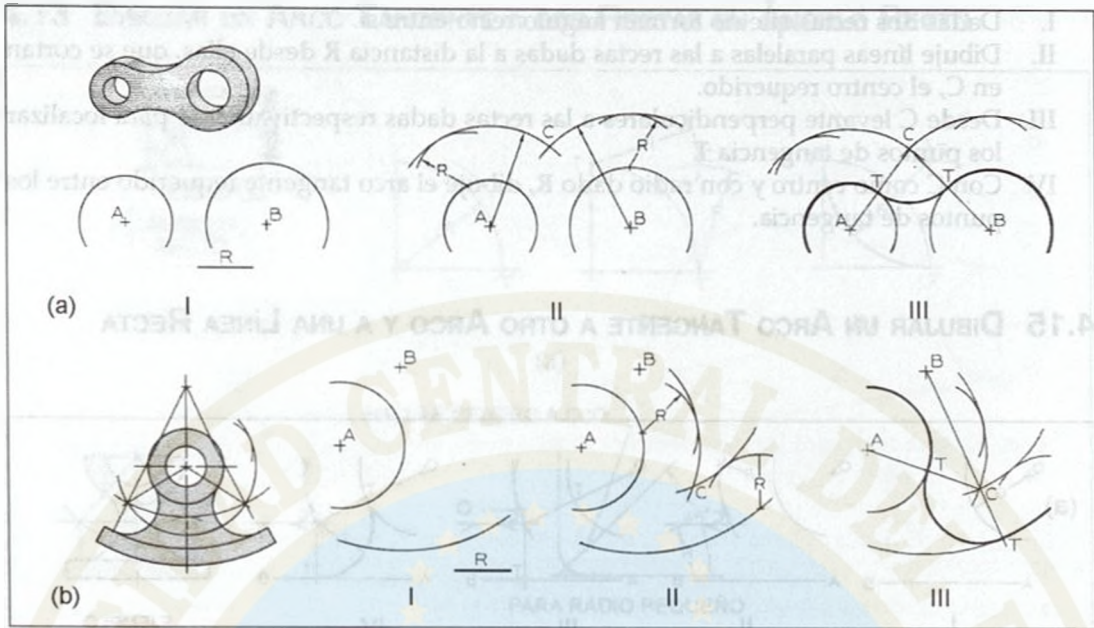


Figura 4.16. Arco tangente a dos arcos

4.17 DIBUJAR UN ARCO TANGENTE A DOS ARCOS QUE ENCIERRA A UNO O A AMBOS ARCOS

El arco requerido encierra a ambos arcos. Con A y B como centros trace los arcos $HK - r$ (radio dado menos el radio del arco menor) y $HK - R$ (radio dado menos el radio del arco mayor) que se cortan en G, centro del arco tangente requerido. Las líneas de centro GA y GB (extendidas) determinan los puntos de tangencia T.

El arco requerido encierra sólo uno de los arcos dados. Con C y D como centros trace los arcos $HK + r$ (radio dado más el radio del círculo menor) y $HK - R$ (radio dado menos el radio del círculo mayor) que se cortan en G, centro del arco tangente requerido. Las líneas de centro GC y GD (extendidas) determinan los puntos de tangencia T.

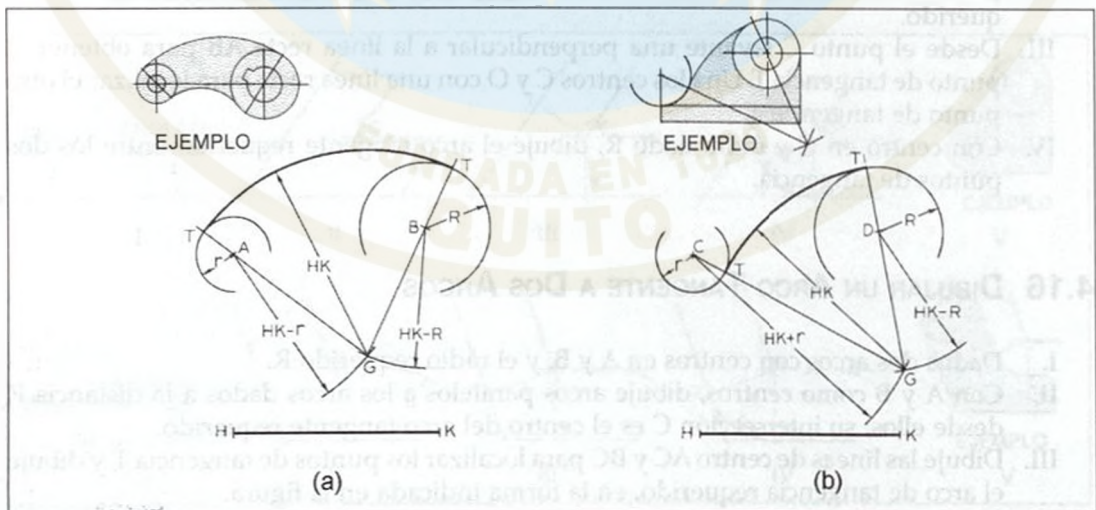


Figura 4.17. Arcos tangentes envolventes

4.18 DIBUJAR UNA SERIE DE ARCOS TANGENTES FORMANDO UNA CURVA

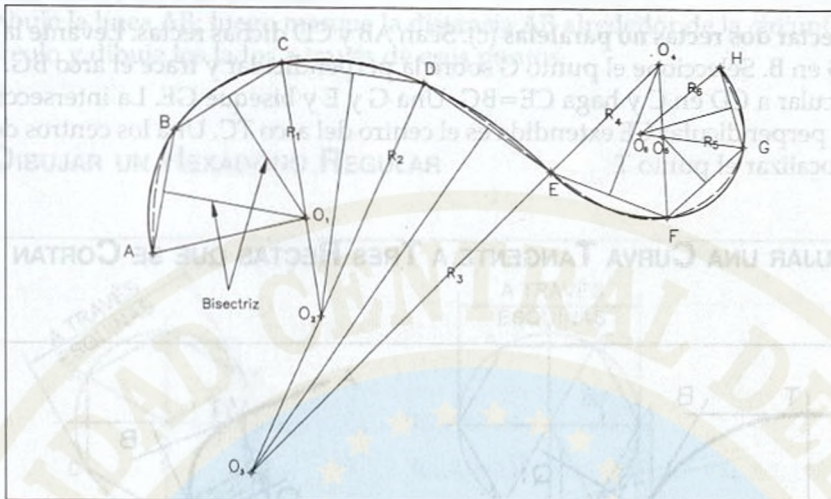


Figura 4.18. Arcos tangentes continuos

Primero haga un dibujo aproximado de la curva a mano alzada (línea punteada) y marque arbitrariamente los puntos A, B, C, D, etc. Utilizando el método de pasar un arco por tres puntos que no estén en línea recta (A, B y C), encuentre un primer radio R y un centro O y trace el arco ABC. Los centros de los arcos sucesivos CD, DE, etc., se encuentran en la intersección de la bisectriz del arco con la extensión del radio del arco anterior, como se muestra en la Figura 4.18.

4.19 DIBUJAR UNA CURVA DE OGEE (CURVA INVERSA)

Fig. 4.19 (a). Para conectar dos rectas paralelas. Sean NA y BM las dos rectas paralelas. Dibuje AB, asuma el punto de inflexión T (en el punto medio si se requieren arcos iguales). En A y B levante las perpendiculares AF y BC. Dibuje los bisectores perpendiculares de AT y BT.

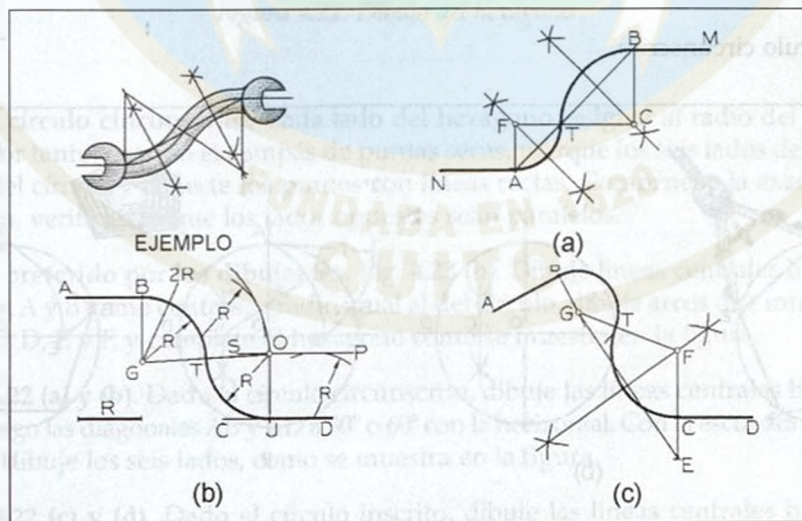


Figura 4.19. Dibujar una curva de Ogee

Las intersecciones F y C de esos bisectores con las perpendiculares respectivas, son los centros de los arcos tangentes requeridos.

Para conectar dos rectas no paralelas (c). Sean AB y CD dichas rectas. Levante la perpendicular a AB en B. Seleccione el punto G sobre la perpendicular y trace el arco BG. Levante la perpendicular a CD en C y haga $CE=BG$. Una G y E y biseque GE. La intersección F del bisector y la perpendicular CE extendida es el centro del arco TC. Una los centros de los dos arcos para localizar el punto T.

4.20 DIBUJAR UNA CURVA TANGENTE A TRES RECTAS QUE SE CORTAN

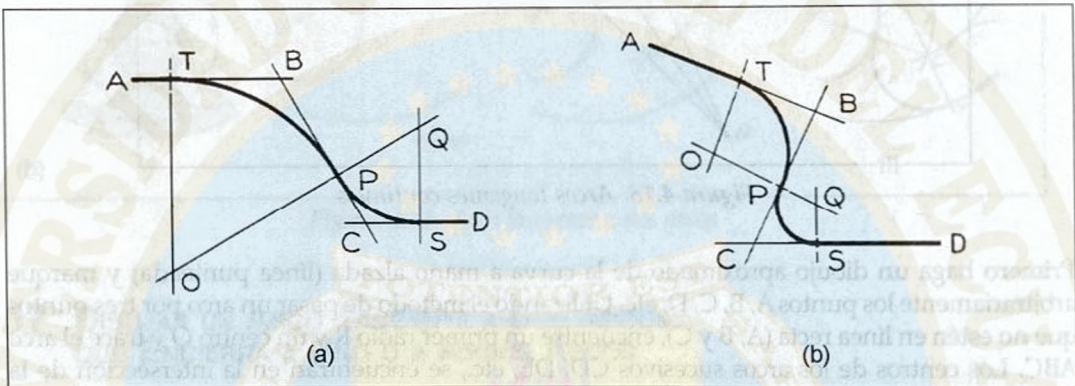


Figura 4.20. Curvas tangentes

Sean AB, BC y CD las tres líneas dadas. Seleccione el punto de tangencia P en cualquier punto de la línea BC. Haga BT igual a BP y $CS=PC$ y levante perpendiculares en los puntos P, T y S. Sus intersecciones O son los centros de los arcos tangentes requeridos.

4.21 DIBUJAR UN PENTÁGONO REGULAR

Dado el círculo circunscrito.

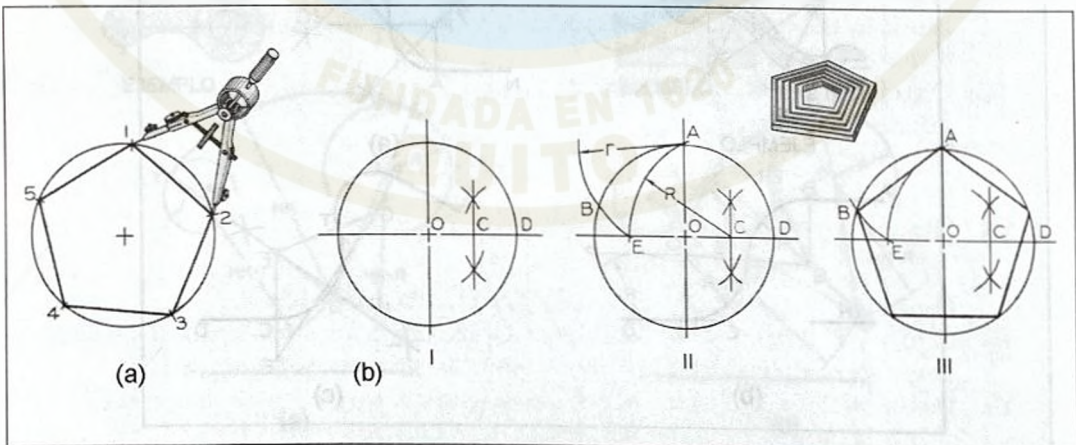


Figura 4.21. Dibujo del pentágono

- I. Biseque el radio OD en C.
- II. Con C como centro y CA como radio, trace el arco AE. Con A como centro y AE como radio, trace el arco EB.
- III. Dibuje la línea AB; luego marque la distancia AB alrededor de la circunferencia del círculo y dibuje los lados a través de esos puntos.

4.22 DIBUJAR UN HEXÁGONO REGULAR

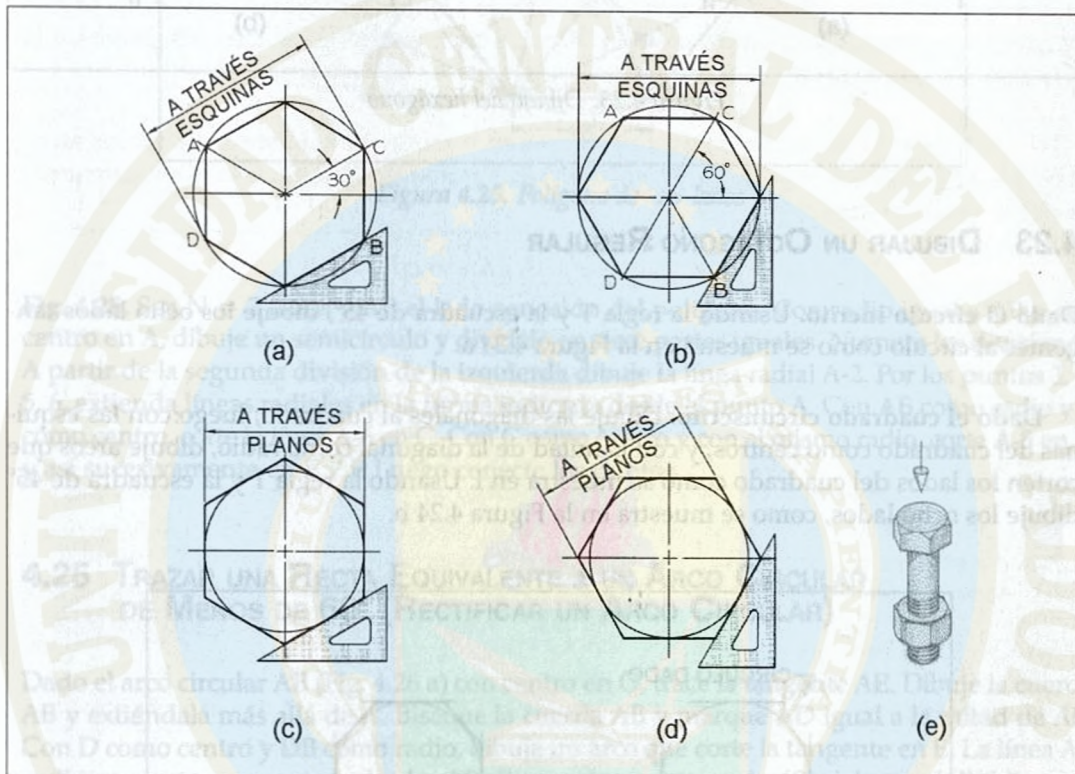


Figura 4.22. Dibujo del hexágono

Dado el círculo circunscrito. Cada lado del hexágono es igual al radio del círculo circunscrito. Por tanto, usando el compás de puntas secas, marque los seis lados del hexágono alrededor del círculo y conecte los puntos con líneas rectas. Compruebe la exactitud de la construcción, verificando que los lados opuestos sean paralelos.

Método preferido por los dibujantes. Fig. 4.23 (b). Dibuje líneas centrales horizontal y vertical. Con A y B como centros, y radio igual al del círculo, dibuje arcos que intersequen al círculo en C, D, E y F, y complete el hexágono como se muestra en la figura.

Figura 4.22 (a) y (b). Dado el círculo circunscrito, dibuje las líneas centrales horizontal y vertical, y luego las diagonales AB y CD a 30° o 60° con la horizontal. Con la escuadra de $30^\circ \times 60^\circ$ y la regla T dibuje los seis lados, como se muestra en la figura.

Figura 4.22 (c) y (d). Dado el círculo inscrito, dibuje las líneas centrales horizontal y vertical; luego con la escuadra de $30^\circ \times 60^\circ$ y la regla T, dibuje los seis lados tangentes al círculo.

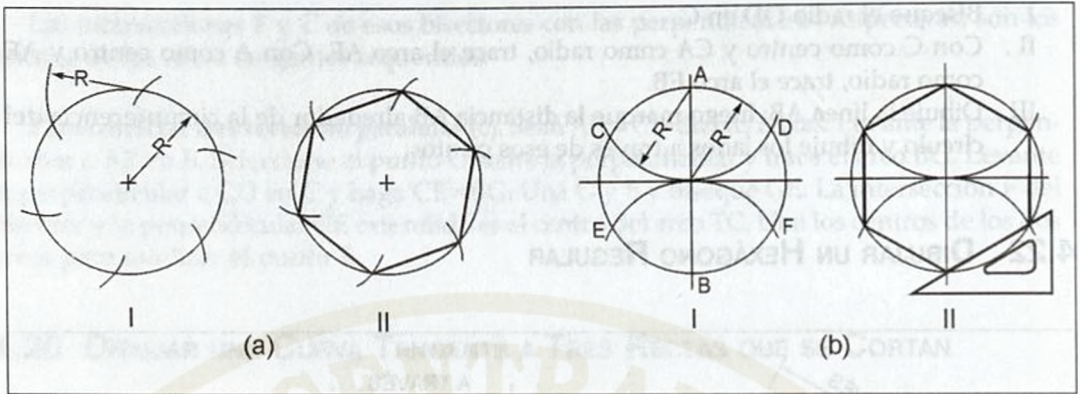


Figura 4.23. Dibujo del hexágono

4.23 DIBUJAR UN OCTÁGONO REGULAR

Dado el círculo incrito. Usando la regla T y la escuadra de 45°, dibuje los ocho lados tangentes al círculo como se muestra en la Figura 4.24 a.

Dado el cuadrado circunscrito. Dibuje las diagonales al cuadrado; luego con las esquinas del cuadrado como centros, y con la mitad de la diagonal como radio, dibuje arcos que corten los lados del cuadrado como se muestra en I. Usando la regla T y la escuadra de 45° dibuje los ocho lados, como se muestra en la Figura 4.24 b.

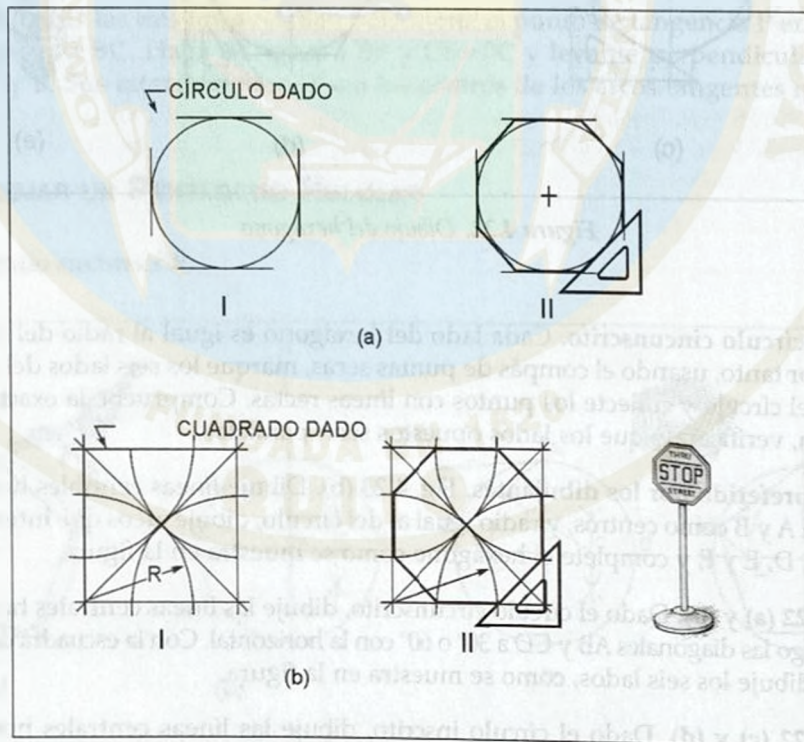


Figura 4.24. Dibujo del octágono

4.24 DIBUJAR EL POLÍGONO REGULAR DE N LADOS

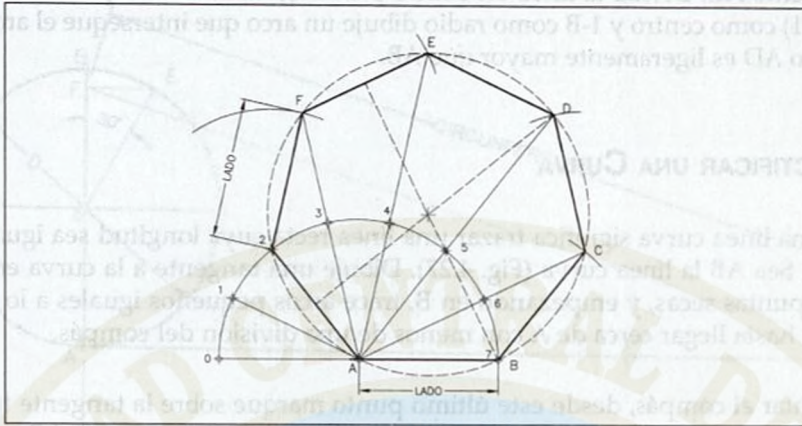


Figura 4.25. Polígono de «n» lados

Fig. 4.25. Sea $N = 7$ lados y AB el lado conocido del polígono. Con radio igual a AB y con centro en A , dibuje un semicírculo y divídalo en siete partes iguales. Numere las divisiones. A partir de la segunda división de la izquierda dibuje la línea radial $A-2$. Por los puntos 3, 4, 5, 6, extienda líneas radiales en la forma indicada desde el punto A . Con AB como radio y B como centro, corte la línea $A-6$ en C . Con C como centro y con el mismo radio, corte $A-5$ en D y así sucesivamente en E y F . Luego conecte los puntos.

4.25 TRAZAR UNA RECTA EQUIVALENTE A UN ARCO CIRCULAR DE MENOS DE 60° (RECTIFICAR UN ARCO CIRCULAR)

Dado el arco circular AB (Fig. 4.26 a) con centro en O , trace la tangente AE . Dibuje la cuerda AB y extiéndala más allá de A . Biseque la cuerda AB y marque AD igual a la mitad de AB . Con D como centro y DB como radio, dibuje un arco que corte la tangente en E . La línea AE es ligeramente menor que el arco AB . Para arcos mayores de 60° deben subdividirse en varios arcos de 60° y aplicar este procedimiento.

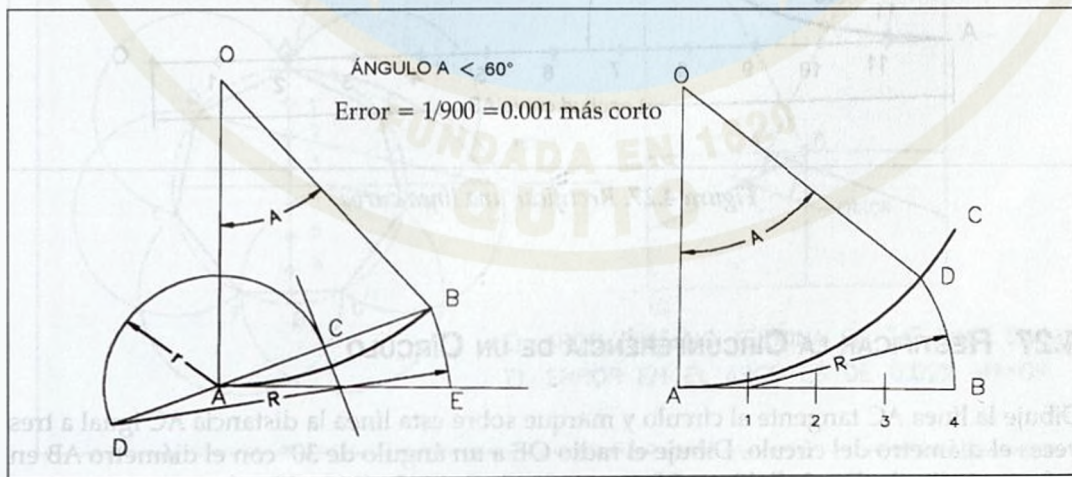


Figura 4.26. Rectificar un arco de círculo

Dada la longitud de la tangente AB (Fig. 4.26 b), se requiere determinar el arco de longitud equivalente AC. Divida la línea en **cuatro** partes iguales. Con el punto de la primera división (# 1) como centro y 1-B como radio dibuje un arco que interseque el arco dado AC en D. El arco AD es ligeramente mayor que AB.

4.26 RECTIFICAR UNA CURVA

Rectificar una línea curva significa trazar una línea recta cuya longitud sea igual a la de la línea curva. Sea AB la línea curva (Fig. 4.27). Dibuje una tangente a la curva en A. Con el compás de puntas secas, y empezando en B, trace arcos pequeños iguales a lo largo de la línea curva, hasta llegar cerca de A con menos de una división del compás.

Sin levantar el compás, desde este último punto marque sobre la tangente tantos arcos como los marcados sobre la curva, hasta alcanzar el punto C. La tangente AC es aproximadamente igual a la curva AB.

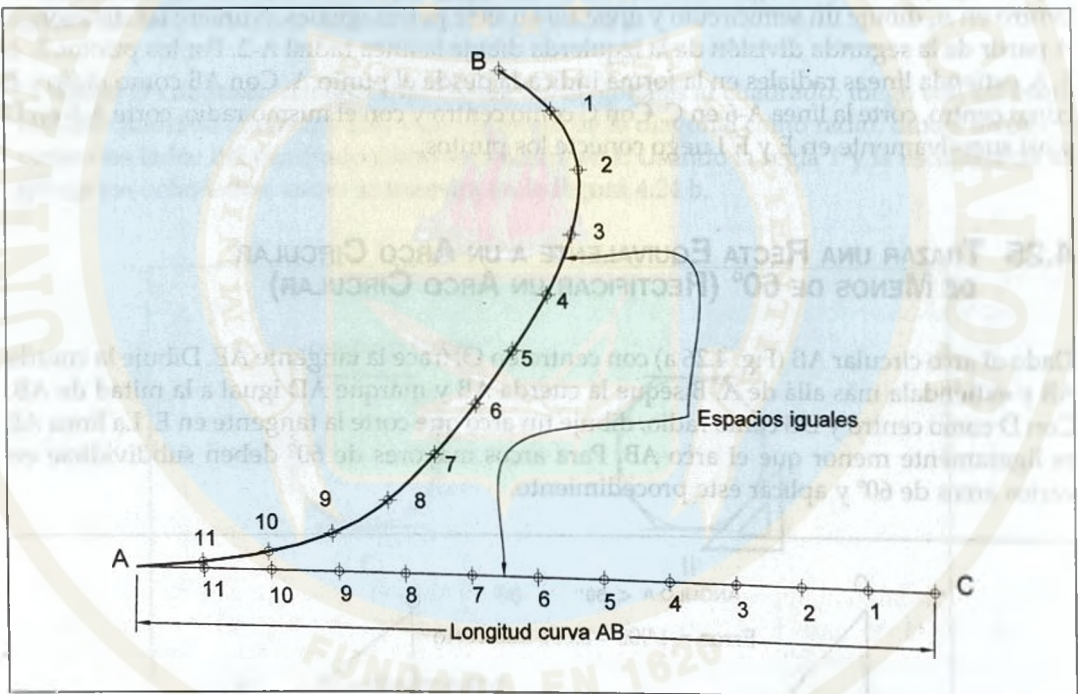


Figura 4.27. Rectificar una línea curva

4.27 RECTIFICAR LA CIRCUNFERENCIA DE UN CÍRCULO

Dibuje la línea AC tangente al círculo y marque sobre esta línea la distancia AC igual a tres veces el diámetro del círculo. Dibuje el radio OE a un ángulo de 30° con el diámetro AB en la forma indicada. Desde E dibuje EF perpendicular a AB. La línea CF es ligeramente mayor que la circunferencia del círculo, con un error aproximado de $1/21.800$.

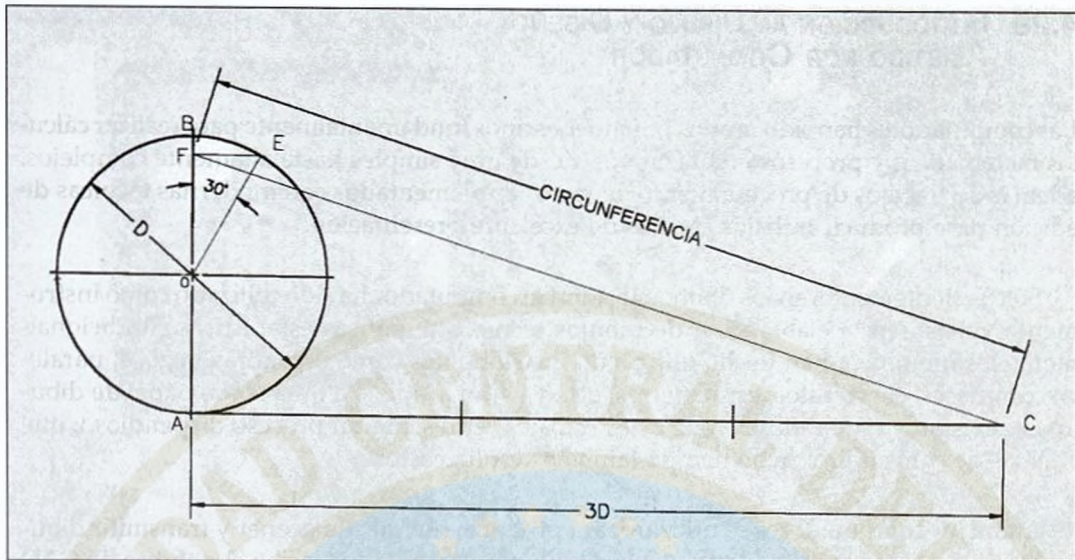


Figura 4.28. Rectificar la circunferencia

4.28 DIVIDIR UN CÍRCULO EN PARTES IGUALES (MÉTODO APROXIMADO)

Divida el diámetro vertical AB del círculo en el número de partes escogido; ejemplo: 7 partes iguales. Con centro en B y radio BA trace el arco AC. Una el punto C con la segunda división del diámetro (2) por medio de una recta y continúela hasta intersectar el círculo en el punto D. El arco DA es aproximadamente la división requerida. Trace arcos de radio DA a lo largo de toda la circunferencia. La cuerda DA y, como consecuencia, el arco, solo son aproximados, con error de + 0.02%.

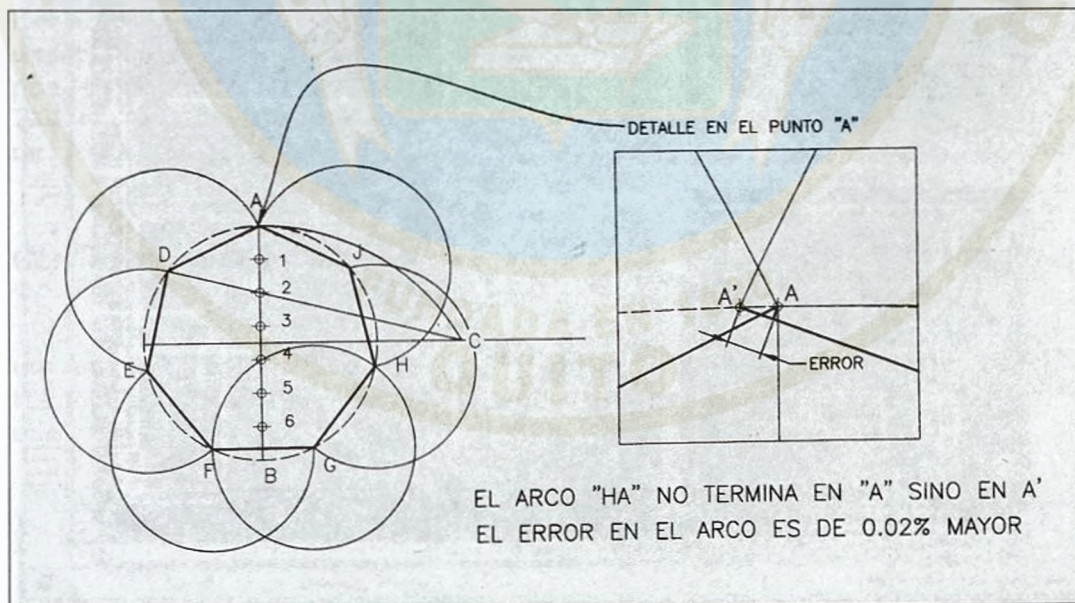


Figura 4.29. Dividir el círculo en partes iguales

4.29 INTRODUCCIÓN AL DIBUJO Y DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADOR

Los computadores han sido usados por muchos años fundamentalmente para realizar cálculos matemáticos y procesos organizativos, desde muy simples hasta altamente complejos, además de trabajos de procesamiento de textos implementados con modernas técnicas de edición para producir trabajos escritos de excelente presentación.

Sólo recientemente, en los últimos 15 años, el computador ha sido utilizado como instrumento valioso en la elaboración de dibujos técnicos y gráficas estadísticas. Tradicionalmente los dibujos se han hecho utilizando instrumentos como escuadras, regla T, paralelas, compases, curvígrafos, escalímetros, etc., ya sean a lápiz o a tinta sobre papel de dibujo. La revisión y/o modificación de estos trabajos representa un proceso dispendioso, que además de consumir mucho tiempo también resulta costoso.

Ahora los computadores se utilizan para producir, revisar, almacenar y transmitir dibujos originales. Este método de producir dibujo por computador recibe el nombre de CAD (Computer Aided Design o Computer Aided Drafting), que traduce *dibujo asistido por computador*. La tendencia actual es la de utilizar las sigla CADD (Computer Aided Design and Drafting) para significar *dibujo y diseño asistido por computador*, teniendo en cuenta las técnicas modernas diseñadas para convertir los bosquejos, que son dibujos de trazos irregulares hechos en computador, en dibujos geométricos exactos.

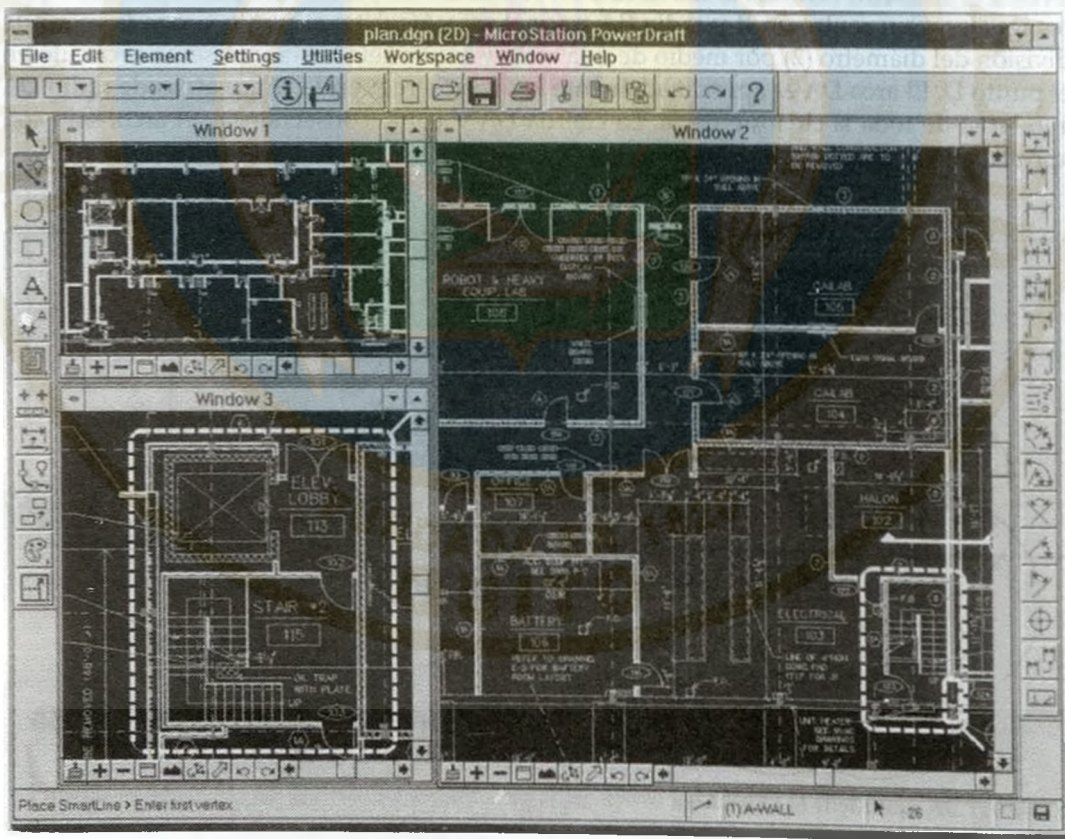


Figura 4.30. Diseño arquitectónico con MicroStation-95 (cortesía de Intergraph Inc.)



Figura 4.31. Sistema CAD de escritorio (cortesía de Intergraph Corp.)

Utilizando los dibujos elaborados por computador en equipos especiales, se integra el proceso de fabricación con el proceso de diseño dando como resultado el CAM (Computer Aided Manufacturing) o *fabricación asistida por computador* o CIM (Computer Integrated Manufacturing), lo que permite fabricar piezas con gran precisión incorporando en el proceso computarizado los archivos que contienen los planos de tales piezas, planos que lee el equipo directamente y luego ejecuta con absoluta precisión.

La primera demostración del uso de un computador como herramienta de dibujo lo hizo el doctor Ivan Sullivan del Instituto Tecnológico de Massachusetts en 1963, utilizando un lápiz luminoso y un tubo de rayos catódicos para entrada de datos al computador. El primer sistema comercial fue introducido por International Business Machines (IBM) en 1964. Desde entonces han proliferado las compañías dedicadas a la elaboración de programas (*software*) CAD.

Configuración de un sistema CAD

Todos los sistemas CAD constan de componentes de *hardware* similares. Básicamente tienen una unidad central de proceso, unidades de entrada y salida y unidades de almacenamiento y transmisión de datos. Pueden ser estaciones de trabajo enlazadas a través de una red o estaciones independientes.

Las unidades de entrada son: el *mouse*, el teclado, la tableta digitalizadora con digitador y/o lápiz electrónico y el escáner.

Algunas estaciones de trabajo altamente sofisticadas incorporan dos pantallas que despliegan varias imágenes simultáneamente, además de tableta digitalizadora y teclado modificado para uso especial en aplicaciones CAD.



Figura 4.32. Estaciones de trabajo (cortesía de Intergraph Corp.)



Figura 4.33. Estación de trabajo con pantalla doble (cortesía de Intergraph Corp.)

La **tableta digitalizadora** es un dispositivo de entrada muy utilizado. Se usa para crear un dibujo original CAD o para convertir un dibujo ya elaborado en papel, en un dibujo CAD. El tamaño de las tabletas varía desde 8.5" x 11" hasta 36" x 48". Cuando superan este tamaño se llaman **mesas digitalizadoras** y se usan principalmente para convertir dibujos y planos grandes elaborados en papel, a dibujos CAD. La tableta va acompañada de un señalador (*puck* en inglés) o un lápiz electrónico. El *puck* es un dispositivo parecido al *mouse* pero con más botones y en vez de una esfera en la parte inferior para mover el cursor, utiliza una ventana con retícula electrónica que permite posicionar el *puck* en forma muy precisa para ubicar un punto que está en la tableta y pasarlo a su posición correspondiente en la pantalla.

El lápiz electrónico hace el mismo trabajo del *puck*. Cuando se desplaza a lo largo de la tableta, el cursor se mueve consecuentemente en la pantalla. El lápiz también tiene botones para seleccionar puntos y dar entrada a instrucciones.

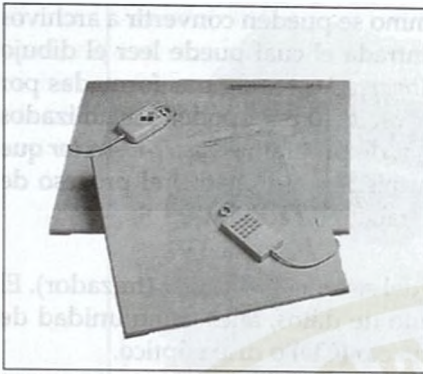


Figura 4-34. Tabletas digitalizadoras



Figura 4.35. Pucks y lápiz electrónico

Para utilizar la tableta digitalizadora se debe colocar una plantilla que contiene los íconos correspondientes a los comandos del programa CAD. La plantilla está dividida en áreas de instrucciones donde se encuentran los íconos y área de dibujo, zonas que se especifican desde el configurador del programa CAD particular.

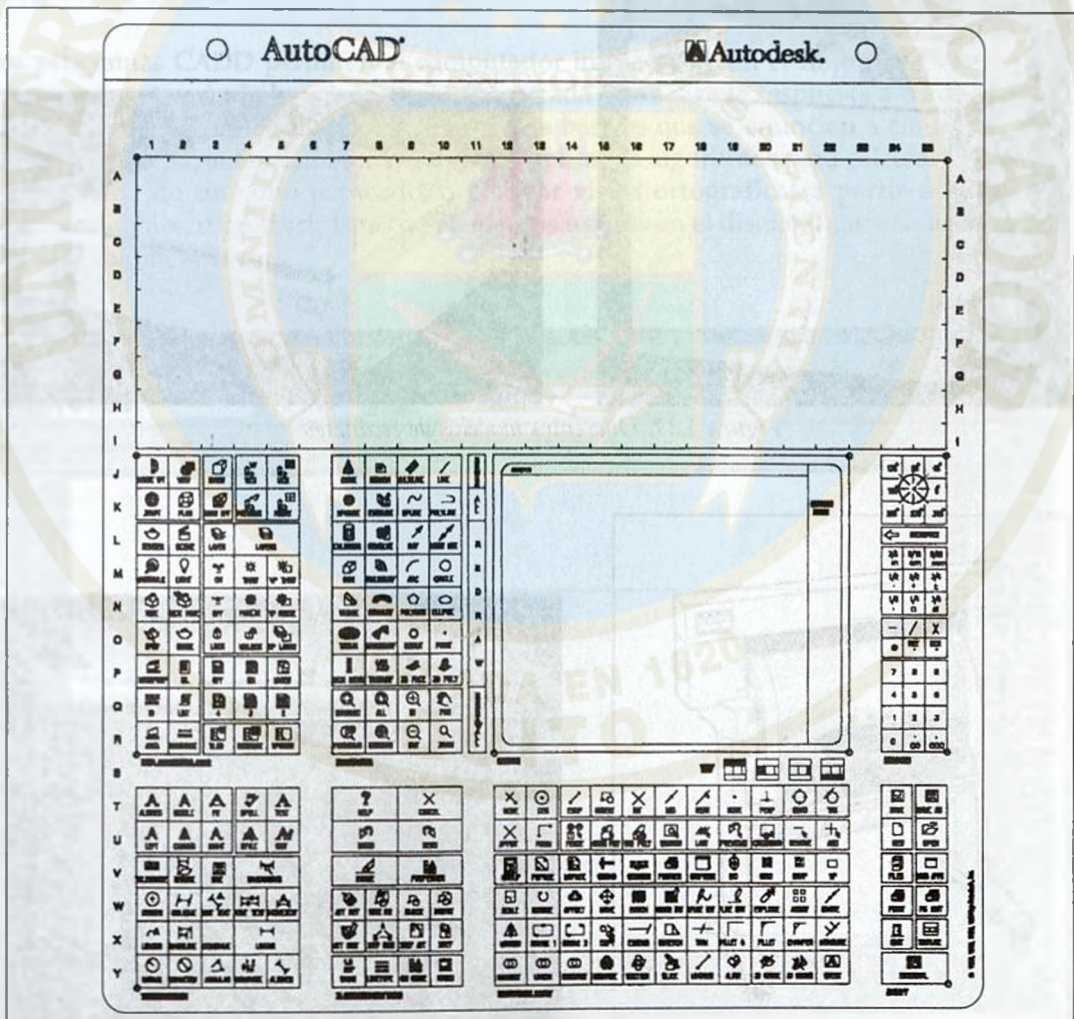


Figura 4.36. Plantilla digitalizadora AutoCAD - R13c4

Los planos o dibujos existentes sobre papel o pergamino se pueden convertir a archivos CAD utilizando el escáner, que es un dispositivo de entrada el cual puede leer el dibujo desde el papel. Estos equipos crean archivos *raster* o *bitmapped* o sea figuras formadas por sucesión de puntos, los cuales deben ser convertidos a vectores para poder ser utilizados como dibujos CAD. En el mercado existe un buen número de programas *raster-to-vector* que convierten los archivos de puntos a vectores, lo cual acelera y automatiza el proceso de copiado de planos al sistema CAD y permite cualquier trabajo de edición.

Las unidades de salida son la pantalla, la impresora del sistema y el *plotter* (trazador). El sistema debe contar con dispositivos de almacenamiento de datos, tales como unidad de disco duro, de disquete, de cinta magnética, disco compacto (CD) o disco óptico.

A continuación se ilustran dos trazadores (*plotters*) y una impresora gráfica usados ampliamente para imprimir planos elaborados con programas CAD. Estos equipos pueden imprimir en blanco y negro o en colores y se utilizan tanto para aplicaciones de ingeniería como de artes gráficas.

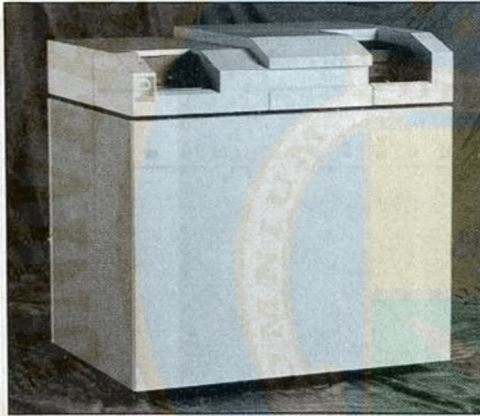


Figura 4.37. Diferentes modelos de escáneres

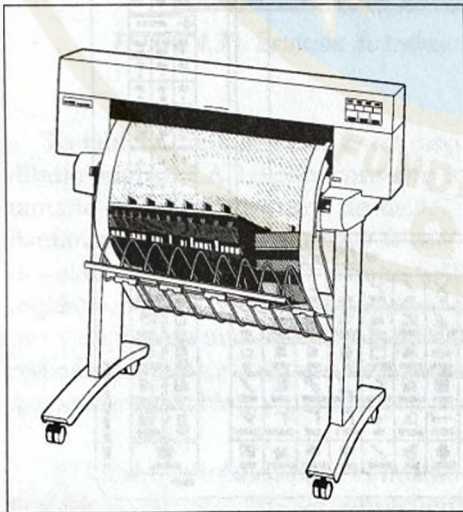


Figura 4.38. Plotter HP DesignJet 455CA

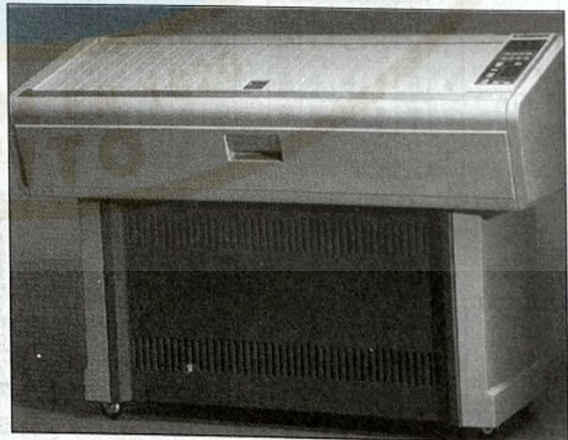


Figura 4.39. Plotter electrostático Intergraph



Figura 4.40. Impresora gráfica EPSON Stylus-1500

Programas CADD

Los programas CADD permiten al computador interactuar con el flujo de información que ingresa a través de los dispositivos de entrada y canaliza la respuesta a través de los dispositivos de salida. Además de los procesos básicos que se enuncian a continuación, los programas permiten también resolver complicados algoritmos para calcular el centro de gravedad de un cono truncado, o generar vistas ortográficas a partir de diseños tridimensionales, o producir listas de elementos usados en el diseño o calcular áreas, longitudes, volúmenes, etc.

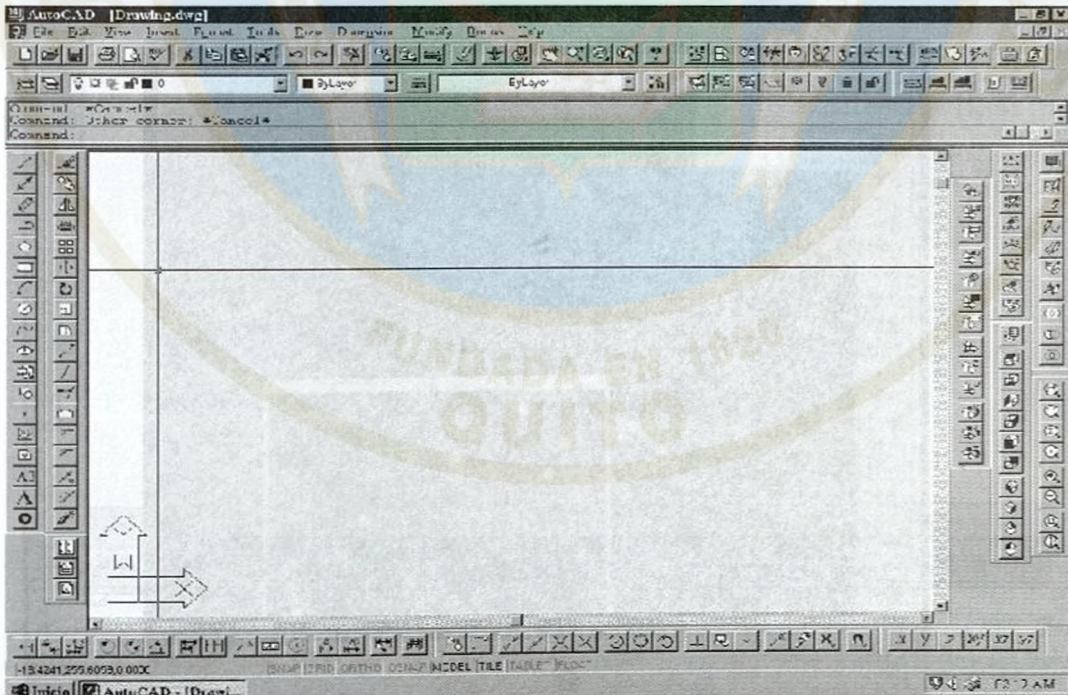


Figura 4.41. Pantalla AutoCAD

Actualmente el programa CADD más difundido a nivel mundial es AutoCAD, producido por Autodesk Inc., del cual se han hecho 20 actualizaciones (hasta 2006) y tiene aproximadamente 5.000.000 de usuarios en el mundo. Le siguen otros programas como MicroStation-95 de Bentley Corp., MicroCadam, de IBM, Cad key, Anvil-5000 y cerca de una centena de productos más. Los programas CAD se usaron inicialmente en aplicaciones para ingeniería mecánica, diseño electrónico, ingeniería civil y cartografía. El campo de acción se ha ido am-

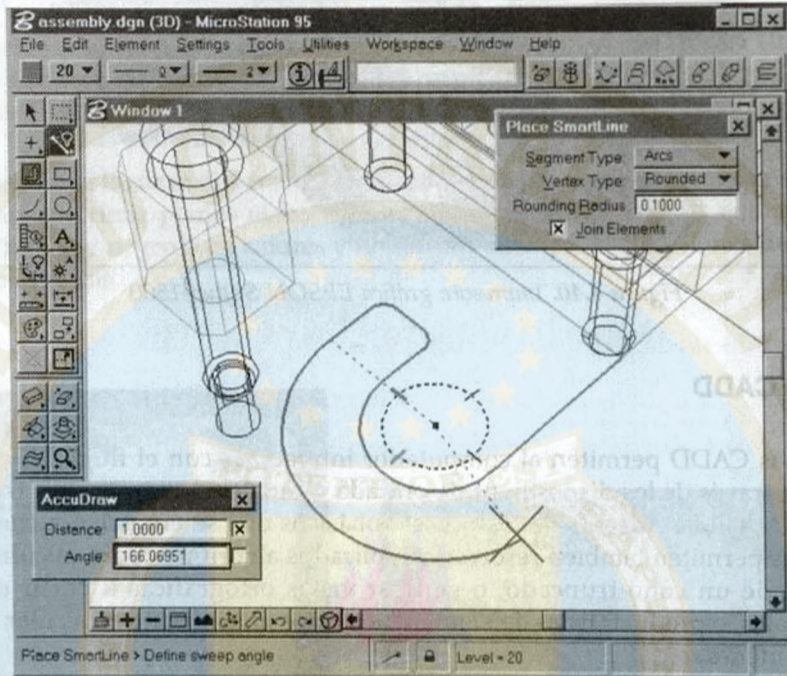


Figura 4.42. Pantalla MicroStation-95

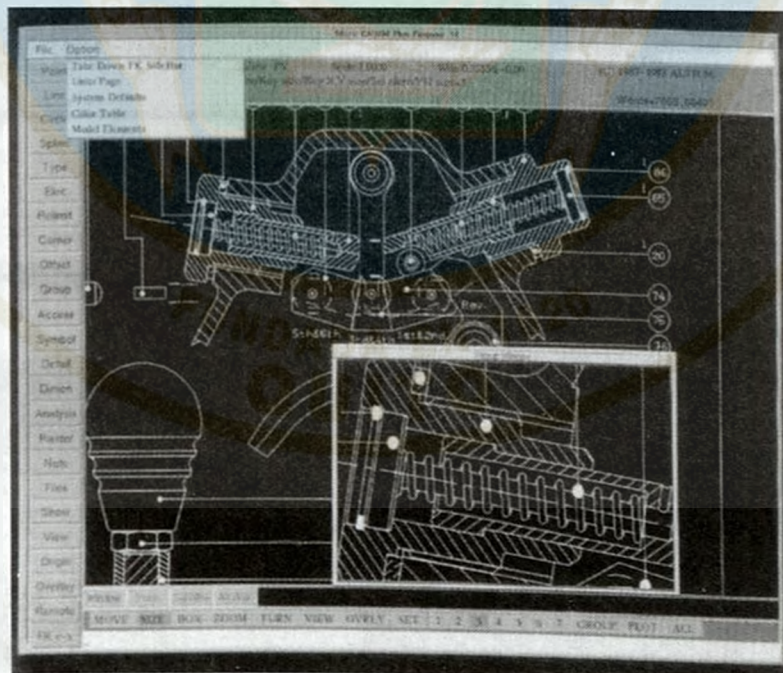


Figura 4.43. Pantalla MicroCadam

pliando al diseño arquitectónico, planeación urbana, análisis demográfico, análisis de elementos finitos, análisis sísmico, etc. Un área relativamente nueva es el procesamiento de imágenes, que incluye animación para los efectos especiales usados en cine y televisión, preparación de películas de 35 mm, manejo de imagen y fotografía a color, generación de letras y caracteres para la industria de la T.V. y las artes gráficas.

Básicamente todos los programas CADD operan con tres características fundamentales:

1. Comandos para los generadores geométricos (construcciones básicas).
2. Funciones para controlar las vistas de los objetos geométricos.
3. Modificadores para efectuar cambios (editar) en los dibujos.

Los comandos o las opciones del menú se seleccionan de tres formas: escribiéndolas con el teclado en la **línea de comandos**, escogiéndolas desde las **barras de herramientas** que contienen los íconos (figuras enmarcadas en cuadros que representan gráficamente los comandos), o tomándolas desde el despliegue de los **menús**, utilizando el *mouse* o el *puck* de la tableta digitalizadora. Se puede cambiar de un sistema a otro en cualquier momento para dar comandos o seleccionar opciones.

Los dibujos CADD se elaboran utilizando sistemas de coordenadas cartesianas, coordenadas polares, coordenadas cilíndricas o coordenadas esféricas, para construir proyecciones bi y tridimensionales.

Las funciones más comunes a todos los programas CADD son:

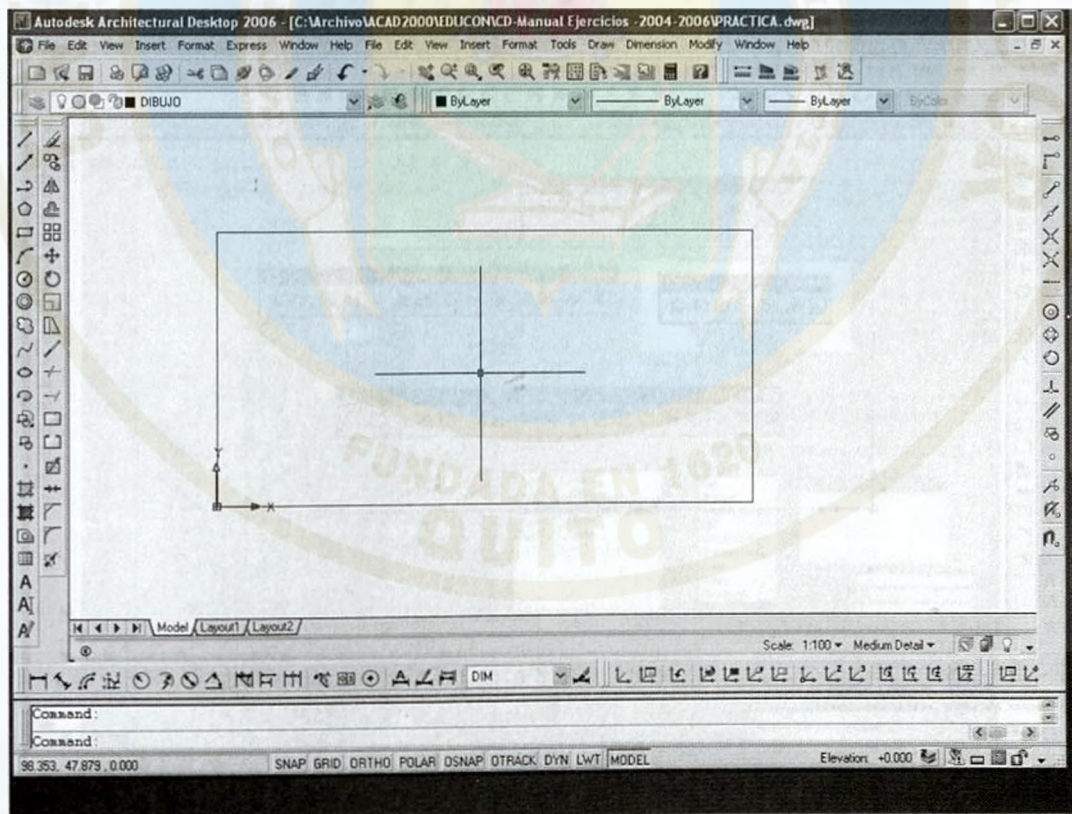


Figura 4.44. Pantalla AutoCAD

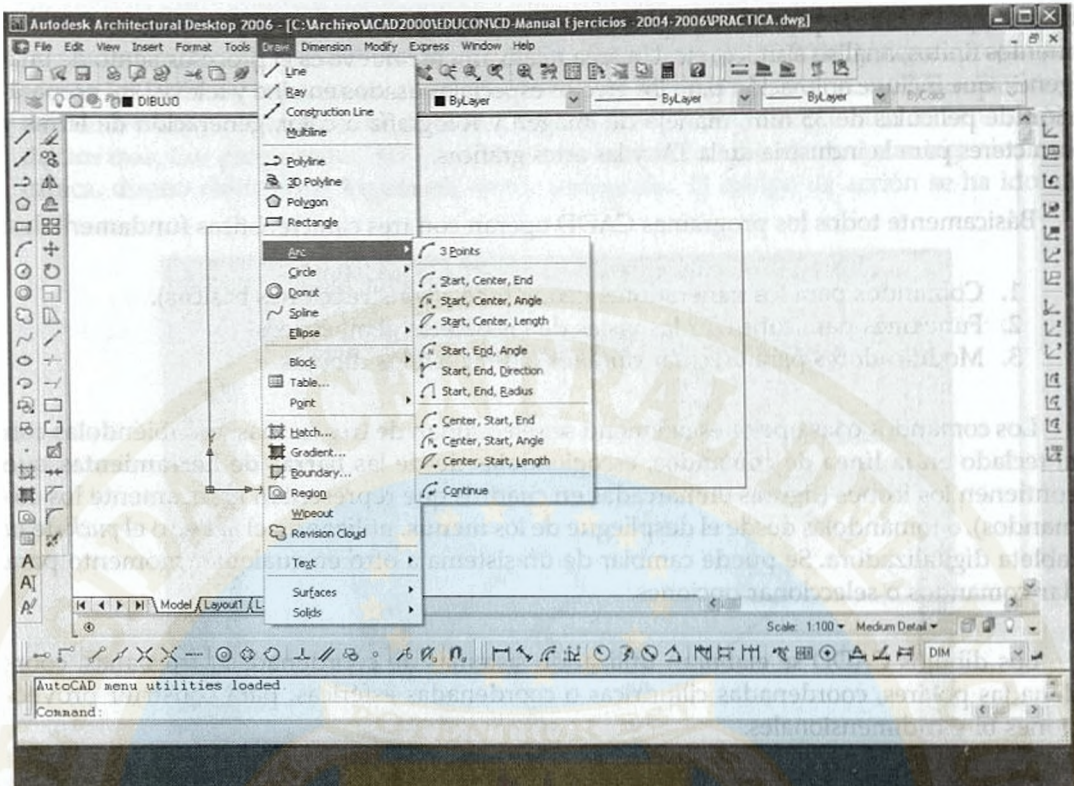


Figura 4.45. Pantalla AutoCAD - Despliegue de menús

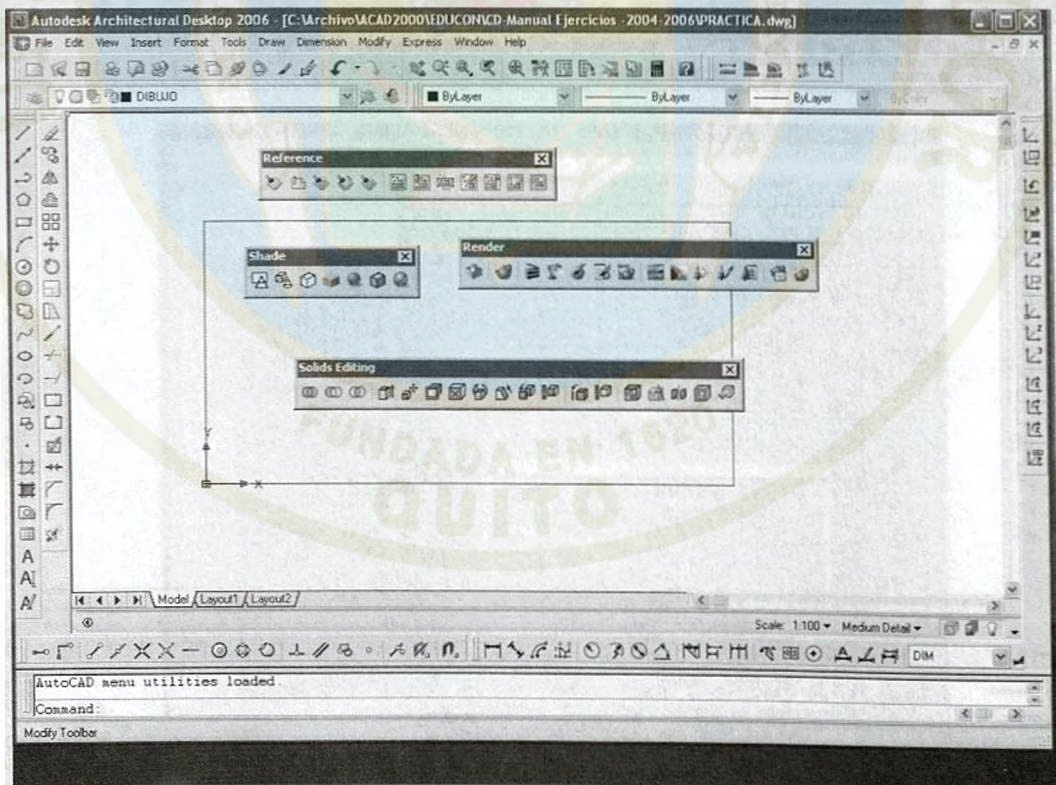


Figura 4.46. Pantalla AutoCAD - Barras de herramientas

1. Dibujar líneas rectas entre puntos dados, formando cualquier ángulo y crear líneas tangentes a uno o más arcos circulares.
2. Dibujar líneas de diferentes formatos: enteras, segmentadas, punteadas, punto-rayapunto, etc.
3. Dibujar círculos, arcos y elipses de cualquier tamaño.
4. Dibujar líneas curvas que se ajusten a puntos dados (*splines*).
5. Hachurar espacios cerrados utilizando diferentes patrones de relleno.
6. Configurar planos a diferentes escalas de impresión y en diferentes tamaños de papel.
7. Efectuar cálculos de áreas, longitudes, momentos de inercia, centros de gravedad, etc., y tabular datos relacionados con los elementos (en CADD se llaman entidades) de los dibujos.
8. Crear grupos de figuras geométricas que se puedan copiar como archivos predeterminados (bloques).
9. Relocalizar elementos de un dibujo a nuevas posiciones (mover y rotar).
10. Editar todo o parte de las figuras geométricas, eliminarlas o redimensionarlas.
11. Crear formas simétricas usando imágenes reflejas.
12. Acotar en sistema métrico, inglés o ambos.
13. Escribir notas y textos utilizando diferentes modelos de letras.
14. Guardar los dibujos dándoles nombres específicos.
15. Crear presentaciones pictóricas a base de dibujos tridimensionales (isométricas o perspectivas).
16. Crear vistas ortográficas a base de proyecciones tridimensionales.
17. Dar color y textura a las superficies de los sólidos (renderizar) y manipular efectos luminosos para simular situaciones reales de luz y sombra.
18. Importar (copiar) dibujos desde archivos externos.
19. Incorporar tablas y bases de datos creadas con otros programas.
20. Exportar dibujos CAD a otros programas; ejemplo, a Word de Microsoft.

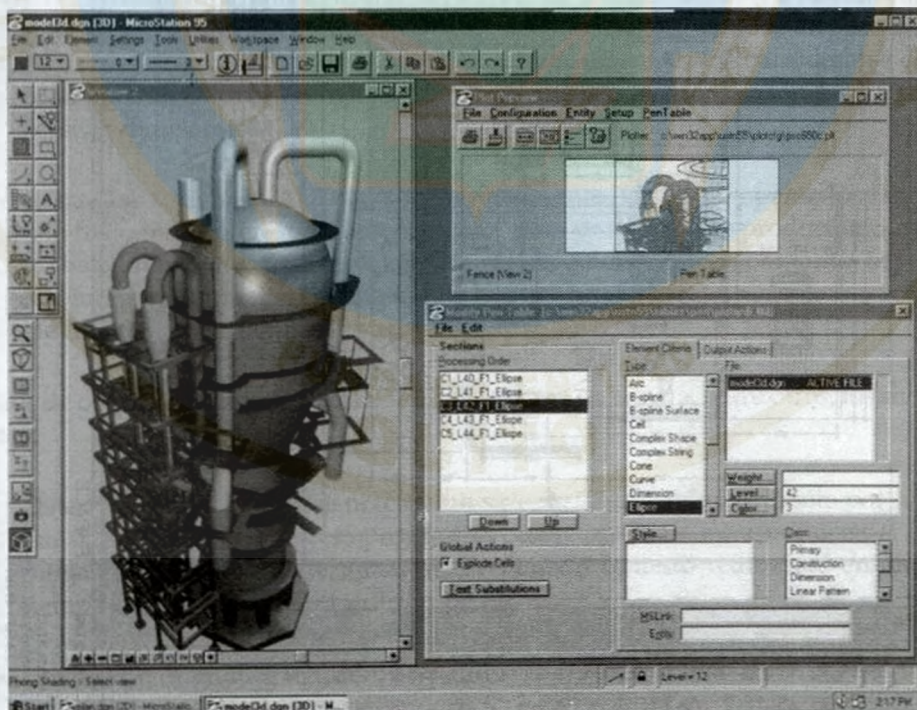


Figura 4.47. Ejemplo de proyección tridimensional (cortesía de Intergraph Corp.)

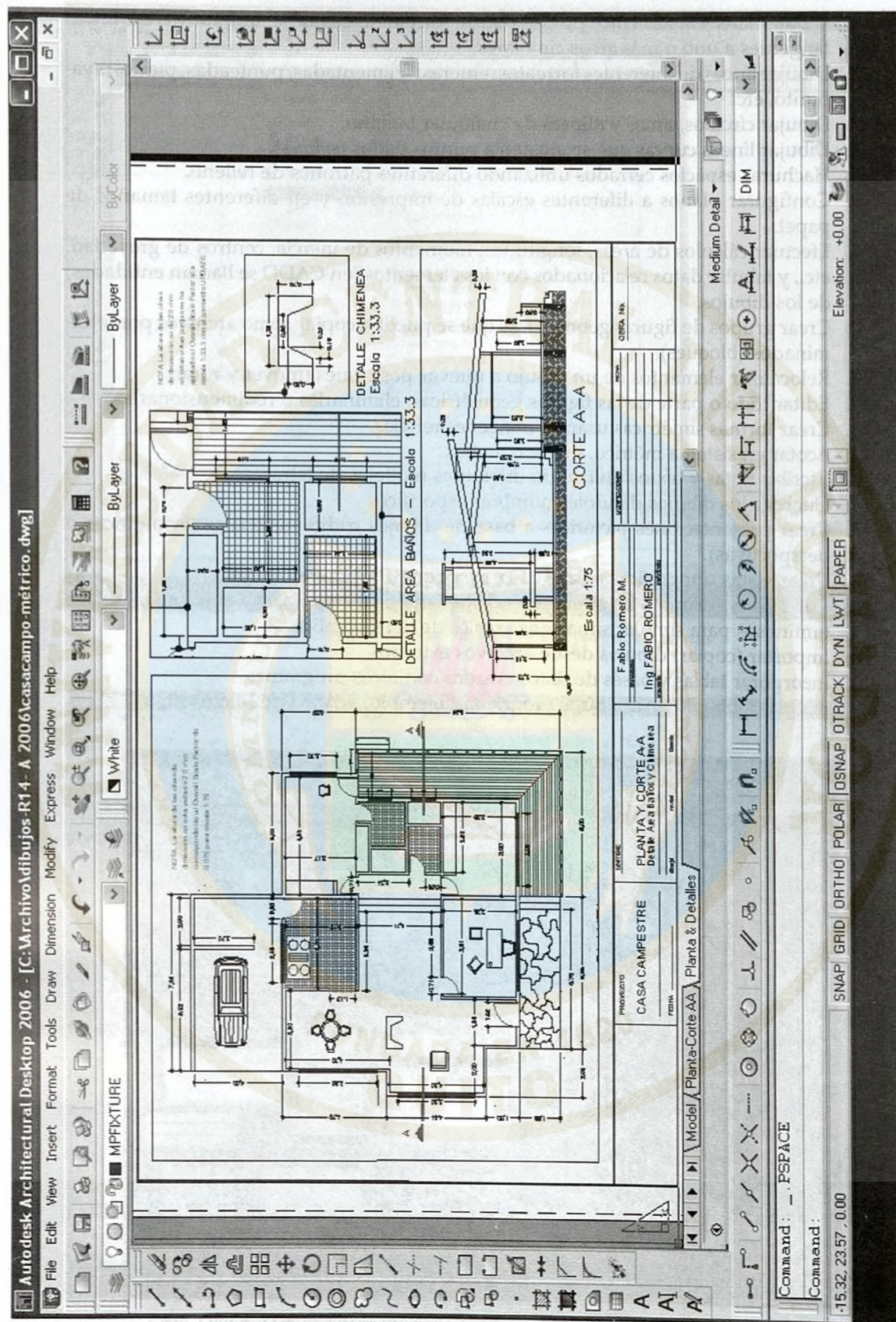


Figura 4.48. Plano arquitectónico

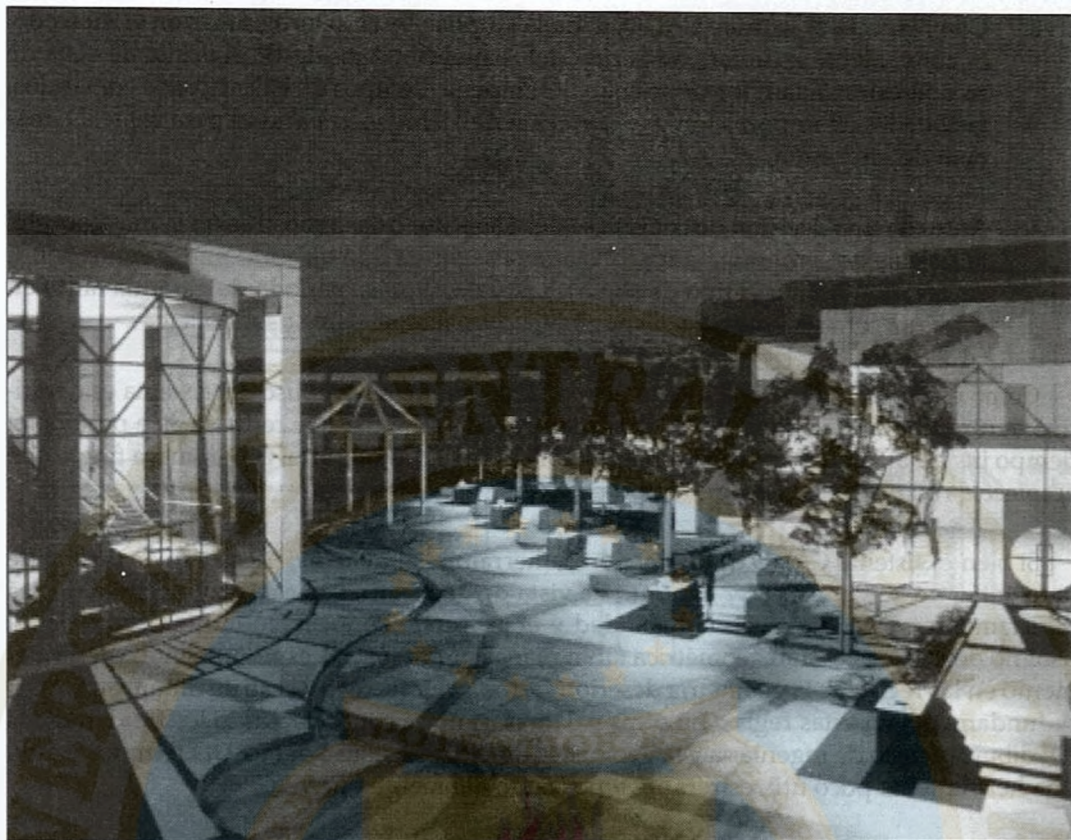


Figura 4.49. Figura renderizada (cortesía de Intergraph Corp.)

La selección de un programa CADD se debe estudiar cuidadosamente teniendo en cuenta las necesidades particulares del trabajo a desarrollar y lo que se espera de él, pues cualquiera de ellos es costoso y por tanto la relación costo/rendimiento debe considerarse con mucha seriedad para no incurrir en una selección inapropiada cuya inversión pueda perderse o salir excesivamente costosa.

Puesto que los sistemas CADD no son, generalmente, fáciles de operar, los fabricantes utilizan con frecuencia el término “uso amigable” para promover sus productos. Sin embargo, en esto hay tendencia a exagerar lo que el programa puede hacer; por tanto, hay que ser muy precavido para no caer en el engaño de la publicidad lanzándose a comprar un programa que finalmente no llene las expectativas.

Antes de comprar un sistema CADD se deben tener en cuenta, entre otros, los siguientes aspectos:

1. Determinar si realmente se necesita un sistema CADD. Adquirirlo sólo por *snob* para dar una imagen de empresa progresista puede resultar contraproducente. En definitiva es importante determinar si el sistema propuesto redundará en ahorro de tiempo en diseño, dibujo y edición de planos.
2. Considerar diferentes marcas de equipos, estudiando su rendimiento y sistema operacional, especialmente si se espera utilizar el equipo en programas diferentes a CADD, como, por ejemplo, procesamiento de textos o bases de datos.

3. Con respecto al *software* CADD, dada la amplia oferta de programas en el mercado, es conveniente estudiar varios productos analizándolos desde el punto de vista de su operacionalidad, funciones que desempeña, tiempos de ejecución de comandos, facilidades de importación y exportación de archivos, capacidad para 2D y 3D, manejo de impresión, etc.
4. Antes de una decisión de compra se debe solicitar una demostración lo más completa posible del programa para constatar si se ajusta a lo ofrecido por el vendedor. A su vez, determinar el tipo de soporte, actualizaciones, período de garantía tanto en *hardware* como en *software*, disponibilidad de manuales de usuario, etc.

Como el tiempo de entrenamiento del personal que va a hacer uso del sistema es definitivo dentro del estudio de costos, debe buscarse un programa que reduzca este período al tiempo justo para adquirir una razonable habilidad en el manejo del programa, a fin de que empiece a reeditar en el menor tiempo posible.

Si bien el sistema CADD es una poderosa herramienta dentro del proceso de diseño de ingeniería, no hay que perder el punto de vista de que, al fin y al cabo, su efectividad está directamente relacionada con la habilidad y el profundo conocimiento que debe tener el usuario de la construcción geométrica tanto plana como espacial, especialmente con fundamento en las reglas de la geometría descriptiva, toda vez que el proceso de dibujo en CADD se fundamenta en estas reglas. En otras palabras, si no se conoce a fondo los fundamentos del dibujo técnico de ingeniería y la geometría descriptiva, el uso del CADD termina siendo una herramienta poco útil, estresante y por tanto altamente onerosa.

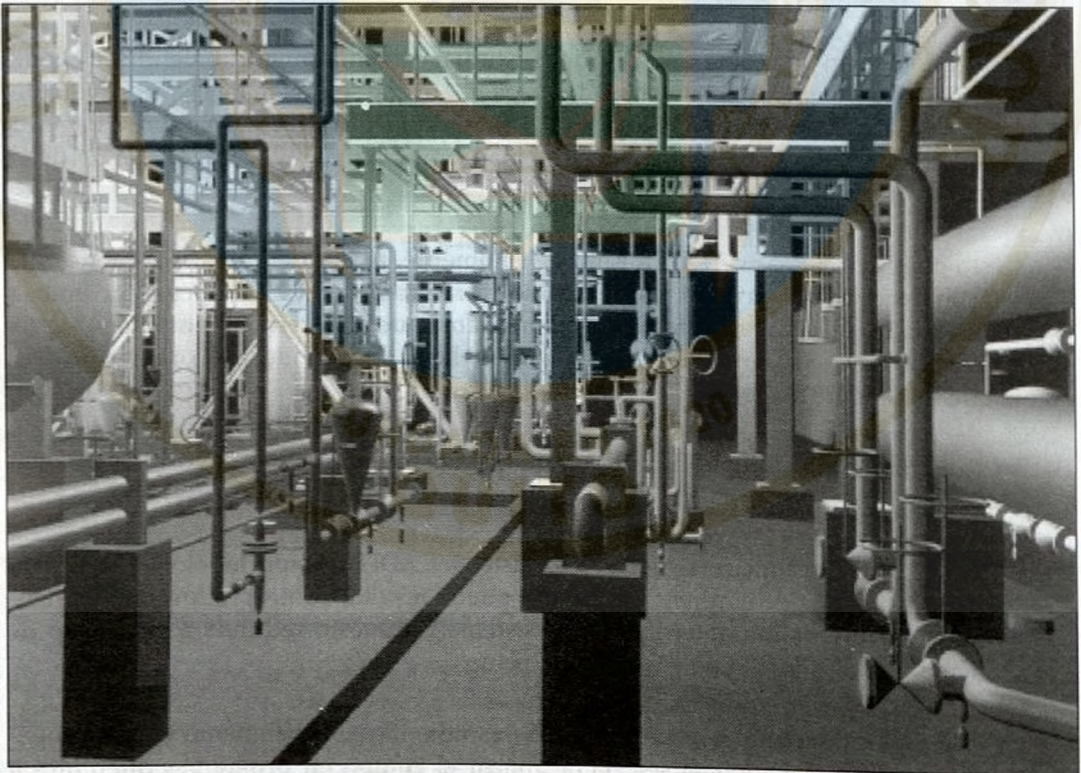


Figura 4.50. Diseño de planta industrial elaborado con Plan Design System

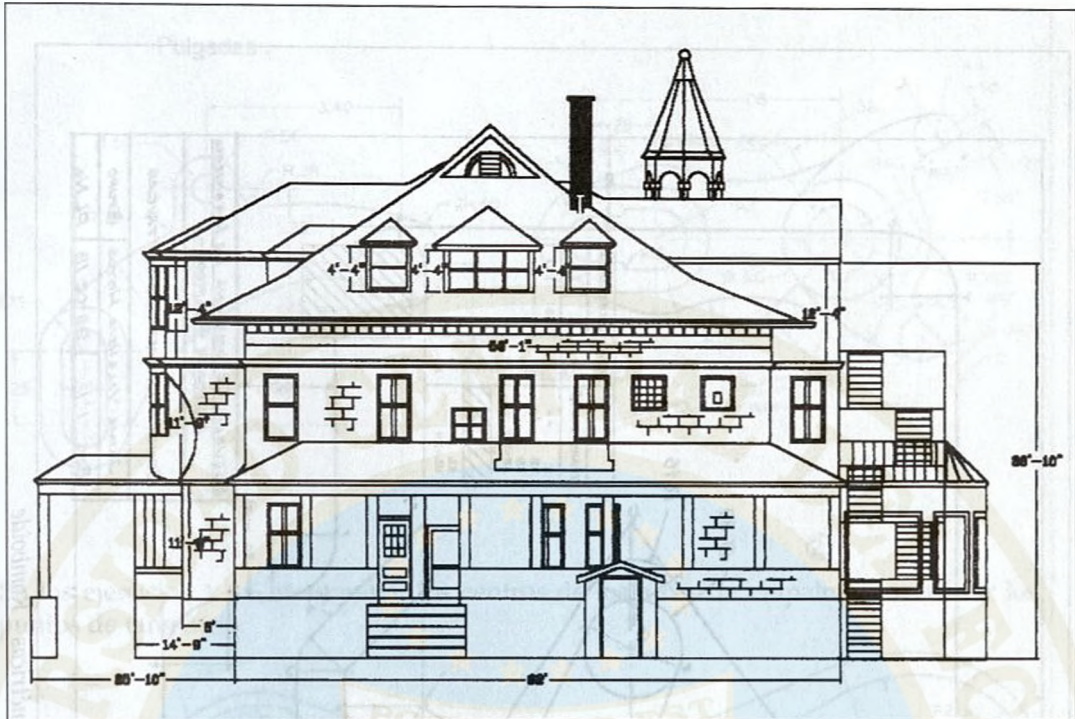


Figura 4.51. Fachada de una vivienda

Uso de programas CAD

La totalidad de los ejercicios de práctica de este libro pueden desarrollarse tanto manualmente como utilizando algún programa de dibujo asistido por computador.

Dado que AutoCAD es el programa de mayor utilización a nivel mundial para diseño técnico, se recomienda usar este programa para el desarrollo de los ejercicios, lo que permite al estudiante adquirir un buen dominio del mismo, condición necesaria para el desempeño profesional, toda vez que en la práctica profesional todos los proyectos o trabajos de diseño tanto en ingeniería como en arquitectura o diseño gráfico e industrial se desarrollan exclusivamente en programas CADD.

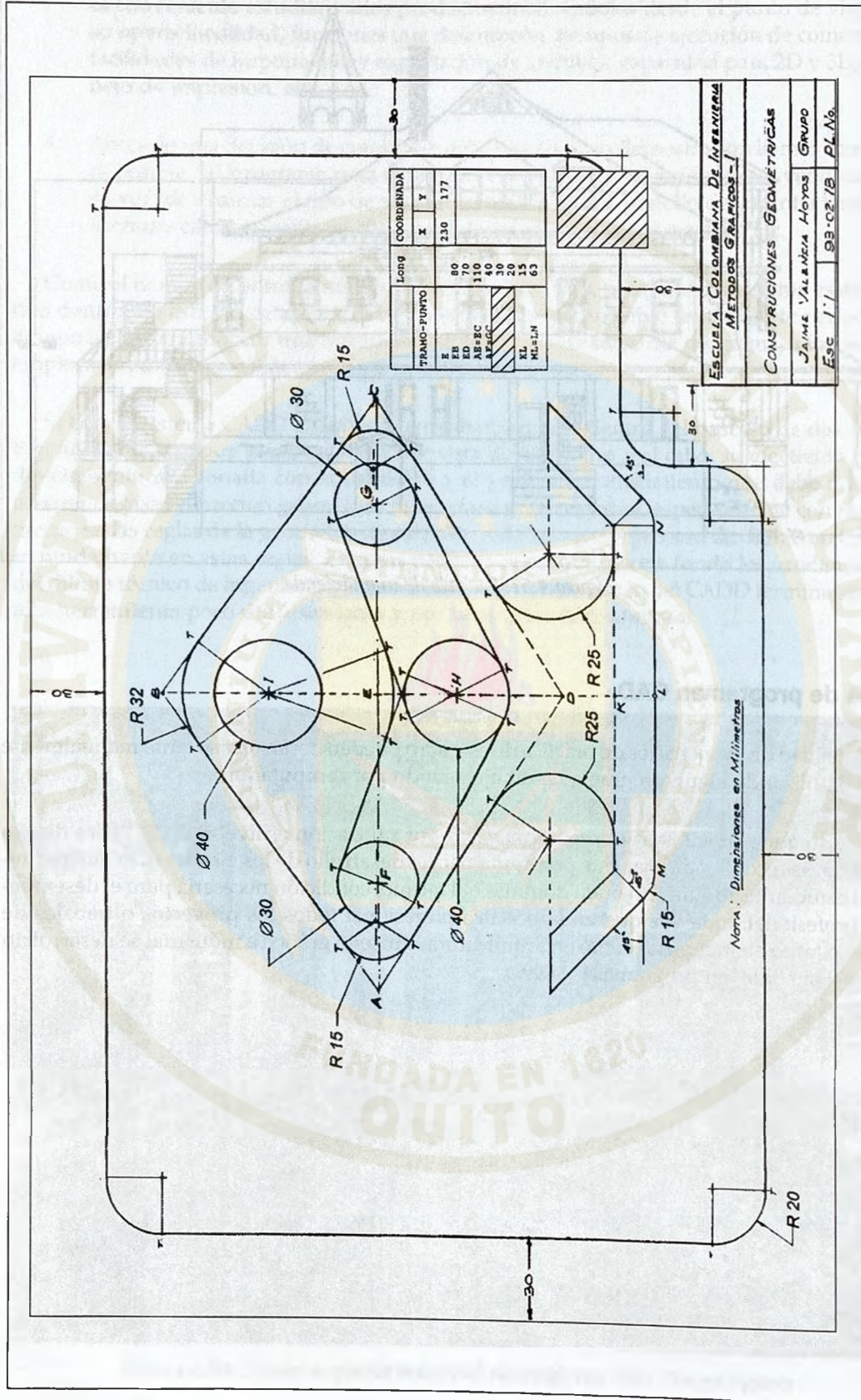


Figura 4.52. Ejercicios de construcciones geométricas - Romboide

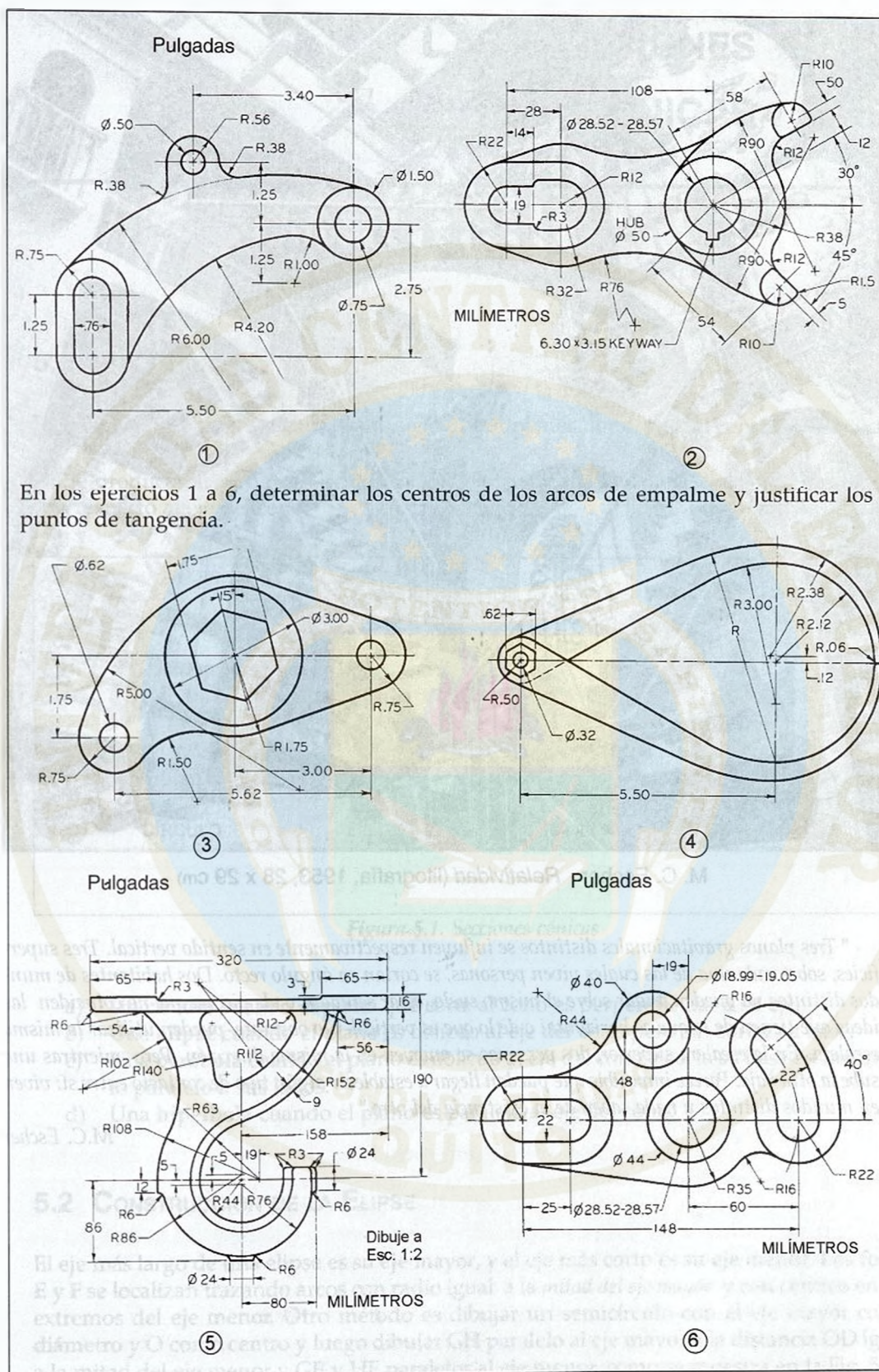
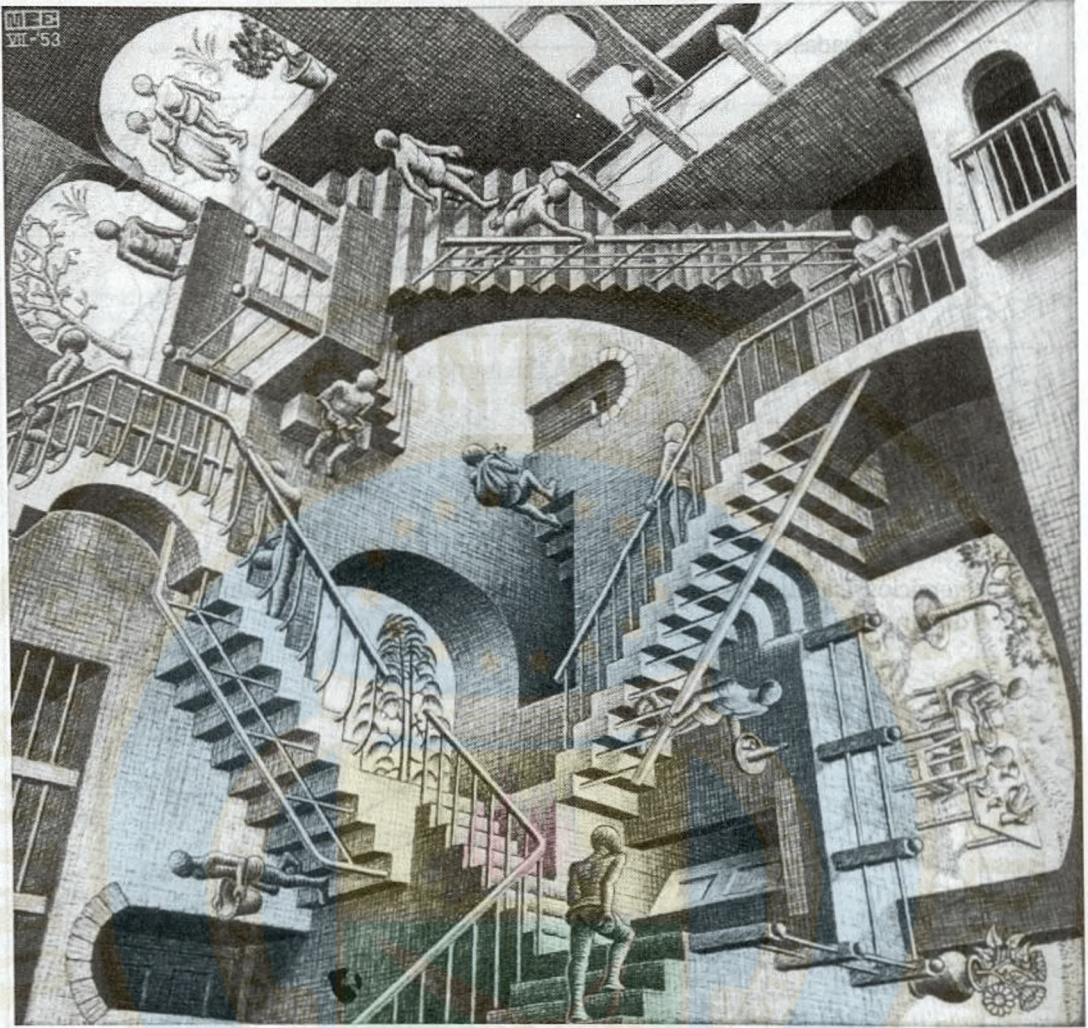


Figura 4.53. Ejercicios de construcciones geométricas II (T. D. Giesecke)



M. C. Escher - *Relatividad* (litografía, 1953, 28 x 29 cm)

" Tres planos gravitacionales distintos se influyen respectivamente en sentido vertical. Tres superficies, sobre cada una de las cuales viven personas, se cortan en ángulo recto. Dos habitantes de mundos distintos no pueden andar sobre el mismo suelo, estar sentados o de pie, ya que no coinciden las ideas que tienen de lo que es horizontal o de lo que es vertical. No obstante, pueden utilizar la misma escalera. En la escalera superior, dos personas se mueven en la misma dirección. Pero mientras una sube la otra baja. Parece imposible que puedan llegar a establecer algún tipo de contacto entre sí: viven en mundos distintos y nada saben de la existencia del otro."

M.C. Escher

LAS SECCIONES CÓNICAS

5

5.1 DEFINICIÓN

Las secciones cónicas son curvas producidas por planos que cortan el cono circular recto.

Se producen cuatro tipos de curvas, dependiendo de la inclinación del plano cortante con respecto al eje del cono:

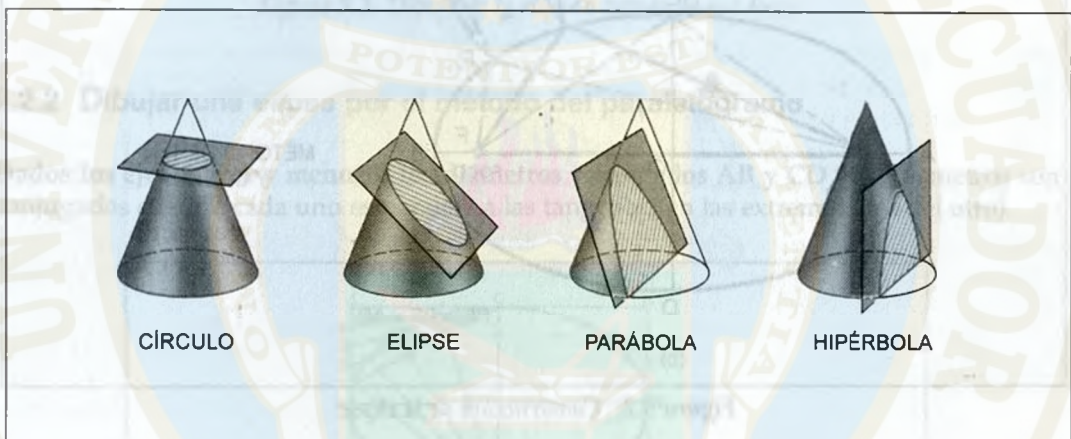


Figura 5.1. Secciones cónicas

- Un **círculo** cuando el plano que corta al cono es perpendicular a su eje.
- Una **elipse** cuando el plano es oblicuo al eje del cono pero sin cortar su base.
- Una **parábola** cuando el plano es oblicuo al eje del cono y corta su base en un ángulo paralelo a sus lados.
- Una **hipérbola** cuando el plano es paralelo al eje del cono.

5.2 CONSTRUCCIÓN DE LA ELIPSE

El eje más largo de una elipse es su **eje mayor**, y el eje más corto es su **eje menor**. Los **focos E y F** se localizan trazando arcos con radio igual a la *mitad del eje mayor* y con centros en los extremos del eje menor. Otro método es dibujar un **semicírculo** con el eje mayor como diámetro y O como centro y luego dibujar GH paralelo al eje mayor a la distancia OD igual a la mitad del eje menor y GE y HF paralelos al eje menor, como se muestra en la Fig. 5.2.

La elipse es el lugar geométrico de un punto que se mueve de tal manera que la suma de sus distancias desde dos puntos fijos (los focos) es constante e igual al eje mayor.

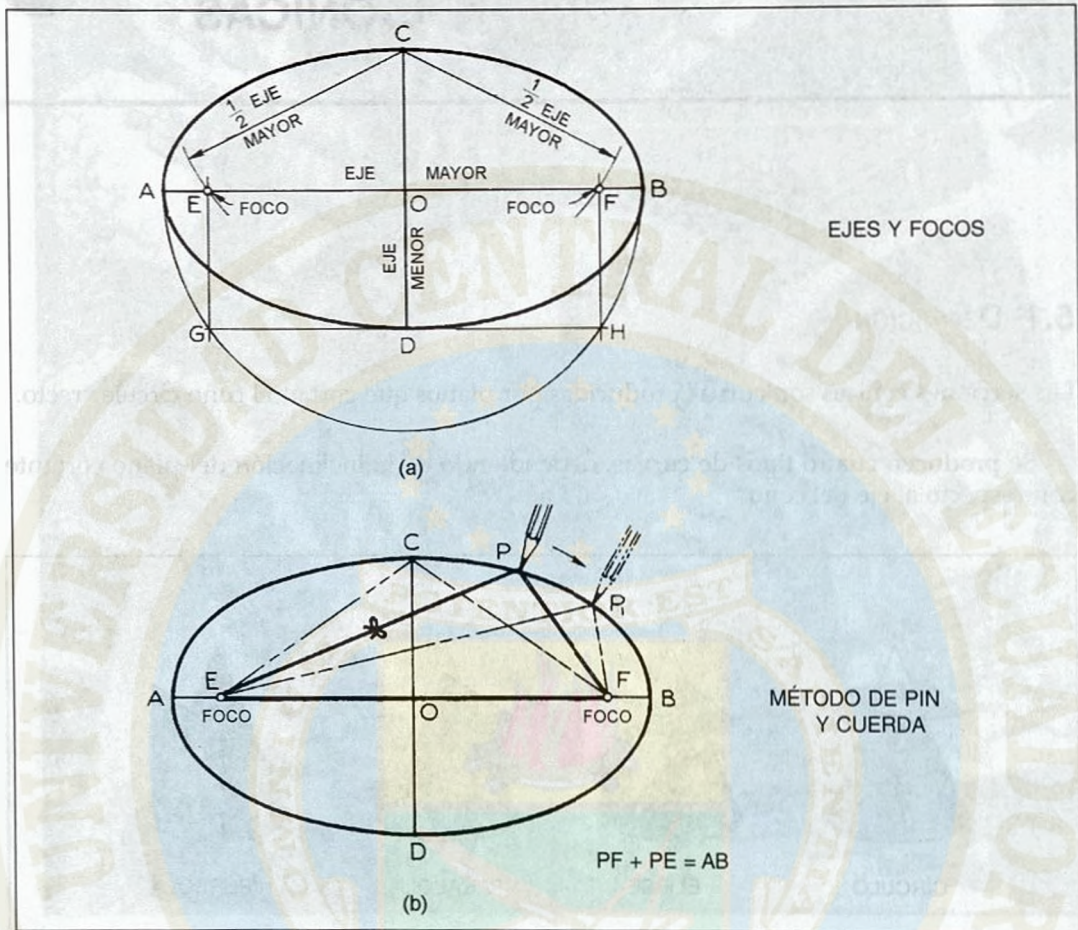


Figura 5.2. Construcción de la elipse

5.2.1 Dibujar una elipse a partir de sus focos

Sean AB el eje mayor y CD el eje menor.

- I. Para hallar los focos E y F, trace los arcos R con radio igual a la mitad del eje mayor con centro en los extremos del eje menor.
- II. Entre E y O sobre el eje mayor, marque al azar un número de puntos cualquiera en cada cuadrante de la elipse. En la figura se marcaron cinco puntos. Para elipses más grandes se debe marcar mayor número de puntos, para asegurar una curva suave y exacta. Empiece la construcción con uno de estos puntos, tal como 3. Con E y F como centros y A3 y B3 como radios respectivamente (desde los extremos del eje mayor al punto 3), trace los arcos que se cortan en los cuatro puntos 3', como se muestra en la figura. Usando los puntos restantes 1, 2, 4 y 5, para cada uno de ellos halle cuatro puntos adicionales en la elipse de manera similar.
- III. Trace a mano una línea suave uniendo dichos puntos. Luego dibuje la línea definitiva sobre la anterior utilizando un curvógrafo.

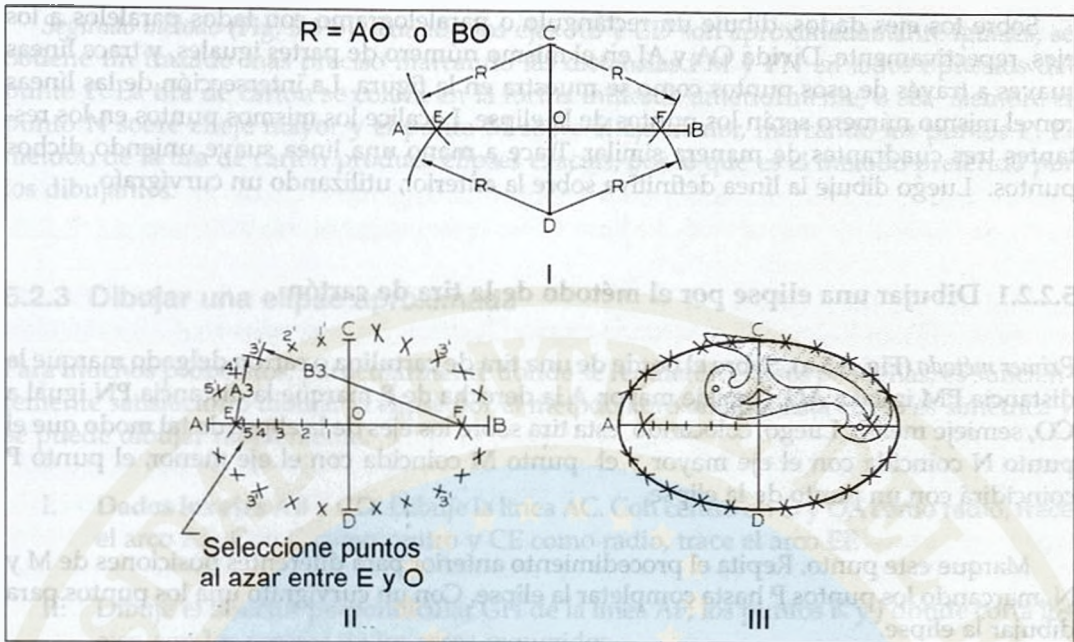


Figura 5.3. Dibujo de la elipse a través de sus focos

5.2.2 Dibujar una elipse por el método del paralelogramo

Dados los ejes mayor y menor, o los diámetros conjugados AB y CD (dos diámetros son conjugados cuando cada uno es paralelo a las tangentes en las extremidades del otro).

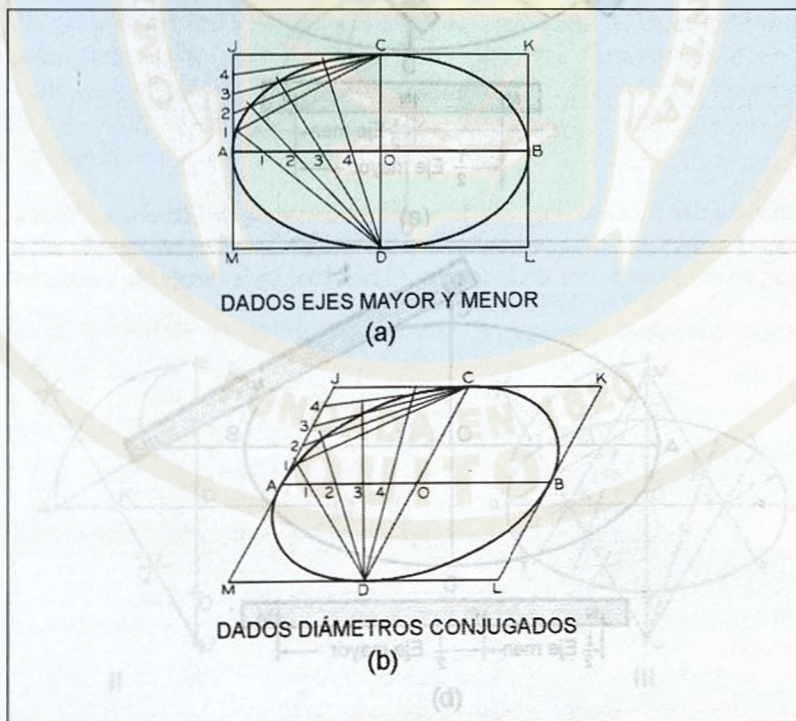


Figura 5.4. Dibujo de la elipse por el paralelogramo

Sobre los ejes dados, dibuje un rectángulo o paralelogramo con lados paralelos a los ejes, repectivamente. Divida OA y AJ en el mismo número de partes iguales, y trace líneas suaves a través de esos puntos como se muestra en la figura. La intersección de las líneas con el mismo número serán los puntos de la elipse. Localice los mismos puntos en los restantes tres cuadrantes de manera similar. Trace a mano una línea suave uniendo dichos puntos. Luego dibuje la línea definitiva sobre la anterior, utilizando un curvógrafo.

5.2.2.1 Dibujar una elipse por el método de la tira de cartón

Primer método (Fig. 5.5 a). Sobre el borde de una tira de cartulina o cartón delgado marque la distancia PM igual a AO, semieje mayor. A la derecha de P marque la distancia PN igual a CO, semieje menor. Luego, colocando esta tira sobre los ejes de la elipse de tal modo que el punto N coincida con el eje mayor y el punto M coincida con el eje menor, el punto P coincidirá con un punto de la elipse.

Marque este punto. Repita el procedimiento anterior para diferentes posiciones de M y N, marcando los puntos P hasta completar la elipse. Con un curvógrafo una los puntos para dibujar la elipse.

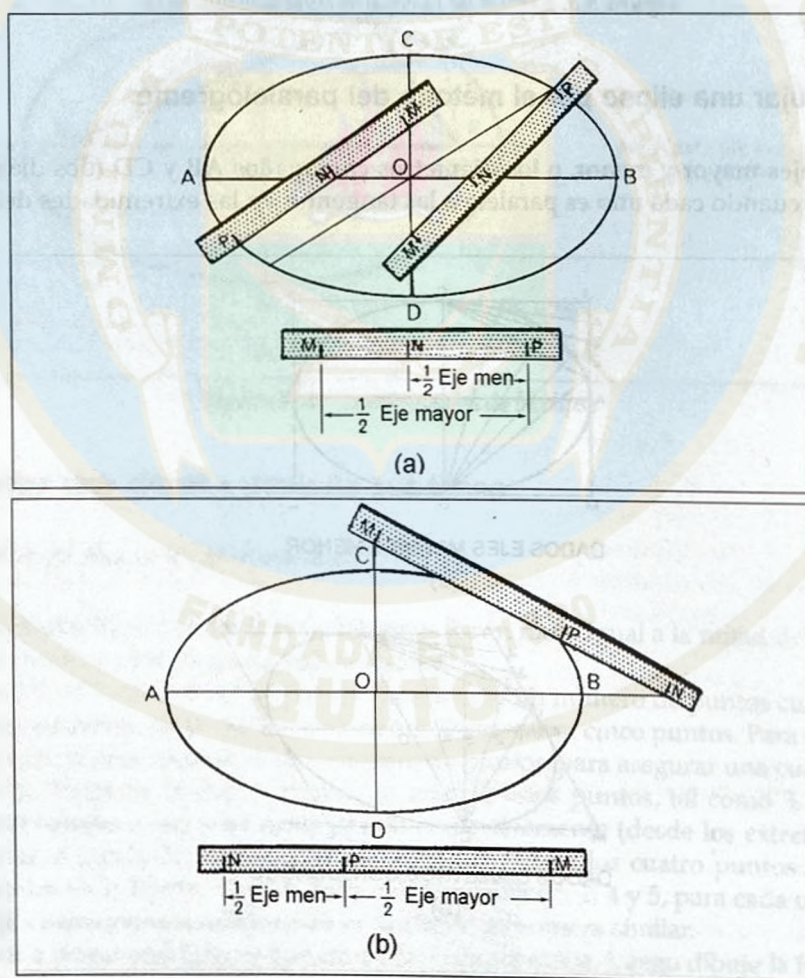


Figura 5.5. Dibujo de la elipse por el método de la tira de cartón

Segundo método (Fig. 5.5 b). Cuando los ejes AB y CD son aproximadamente iguales, se obtiene un trazado más preciso marcando las distancias PM y PN en lados opuestos del punto P. La tira de cartón se coloca en la forma indicada anteriormente, o sea siempre el punto N sobre el eje mayor y el punto M sobre el eje menor, marcando los puntos P. El método de la tira de cartón produce elipses exactas, por lo que es el método preferido por los dibujantes.

5.2.3 Dibujar una elipse aproximada

Para muchos propósitos, particularmente donde se requieren elipses pequeñas, es suficientemente satisfactorio dibujar la elipse por el método aproximado. Esta elipse es simétrica y se puede dibujar rápidamente.

- I. **Dados los ejes AB y CD.** Dibuje la línea AC. Con centro en O y OA como radio, trace el arco AE. Con C como centro y CE como radio, trace el arco EF.
- II. Dibuje el bisector perpendicular GH de la línea AF; los puntos K y J donde corta los ejes, son los centros de los arcos requeridos.
- III. Encuentre los centros M y L haciendo $OL = OK$ y $OM = OJ$. Usando los centros K, L, M y J, dibuje arcos circulares como se muestra en la figura. Los puntos de tangencia T están en las uniones de los arcos sobre las líneas que unen los centros.

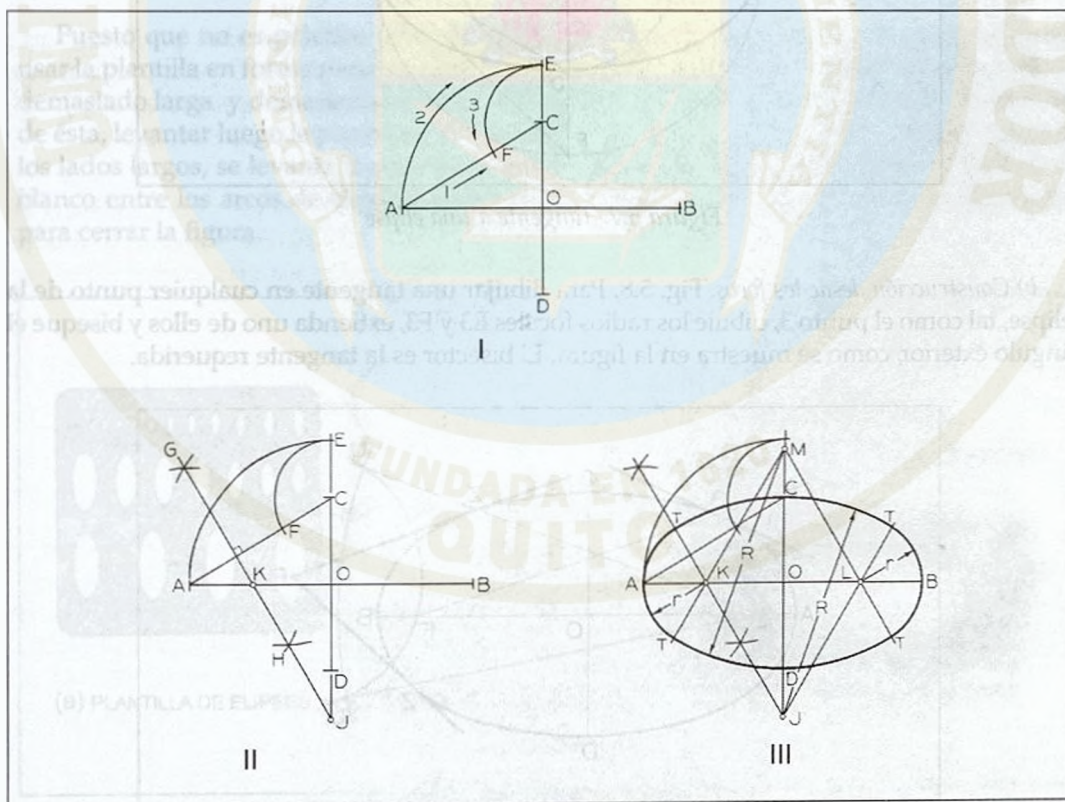


Figura 5.6. Dibujo de la elipse aproximada

5.2.4 Dibujar la tangente a una elipse

a) *Construcción en la elipse concéntrica.* Fig. 5.7. Con centro en O y radio igual al semieje mayor, trace un círculo. Luego, con el mismo centro trace un círculo con radio igual al semieje menor. Para dibujar una tangente en cualquier punto de la elipse, como E, dibuje la ordenada en E que corta el círculo mayor en V. Dibuje una tangente al círculo en V y extiéndala hasta que corte el eje mayor en G. La línea GE es la tangente requerida.

Para dibujar una tangente desde un punto exterior a la elipse, como P, trace la línea DP que corta a OY en X. Trace FX y extiéndala hasta Q; dibuje la perpendicular PY y extiéndala hasta cortar la ordenada a través de P en Q. Por triángulos semejantes se sabe que, $QY:PY = OF:OD$. Dibuje la tangente al círculo mayor que pasa por Q, halle el punto de tangencia R, y trace la ordenada en R que corta la elipse en Z. La línea ZP es la tangente requerida. Como comprobación, las tangentes RQ y ZP se deben cortar en un punto sobre el eje mayor extendido. Desde el punto P se pueden trazar dos tangentes a la elipse.

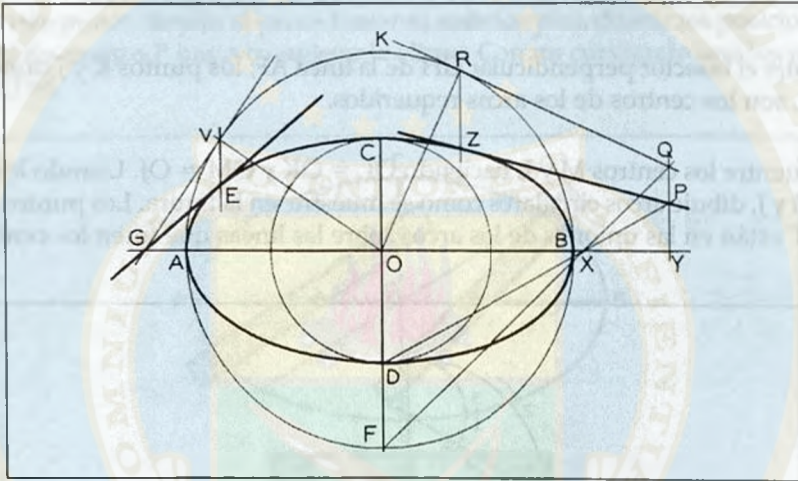


Figura 5.7. Tangente a una elipse

b) *Construcción desde los focos.* Fig. 5.8. Para dibujar una tangente en cualquier punto de la elipse, tal como el punto 3, dibuje los radios focales E3 y F3, extienda uno de ellos y biseque el ángulo exterior, como se muestra en la figura. El bisector es la tangente requerida.

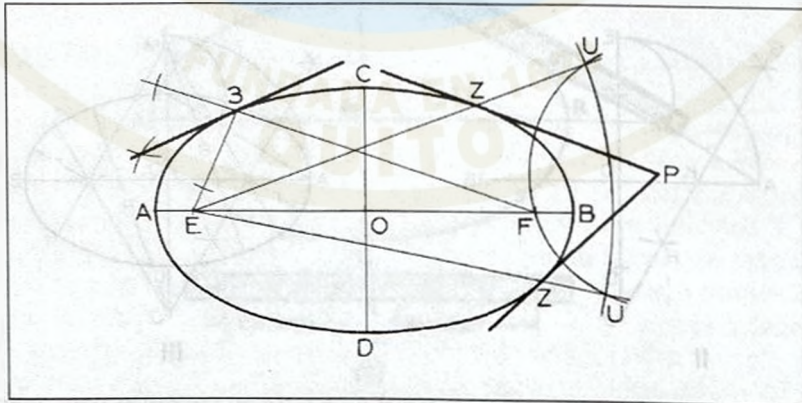


Figura 5.8. Tangente a una elipse

Para dibujar la tangente desde un punto exterior a la elipse, tal como el punto P, con centro en P y radio PF, trace un arco como se indica. Con centro en E y radio AB, trace un arco para cortar el primer arco en los puntos U. Dibuje las líneas EU para cortar la elipse en los puntos Z. Las líneas PZ son las tangentes requeridas.

5.2.5 La plantilla de elipses

Para ahorrar tiempo en el dibujo de las elipses y asegurar resultados uniformes, se usan con mucha frecuencia las plantillas de elipses. La guía de elipses se designa usualmente por el **ángulo de la elipse**, o ángulo de inclinación del plano del círculo que se ve como elipse.

En la Fig. 5.9 (b), el ángulo entre la visual y la vista de filo del plano del círculo es de aproximadamente 49° ; por tanto se debe usar una plantilla de elipses de 50° . Las plantillas de elipses, usualmente vienen en ángulos con intervalos de 5° , como $15^\circ, 20^\circ, 25^\circ$, etc. Cada plantilla trae elipses de diferentes tamaños para el mismo ángulo de inclinación, por lo que sólo se necesita seleccionar aquella cuyo tamaño se ajusta más exactamente a las dimensiones del dibujo. Si el ángulo de la elipse no se puede determinar fácilmente, se debe usar la elipse de ángulo más aproximado.

En (c) se muestra un método para encontrar el ángulo de la elipse, cuando éste se desconoce. Con centro en O, trace el arco BF; luego trace CE paralela al eje mayor. Dibuje la diagonal OE, y mida el ángulo EOB con el transportador. Use la plantilla de ángulo más cercano a éste; en este caso una de 35° .

Puesto que no es práctico tener plantillas de elipses para todos los ángulos, se puede usar la plantilla en forma parecida a un curvógrafo. Por ejemplo, si la elipse de la plantilla es demasiado larga y demasiado plana para la elipse requerida, se puede dibujar un extremo de ésta, levantar luego la plantilla y dibujar el otro extremo. Similarmente, se dibuja uno de los lados largos, se levanta la plantilla y se dibuja el otro, dejando un pequeño espacio en blanco entre los arcos de elipse que después se completan a mano, o con un curvógrafo, para cerrar la figura.

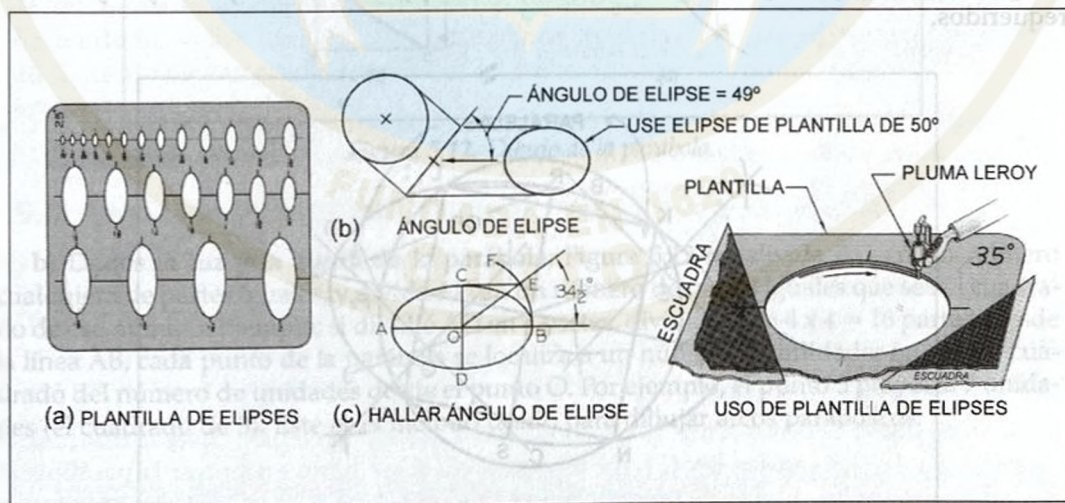


Figura 5.9. Plantilla de elipses

5.2.6 Determinar el eje menor de una elipse

Dados el eje mayor AB y cualquier otro diámetro CD, por el punto O dibuje una perpendicular al eje mayor AB. Con $\frac{1}{2} AB$ como radio y centro en C (o D), trace un arco que corte la perpendicular en E. Dibuje la línea CE para intersectar el eje mayor en G. El semieje menor OH y OK es igual a CG.

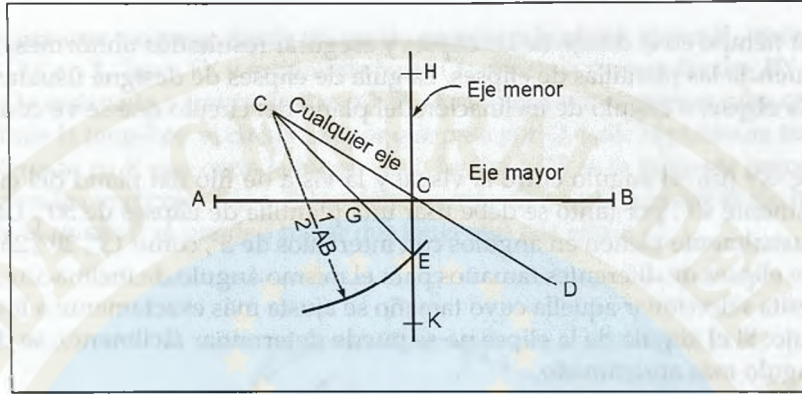


Figura 5.10. Hallar el eje menor de una elipse

5.2.7 Localizar los ejes de una elipse

Dada únicamente la curva de la elipse, dibuje cualquier par de cuerdas paralelas que intersecten la elipse en A y B y en C y D. Biseque las cuerdas AB y CD para localizar sus puntos medios E y G. Dibuje la línea EG y extiéndala para intersectar la elipse en H y J. HJ es un diámetro de la elipse, y el punto O, su punto medio, es el centro de la elipse.

Con O como centro y cualquier radio conveniente, dibuje un círculo para intersectar la elipse en los puntos K, L, M y N que forman el rectángulo KLMN. Por el punto O dibuje PQ paralelo a KL, y RS paralelo a KN. Las líneas PQ y RS son los ejes mayor y menor requeridos.

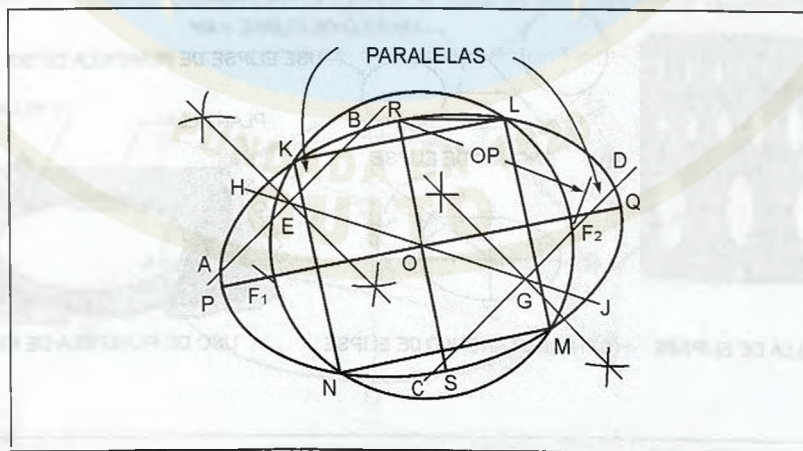


Figura 5.11. Localizar los ejes de una elipse

5.3 DIBUJAR UNA PARÁBOLA

La curva de intersección entre un cono circular recto y un plano paralelo a uno de sus elementos es una parábola. *Una parábola es el lugar geométrico de un punto que se mueve de tal forma que sus distancias desde un punto fijo, llamado foco, y una línea fija, llamada directriz, permanecen iguales.*

a) Dados el foco y la directriz, dibuje la línea DE paralela a la directriz a cualquier distancia CZ de ella. Con centro en F y radio CZ, trace arcos que corten la línea DE en los puntos Q y R que son puntos de la parábola. Determine tantos puntos adicionales como sea necesario para dibujar la parábola exactamente, dibujando líneas adicionales paralelas a la línea DE y procediendo de manera similar.

La tangente a la parábola en cualquier punto G biseca el ángulo formado por la línea focal FG y la línea SG perpendicular a la directriz.

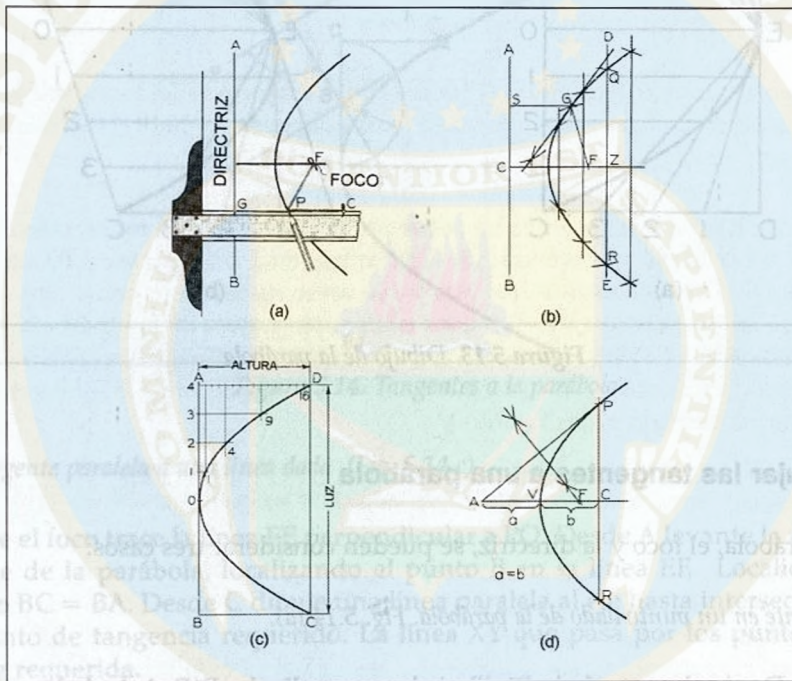


Figura 5.12. Dibujo de la parábola

b) Dados la luz y la altura de la parábola, Figura 5.12 (c), divida AO en un número cualquiera de partes iguales, y divida AD en un número de partes iguales que sea el cuadrado de ese número. Ejemplo; si dividió AO en 4 partes, divida AD en $4 \times 4 = 16$ partes. Desde la línea AB, cada punto de la parábola se localiza a un número de unidades iguales al cuadrado del número de unidades desde el punto O. Por ejemplo, el punto 3 proyecta 9 unidades (el cuadrado de 3). Este es el método usado para dibujar arcos parabólicos.

c) Dados los puntos P, R y V de una parábola, hallar su foco F, Figura 5.12 (d). Dibuje la tangente en P, haciendo $a = b$. Dibuje el bisector perpendicular de AP, el cual corta el eje en F, que es el foco de la parábola.

Figura 5.13 (a) y (b). Dados el rectángulo o paralelogramo ABCD, divida BC en un número cualquiera par de partes iguales, y divida los lados AB y DC, cada uno en partes iguales a la mitad del anterior, y dibuje las líneas como se indica. La intersección de las líneas de numeración igual son los puntos de la parábola.

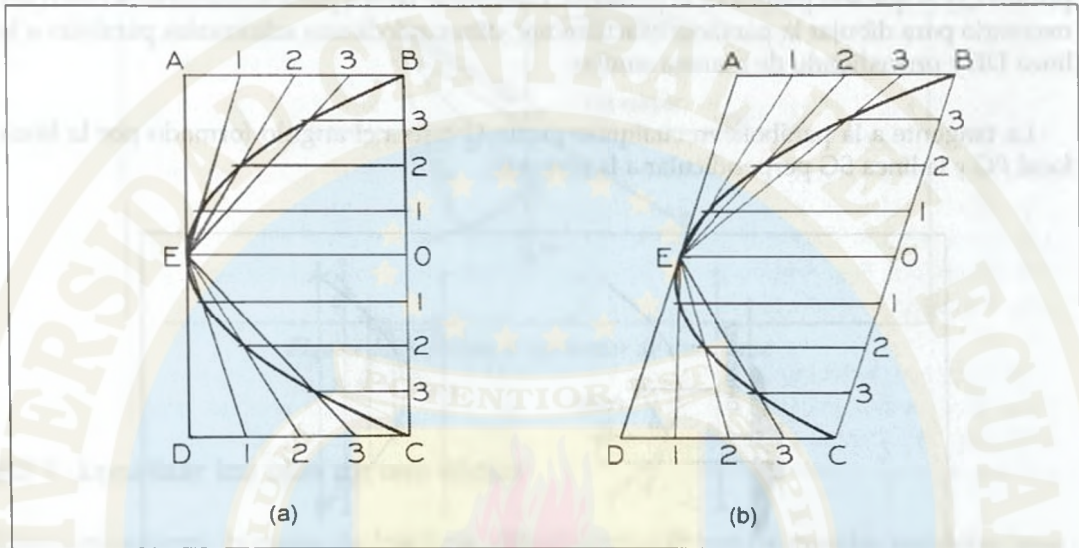


Figura 5.13. Dibujo de la parábola

5.3.1 Dibujar las tangentes a una parábola

Dadas la parábola, el foco y la directriz, se pueden considerar tres casos:

a) *Tangente en un punto dado de la parábola. Fig. 5.14 (a).*

Método 1. Desde el punto dado P1 dibuje la perpendicular P1B al eje de la parábola. Con A como centro y AB como radio, dibuje un arco para intersecar el eje extendido en C. Una P1 con C. La línea P1C es la tangente requerida.

Método 2. Desde el punto dado P2 dibuje el radio focal P2F y la línea P2D paralela al eje. Biseque el ángulo FP2D. La bisectriz P2E es la tangente requerida.

b) *Tangente desde un punto externo Q. Fig. 5.14 (b).*

Con el punto Q como centro y QF como radio, trace el arco BFC hasta la directriz de la parábola. Por los puntos B y C trace una paralela al eje hasta encontrar la parábola en T1 y T2, que son los puntos de tangencia. Las líneas QT1 y QT2 son las tangentes requeridas.

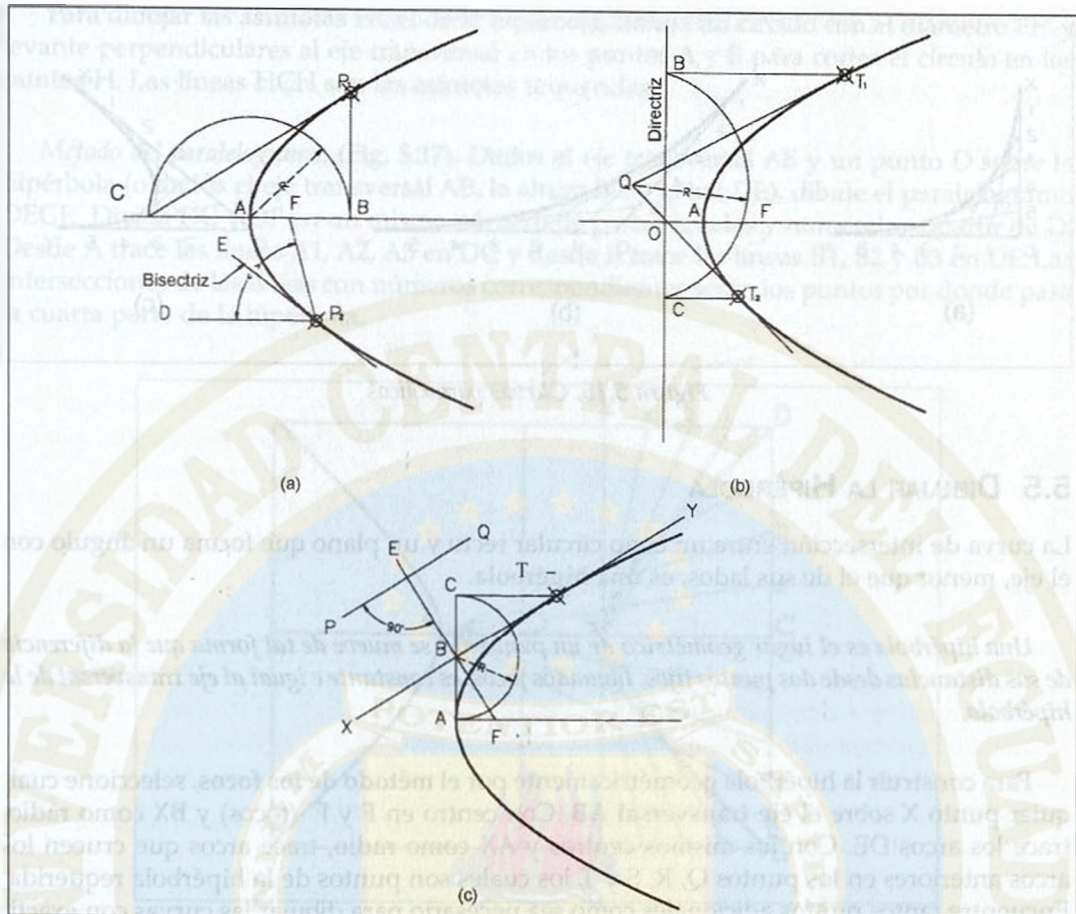


Figura 5.14. Tangentes a la parábola

c) Tangente paralela a una línea dada (Fig. 5.14 c).

Desde el foco trace la línea FE perpendicular a PQ. Desde A levante la perpendicular AC al eje de la parábola, localizando el punto B en la línea EF. Localice el punto C haciendo $BC = BA$. Desde C dibuje una línea paralela al eje hasta intersectar la parábola en T, punto de tangencia requerido. La línea XY que pasa por los puntos B y T es la tangente requerida.

5.4 UNIR DOS PUNTOS POR MEDIO DE UNA CURVA PARABÓLICA

Sean X y Y los puntos dados. Asuma cualquier punto O, y dibuje las tangentes XO y YO. Divida XO y YO en el mismo número de partes iguales, numere los puntos de división en la forma indicada y conecte los puntos correspondientes. Estas líneas son tangentes a la parábola requerida, y forman su envolvente. Trace una curva suave y luego ajústela con ayuda de un curvógrafo.

Las curvas parabólicas son de apariencia más armoniosa que los arcos circulares y muy útiles en diseño de maquinaria. Si las tangentes OX y OY son iguales, el eje de la parábola bisecará el ángulo entre ellas.

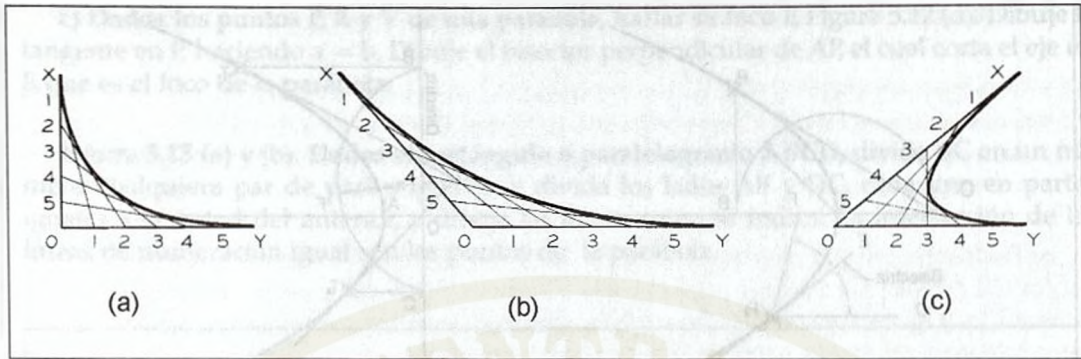


Figura 5.15. Curvas parabólicas

5.5 DIBUJAR LA HIPÉRBOLA

La curva de intersección entre un cono circular recto y un plano que forma un ángulo con el eje, menor que el de sus lados, es una **hipérbola**.

Una hipérbola es el lugar geométrico de un punto que se mueve de tal forma que la diferencia de sus distancias desde dos puntos fijos, llamados focos, es constante e igual al eje transversal de la hipérbola.

Para construir la hipérbola geoméricamente por el **método de los focos**, seleccione cualquier punto X sobre el **eje transversal AB**. Con centro en F y F' (focos) y BX como radio, trace los arcos DE. Con los mismos centros y AX como radio, trace arcos que crucen los arcos anteriores en los puntos Q, R, S y T, los cuales son puntos de la hipérbola requerida. Encuentre tantos puntos adicionales como sea necesario para dibujar las curvas con exactitud, seleccionando otros puntos similares al punto X a lo largo del eje transversal, y procediendo en la forma descrita para el punto X.

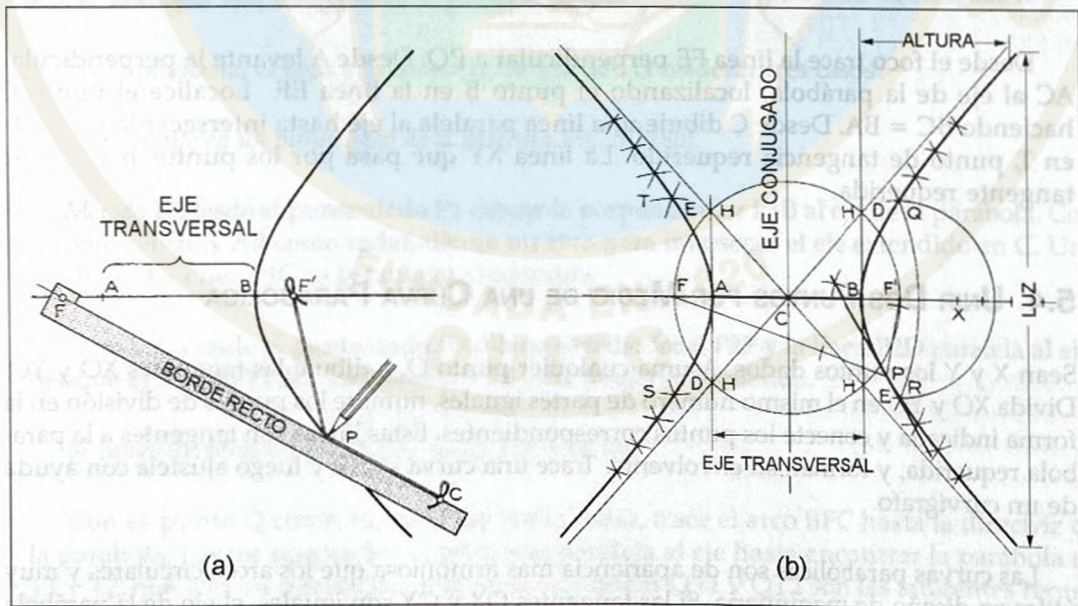


Figura 5.16. Dibujo de la hipérbola

Para dibujar las **asíntotas** HCH de la hipérbola, dibuje un círculo con el diámetro FF' y levante perpendiculares al eje transversal en los puntos A y B para cortar el círculo en los puntos H. Las líneas HCH son las asíntotas requeridas.

Método del paralelogramo. (Fig. 5.17). Dados el eje transversal AB y un punto D sobre la hipérbola (o dados el eje transversal AB, la altura BC y la luz DE), dibuje el paralelogramo DEGF. Divida DC y DF en un mismo número de partes iguales y numérelas a partir de D. Desde A trace las líneas A1, A2, A3 en DC y desde B trace las líneas B1, B2 y B3 en DF. Las intersecciones de las líneas con números correspondientes serán los puntos por donde pasa la cuarta parte de la hipérbola.

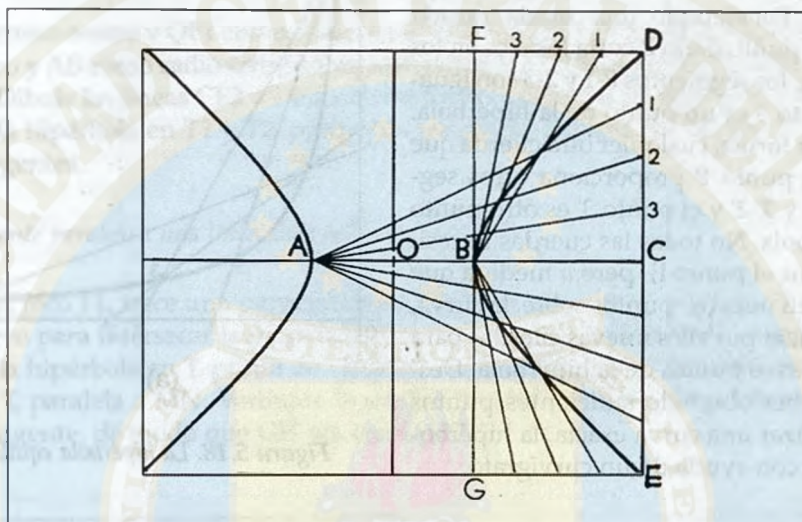


Figura 5.17. Dibujo de la hipérbola por el método del paralelogramo

Por simetría con respecto a los ejes horizontal y vertical que pasan por el punto O, se pueden completar los **tres cuartos restantes de las dos ramas de la hipérbola**.

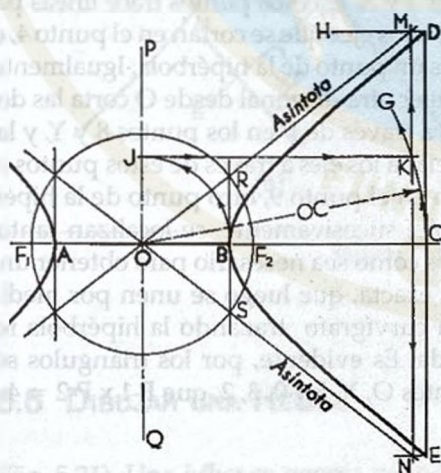


Figura 5.17-a.

Para encontrar el **foco** de la hipérbola, siga este procedimiento: en la Figura 5.17-a, seleccione un punto cualquiera D y trace la perpendicular DE al eje de simetría de la hipérbola. Con centro en O radio OC trace el arco GC. Con centro en O y radio OB trace el arco BJ. Por el punto J trace una paralela a OB hasta intersectar el arco CG en el punto K. Por el punto K trace la MN paralela a DE. Por el punto D trace la línea DH paralela a OC, que corta la línea MN en M. Una O con M. La recta OM es la asíntota.

Por el punto B levante una perpendicular a OB que corta la asíntota en R. Con centro en O y radio OR trace un círculo, el cual corta al eje de simetría en los puntos F1 y F2, focos de la hipérbola.

5.5.1 Dibujar una hipérbola equilátera

Sean OB y OA las asíntotas que forman entre sí un ángulo recto, y P un punto dado sobre la curva.

Fig. 5.18. En una hipérbola equilátera las asíntotas en ángulo recto entre sí, se pueden usar como los ejes coordenados cartesianos a los cuales se refiere la curva. Si se extiende una cuerda de la hipérbola hasta cortar los ejes, los segmentos entre la curva y los ejes son iguales. Por ejemplo, una cuerda trazada a través del punto dado P, corta los ejes en los puntos 1 y 2; los segmentos P-1 y 2-3 son iguales y el punto 3 es un punto de la hipérbola. De la misma forma, cualquier otra cuerda que pase por el punto P proporciona otros segmentos P-1' y 3'-2' y el punto 3' es otro punto de la hipérbola. No todas las cuerdas necesitan pasar por el punto P, pero a medida que se establecen nuevos puntos sobre la curva, se deben trazar por ellos nuevas cuerdas para localizar nuevos puntos de la hipérbola. Después de haber obtenido suficientes puntos para garantizar una curva exacta, la hipérbola se dibuja con ayuda de un curvígrafo.

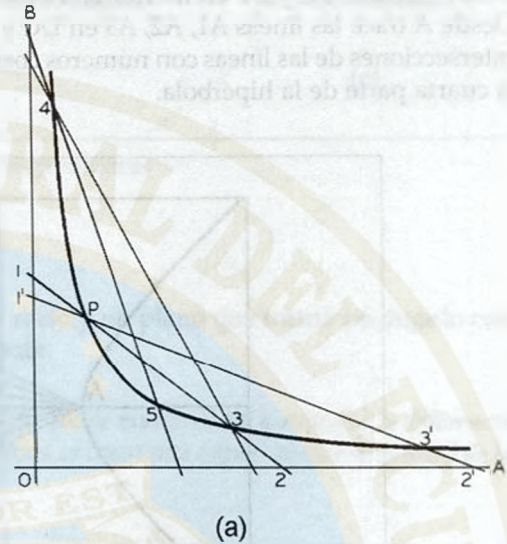


Figura 5.18. La hipérbola equilátera

Fig. 5.19. En una hipérbola equilátera, las coordenadas están relacionadas de tal forma que su producto permanece constante. A través del punto dado P, dibuje las líneas 1PY y 2PZ paralelas respectivamente a los ejes. Desde el origen de coordenadas O, dibuje una diagonal cualquiera que corta estas líneas en los puntos 3 y X. En esos puntos trace líneas paralelas a los ejes que se cortan en el punto 4, el cual es un punto de la hipérbola. Igualmente, cualquier otra diagonal desde O corta las dos líneas a través de P en los puntos 8 y Y, y las paralelas a los ejes a través de estos puntos se cortan en el punto 9, otro punto de la hipérbola. Así sucesivamente, se localizan tantos puntos como sea necesario para obtener una curva exacta, que luego se unen por medio de un curvígrafo trazando la hipérbola requerida. Es evidente, por los triángulos semejantes O, X, 5 y O, 3, 2, que $P-1 \times P-2 = 4-5 \times 4-6$.

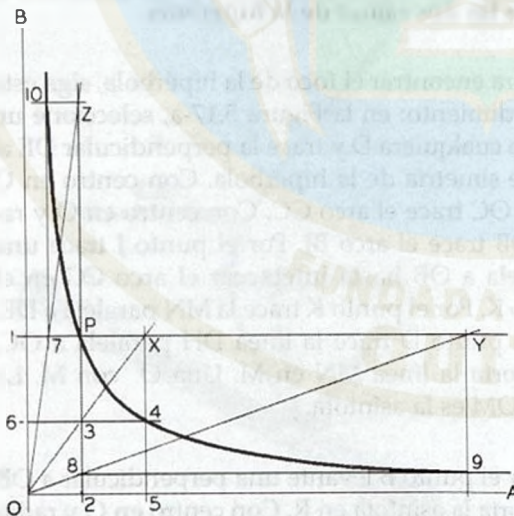


Figura 5.19. La hipérbola equilátera

5.5.2 Dibujar la tangente a la hipérbola

Dados la hipérbola y sus dos focos, se pueden considerar tres casos:

a) *Tangente en un punto dado P de la curva. Fig. 5.20 (a)*

Desde el punto P dibuje los radios focales PF₁ y PF₂. La bisectriz del ángulo F₁PF₂ será la tangente en el punto P.

b) *Tangente desde un punto externo Q. Fig. 5.20 (b)*

Con Q como centro y QF₁ como radio, trace el arco CF₁D de longitud indefinida; con F₂ como centro y AB como radio trace un segundo arco para intersectar el primero en los puntos C y D. Dibuje las líneas CF₂ y DF₂, extendiendo cualquiera de ellas si es necesario para intersectar la hipérbola en T₁ y T₂, puntos de tangencia requeridos. Las líneas QT₁ y QT₂ son las tangentes.

c) *Tangente paralela a una línea dada MN. Fig. 5.20 (a)*

Desde el foco F₁, trace una perpendicular a MN. Con F₂ como centro y AB como radio, trace un arco para intersectar la perpendicular en G. Dibuje la línea F₂G y extiéndala hasta intersectar la hipérbola en T, punto de tangencia requerido. Dibuje la tangente XY a través del punto T, paralela a MN. Verifique la exactitud de la solución chequeando el punto H sobre la tangente, de modo que GH sea igual a HF₁.

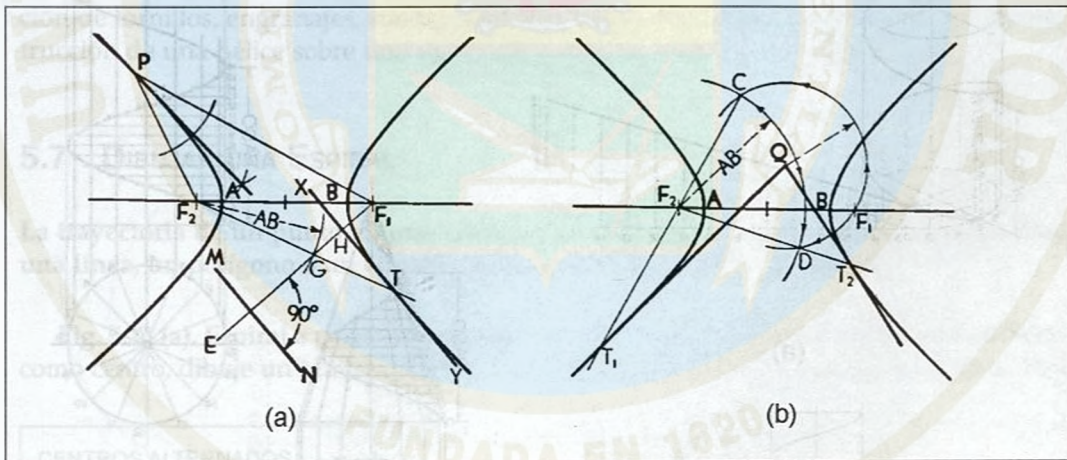


Figura 5.20. Tangentes a la hipérbola

5.6 DIBUJAR UNA HÉLICE

(Fig. 5.21). Una *hélice* se genera cuando un punto se mueve alrededor de y a lo largo de la superficie de un cilindro o un cono a velocidad angular uniforme alrededor de su eje y velocidad lineal uniforme a lo largo del eje. La expresión *hélice* se refiere normalmente a la

hélice cilíndrica. La distancia paralela al eje recorrida por el punto en una revolución (vuelta completa) se llama *paso* o *avance* (*lead*, en inglés) de la hélice.

Si la superficie cilíndrica sobre la cual se genera la hélice se desenrolla en un plano, la hélice se convierte en una línea recta, como se indica en la Fig. 5.21 (a) y la porción debajo de la hélice se convierte en un triángulo rectángulo, cuya altura es igual al paso de la hélice y la longitud de la base es igual a la circunferencia del cilindro. Dicha hélice, por tanto, puede definirse como la línea más corta que se puede dibujar sobre la superficie de un cilindro para unir dos puntos que no están en el mismo elemento.

Para dibujar la hélice, dibuje dos vistas del cilindro sobre el cual se genera la misma –Fig. 5.21 (b)–, y divida el círculo de la base en un número cualquiera de partes iguales. En la vista rectangular del cilindro, marque el paso y divídalo en el mismo número de partes iguales. Numere las divisiones en la forma indicada en la figura; en este caso, 16.

Cuando el punto generatriz haya recorrido $1/16$ de la distancia alrededor del cilindro, habrá avanzado $1/16$ del paso. Cuando haya recorrido la mitad del cilindro, habrá avanzado la mitad del paso, y así sucesivamente hasta dar una vuelta completa al cilindro. Los puntos de la hélice se localizan proyectando hacia arriba una línea vertical desde el punto 1 en la vista circular, a la línea 1 horizontal en la vista rectangular, desde el punto 2 en la vista circular a la línea 2 en la vista rectangular, etc. La hélice mostrada en la figura es una **hélice derecha**. En una **hélice izquierda**, la porción visible de la curva se inclina en sentido contrario. Fig. 5.21 (c).

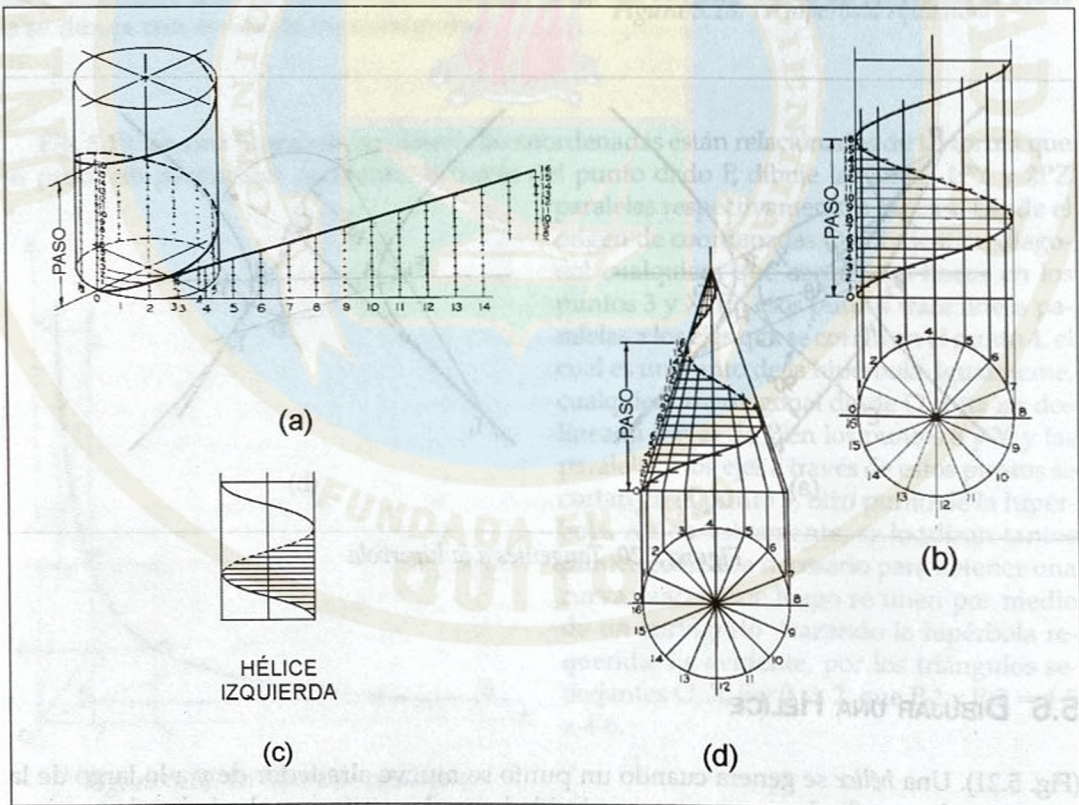


Figura 5.21. La hélice

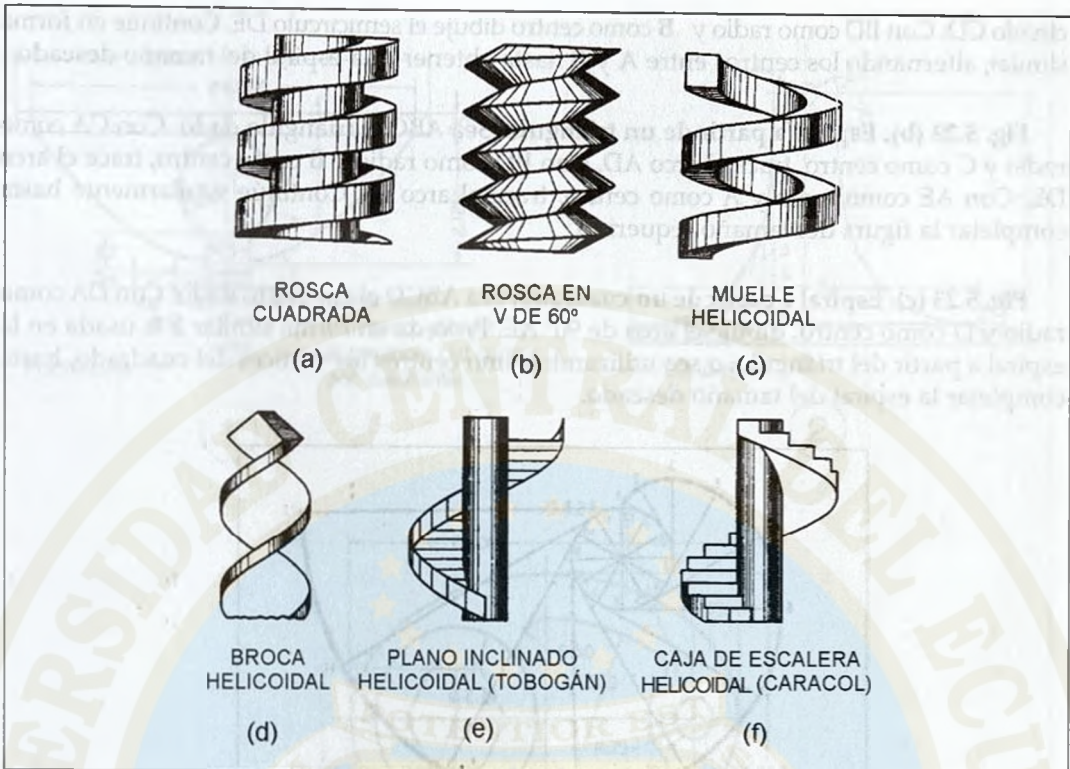


Figura 5.22. Aplicaciones de la hélice en industria y construcción

La hélice tiene muchas aplicaciones en la industria y en la ingeniería, como en la fabricación de tornillos, engranajes, ruedas dentadas, sinfines, escaleras helicoidales, etc. La construcción de una hélice sobre una superficie cónica se muestra en la Fig. 5.21 (d).

5.7 DIBUJAR UNA ESPIRAL

La trayectoria de un punto en una cuerda, a medida que la cuerda se desenvuelve desde una línea, un polígono o un círculo, es una involuta, evolvente o espiral.

Fig. 5.23 (a). Espiral a partir de una línea. Sea AB una línea dada. Con AB como radio y B como centro, dibuje un semicírculo AC. Con AC como radio y A como centro, trace el semi-

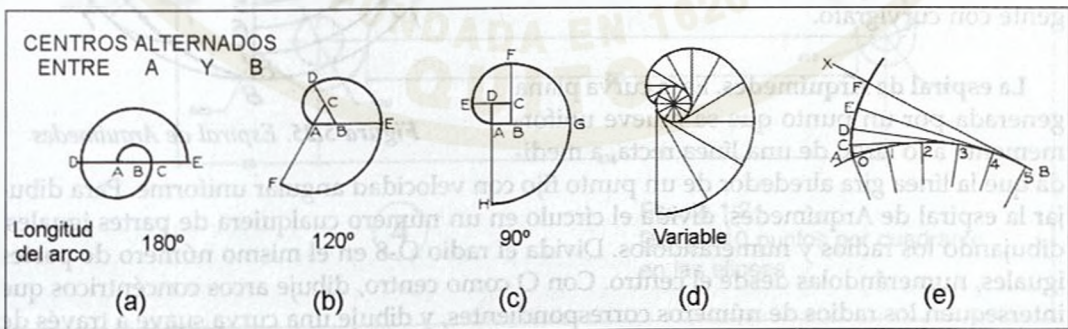


Figura 5.23. Curvas espirales

círculo CD. Con BD como radio y B como centro dibuje el semicírculo DE. Continúe en forma similar, alternando los centros entre A y B hasta obtener una espiral del tamaño deseado.

Fig. 5.23 (b). Espiral a partir de un triángulo. Sea ABC el triángulo dado. Con CA como radio y C como centro, trace el arco AD. Con BD como radio y B como centro, trace el arco DE. Con AE como radio y A como centro, trace al arco EF. Continúe similarmente hasta completar la figura del tamaño requerido.

Fig. 5.23 (c). Espiral a partir de un cuadrado. Sea ABCD el cuadrado dado. Con DA como radio y D como centro, dibuje el arco de 90° AE. Proceda en forma similar a la usada en la espiral a partir del triángulo, o sea utilizando como centros los vértices del cuadrado, hasta completar la espiral del tamaño deseado.

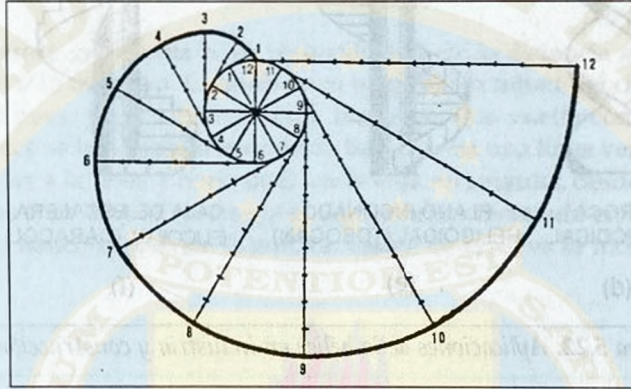


Figura 5.24. Espiral de núcleo circular

Fig. 5.23 (d) y 5.24. Espiral a partir de un círculo. Un círculo puede considerarse como un polígono de infinito número de lados. La involuta se construye dividiendo la circunferencia en un número de partes iguales, trazando las tangentes en cada punto de división y midiendo a lo largo de ellas la longitud del arco circular correspondiente. La espiral se forma uniendo los puntos extremos de cada tangente con curvógrafo.

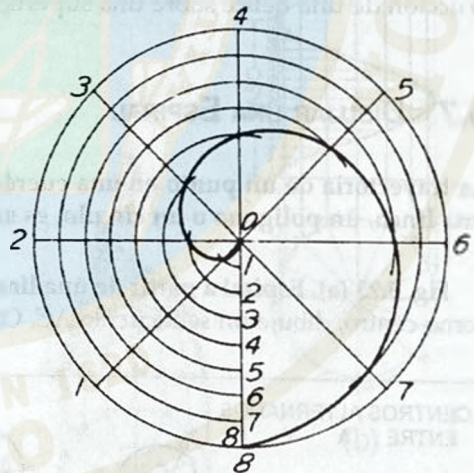


Figura 5.25. Espiral de Arquímedes

La espiral de Arquímedes. Es la curva plana generada por un punto que se mueve uniformemente a lo largo de una línea recta, a medida que la línea gira alrededor de un punto fijo con velocidad angular uniforme. Para dibujar la espiral de Arquímedes, divida el círculo en un número cualquiera de partes iguales, dibujando los radios y numerándolos. Divida el radio O-8 en el mismo número de partes iguales, numerándolas desde el centro. Con O como centro, dibuje arcos concéntricos que intersequen los radios de números correspondientes, y dibuje una curva suave a través de estas intersecciones.

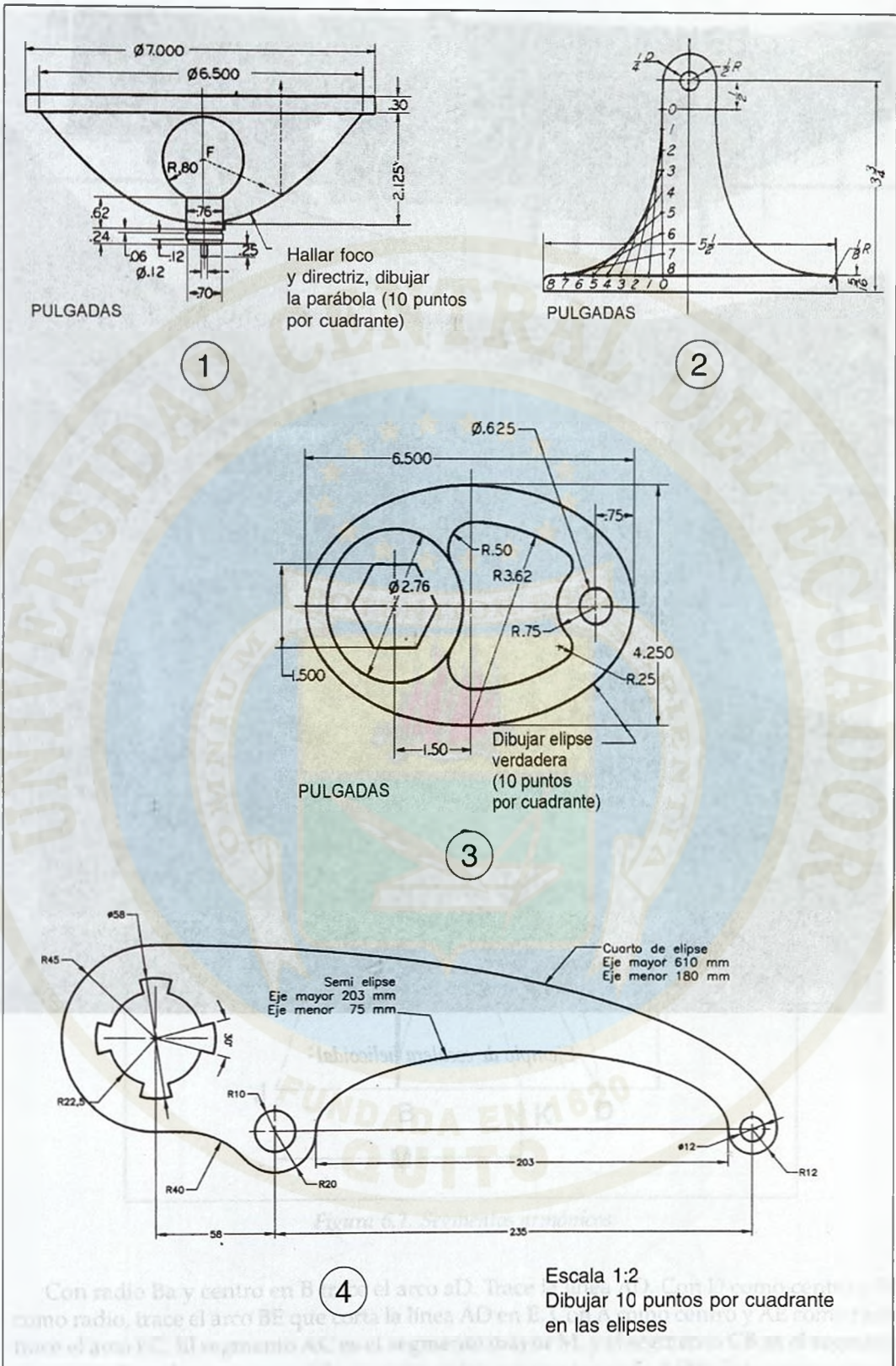
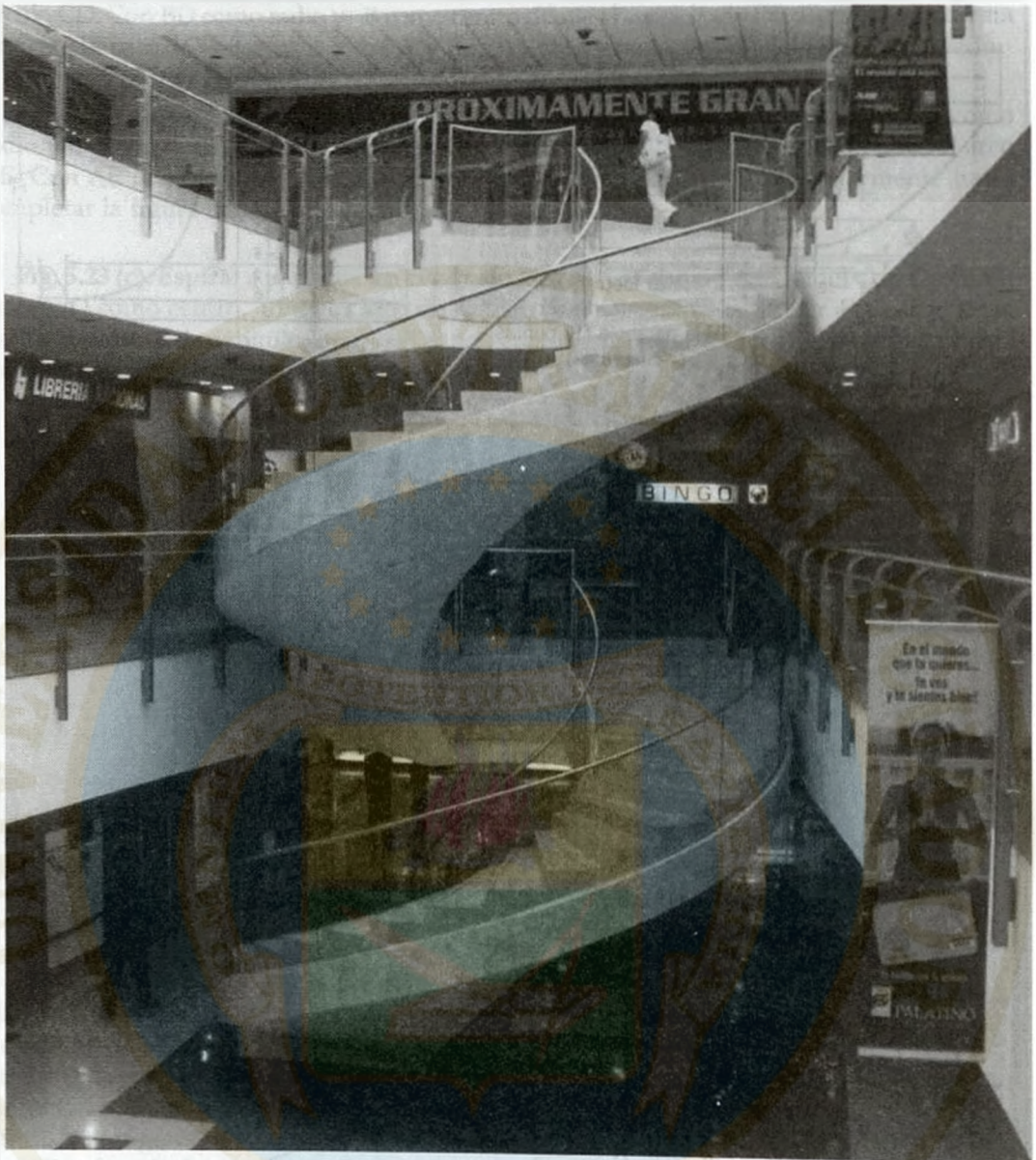


Figura 5.26. Ejercicio de secciones cónicas



Ejemplo de escalera helicoidal

PROPORCIONES GEOMÉTRICAS

6

6.1 LA RELACIÓN ARMÓNICA

Se dice que dos segmentos de una recta están en **relación armónica** (Fig. 6.1), cuando las longitudes m del segmento menor y M del segmento mayor cumplen la siguiente proporción:

$$m : M = M : (m + M) = 1 : 1.618$$

lo cual se cumple en los triángulos semejantes AGH y AJK. En la Fig. 6.1 se muestra la forma de dividir una línea en segmentos que están en proporción armónica. Sea AB la línea dada y a su punto medio.

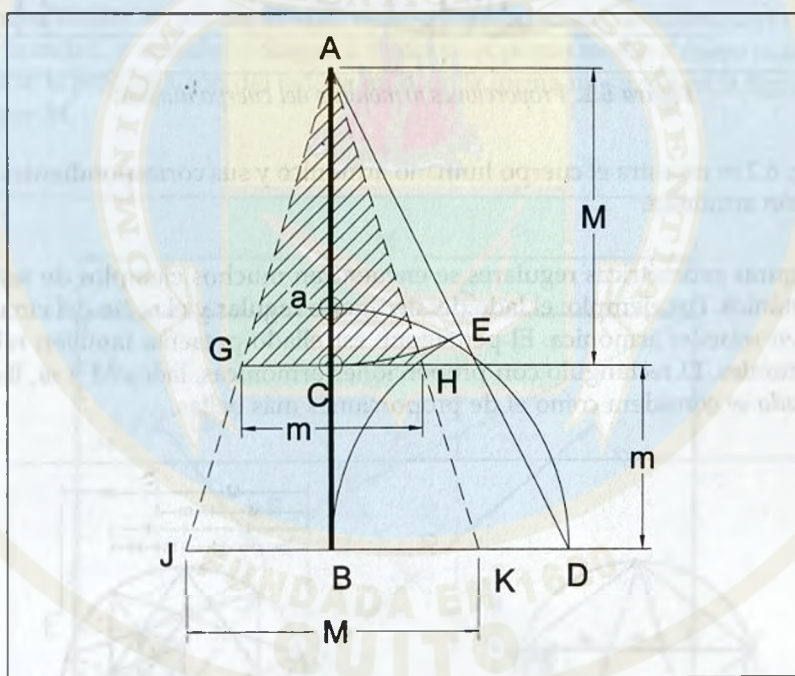


Figura 6.1. Segmentos armónicos

Con radio Ba y centro en B trace el arco aD . Trace la línea AD . Con D como centro y BD como radio, trace el arco BE que corta la línea AD en E . Con A como centro y AE como radio, trace el arco EC . El segmento AC es el segmento mayor M , y el segmento CB es el segmento menor m . La relación matemática precisa entre segmentos es $1 : 1.618$. Esta proporción se conoce como la **proporción áurea**.

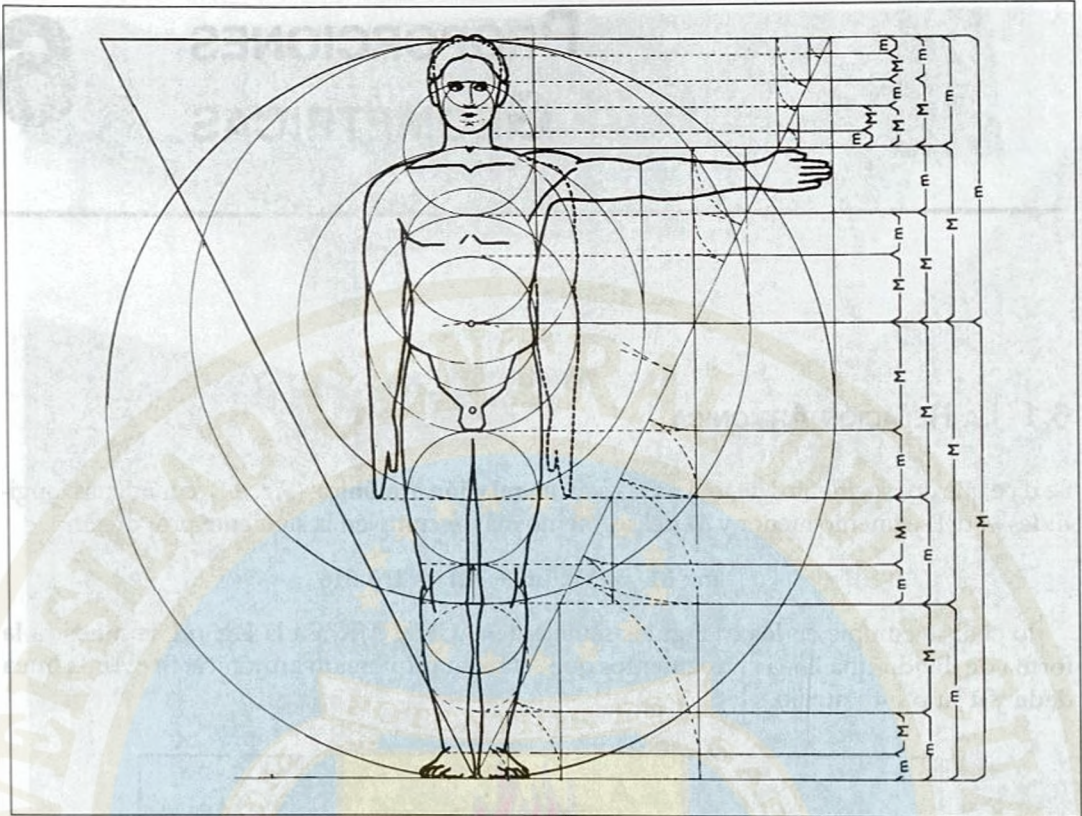


Figura 6.2. Proporciones armónicas del cuerpo humano

En la Fig. 6.2 se muestra el cuerpo humano armónico y sus correspondientes segmentos en proporción armónica.

En las figuras geométricas regulares se encuentran muchos ejemplos de segmentos en relación armónica. Por ejemplo: el lado del decágono regular y el radio del círculo circunscrito están en relación armónica. El pentágono estrellado presenta también relaciones armónicas naturales. El rectángulo con proporciones armónicas, lados M y m , llamado *Rectángulo dorado* se considera como el de proporciones más bellas.

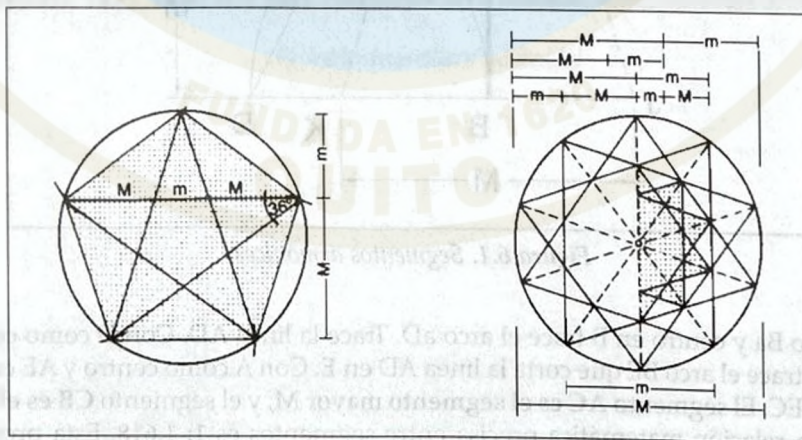


Figura 6.3. Figuras geométricas con relaciones armónicas

Ejemplos de él se encuentran en las proporciones de la fachada del Partenón de Atenas, en el Edificio de las Naciones Unidas en Nueva York, en algunas obras de los grandes arquitectos, como Le Corbusier; en muchas obras maestras de los grandes pintores del Renacimiento como Leonardo da Vinci (*San Jerónimo*), Miguel Ángel, Rafael, etc.; en algunos de la época moderna, como Seurat, Mondrian, y en innumerables monumentos y construcciones de la antigüedad clásica greco-romana y en la arquitectura gótica de la Edad Media.

6.2 DIBUJAR EL RECTÁNGULO DORADO

Dado: lado mayor = M Hallar: lado menor = m

Sea el lado AD del rectángulo el lado mayor M de la relación armónica. Levante las perpendiculares AG y DH. Con centro en D y radio igual a la mitad de AD trace un arco que corte a DH en E. Trace la recta AE. Con centro en E y radio DE, corte la línea AE en F.

Con centro en A y radio AF corte la línea AG en B. Levante la perpendicular a AG desde B hasta C. El lado DC = AB es el lado menor m . El rectángulo ABCD es un rectángulo dorado cuyos lados están en proporción armónica.

Dado el lado menor = m . Hallar el lado M

De manera similar se puede dibujar el rectángulo dorado, dividiendo el cuadrado de lado m por la mitad, y usando la diagonal XS desde el punto medio X como radio, trazar un arco que corte la prolongación del lado m en B, en la forma mostrada en la figura 6.4. CB es el lado mayor M .

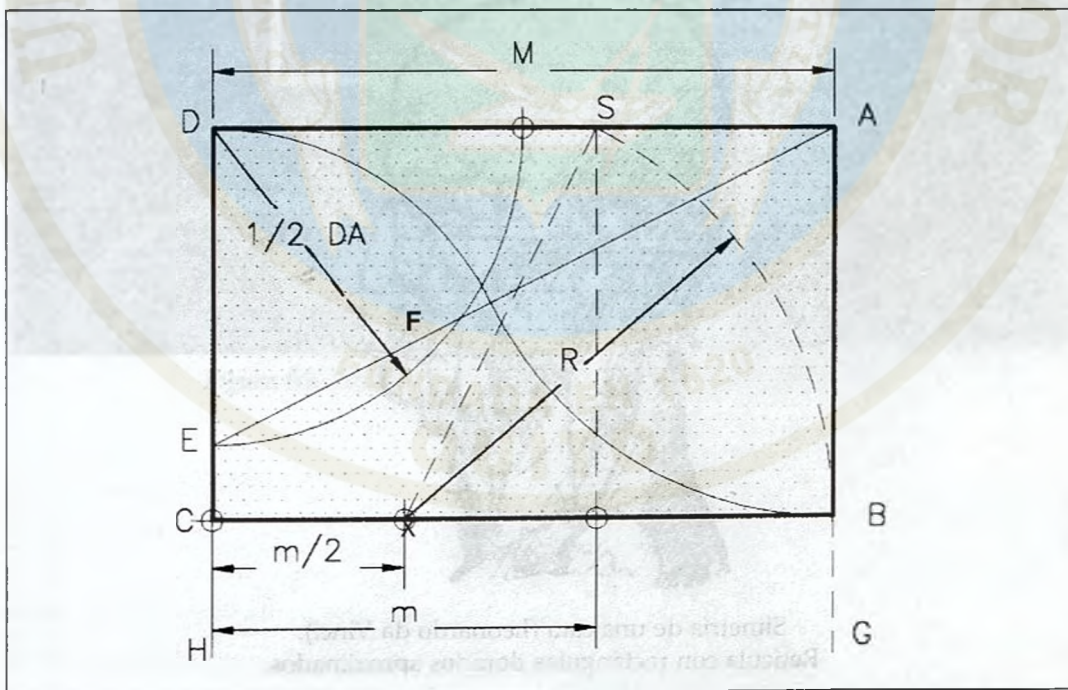


Figura 6.4. El rectángulo dorado

6.3 LA RELACIÓN DORADA EN MATEMÁTICAS

La relación entre dos números adyacentes de la serie de Fibonacci

$$U_n = U_{n-1} + U_{n-2}$$

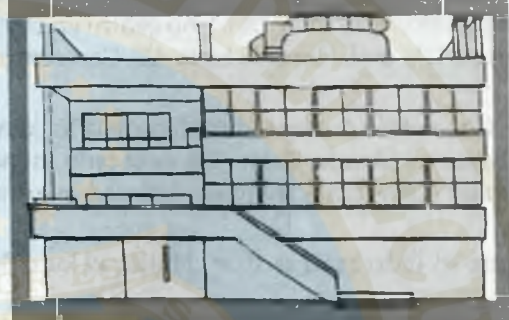
1 1 2 3 5 8 13 21

después del 3 es alrededor de 1.6, lo cual corresponde a la relación dorada:

$$5/3 = 1.6, 8/5 = 1.6, 13/8 = 1.6 ..$$



Fachada del Partenón de Atenas (Grecia)



Una villa moderna en París (Francia)



Simetría de una cara (Leonardo da Vinci).
Retícula con rectángulos dorados aproximados.

Figura 6.5. Algunos ejemplos del uso del rectángulo dorado



Figura 6.6. San Jerónimo, lienzo inconcluso de Leonardo da Vinci



M.C. Escher - *Banda sin fin* (litografía, 1956, 26 x 34 cm)

"Dos espirales se unen para formar, a la izquierda, una cabeza femenina y, a la derecha, una masculina. Como banda sin fin que entrelaza las dos frentes, representa la unidad de lo dual. La impresión de corporeidad la refuerzan unas esferas que flotan enfrente, detrás y dentro de los rostros huecos."

M.C. Escher

PROYECCIÓN ORTOGRÁFICA 7

7.1 PROYECCIÓN ORTOGRÁFICA

La *proyección ortográfica* es la forma universal de dibujar objetos tridimensionales en una hoja de papel, por esencia, bidimensional. El proceso consiste en separar la información que presenta el objeto mirado desde diferentes posiciones, y poner sobre la hoja de papel la información de cada posición de manera ordenada y correlacionada con la de vistas adyacentes.

Lo que se ve del objeto desde una posición determinada del observador es una *vista* y se define técnicamente como una *proyección*. El método de visualizar un objeto para obtener una proyección consiste en situar entre el observador y el objeto una lámina de vidrio que representa el *plano de proyección* y proyectar sobre ella la información del objeto que puede verse desde esa determinada posición. Dicha información llega al plano de proyección por medio de visuales, o proyectores que inciden sobre él, definiendo el contorno que forma la vista, como se muestra en la Fig. 7.1.

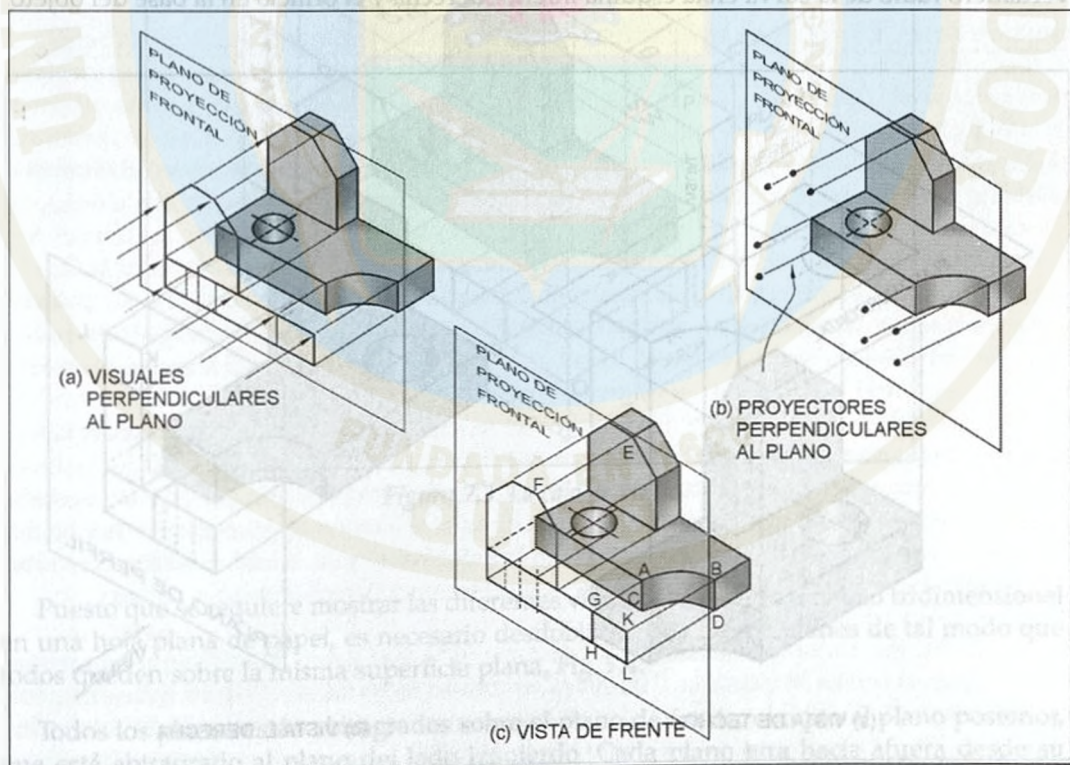


Figura 7.1. Proyecciones de un objeto

Sobre la lámina de vidrio se muestra la forma como aparece el objeto al observador desde esa dirección. **Teóricamente el observador se encuentra a distancia infinita del objeto, a fin de que las visuales sean paralelas.** En términos más precisos, esta vista se obtiene dibujando perpendiculares al plano de proyección, llamadas **proyectores**, desde todos los puntos de las aristas o contornos del objeto, al plano de proyección (b). La unión de todos los puntos de incidencia de estos proyectores sobre el plano de proyección, en número infinito, forman las líneas sobre la lámina de vidrio, como se muestra en (c). Cuando las visuales son perpendiculares al plano de proyección, la **proyección es ORTOGRÁFICA**.

Así por ejemplo, como se muestra en (c), un proyector desde el punto A sobre el objeto incide el plano de proyección en el punto G, el cual es una vista o proyección del punto A. El mismo procedimiento se aplica para el punto B, cuya proyección es el punto K. Puesto que A y B son puntos extremos de una línea curva sobre el objeto, las proyecciones G y K se unen para dar la proyección de la curva AB.

Similarmente, si se encuentran las proyecciones de las cuatro esquinas A, B, C y D, las proyecciones G, K, L y H se pueden unir por líneas rectas para formar la proyección de la superficie curva. El mismo procedimiento se puede aplicar para las líneas rectas, como, por ejemplo, el ángulo superior del objeto. Un punto E sobre la recta se proyecta sobre el plano en F. Si se aplica este procedimiento de puntos de proyección a todos los puntos que forman los bordes y contornos del objeto, se obtiene una proyección o vista completa del mismo. En esta vista, el orificio es oculto y sus contornos extremos se representan por líneas ocultas (trazo discontinuo), en la forma indicada.

Un procedimiento similar se sigue para obtener la vista sobre el plano horizontal o de techo, Fig. 7.2 (a). Esta vista es necesaria en la descripción de la forma porque muestra el verdadero radio de la curva en la esquina inferior derecha y el orificio en la base del objeto.

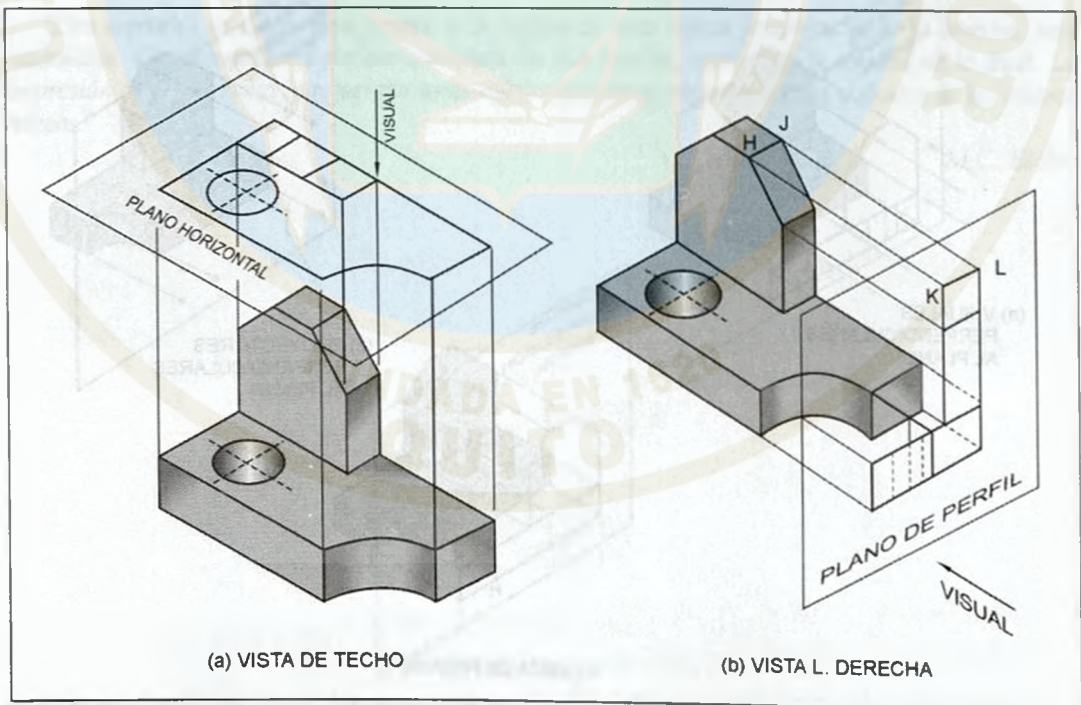


Figura 7.2. Vista de techo y lado derecho

La vista del lado derecho, (b), es necesaria porque muestra la forma característica en ángulo recto de la aleta vertical del objeto. Igualmente, en esta vista, el orificio es oculto y sus contornos extremos se representan por líneas ocultas (trazo discontinuo), en la forma indicada.

El plano de proyección sobre el cual se proyecta la vista de frente se denomina **plano de frente o frontal**; el de la vista por encima se denomina **plano horizontal** y el de la vista de lado se denomina **plano de perfil**.

7.2 LA CAJA DE VIDRIO

Si los planos de proyección se colocan paralelos a las caras principales del objeto, forman una «caja de vidrio», como se muestra en la Fig. 7.3. Observe que la persona está siempre mirando hacia el objeto desde fuera de la caja, así que ve el objeto a través de los planos de proyección. Puesto que la caja de vidrio tiene seis caras, se obtienen seis vistas del objeto.

El objeto tiene tres dimensiones principales: **ancho, altura y profundidad**. Éstas se usan para dimensionar en dichas direcciones, cualquiera que sea la forma del objeto.

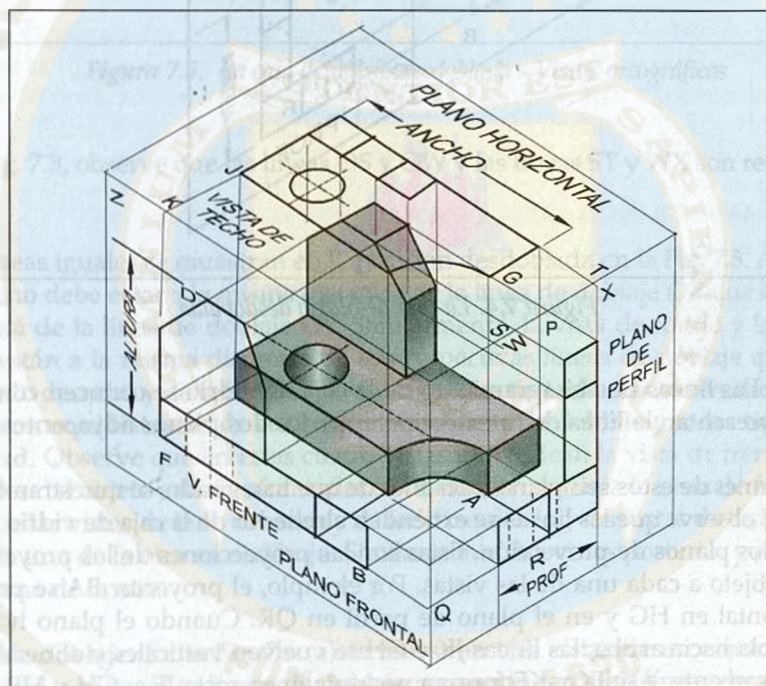


Figura 7.3. La caja de vidrio

Puesto que se requiere mostrar las diferentes vistas de un sólido u objeto tridimensional en una hoja plana de papel, es necesario desdoblar la caja en sus planos de tal modo que todos queden sobre la misma superficie plana, Fig. 7.4.

Todos los planos están abisagrados sobre el plano de frente, excepto el plano posterior, que está abisagrado al plano del lado izquierdo. Cada plano gira hacia afuera desde su posición original en la caja hasta quedar a nivel con el plano de frente, el cual permanece

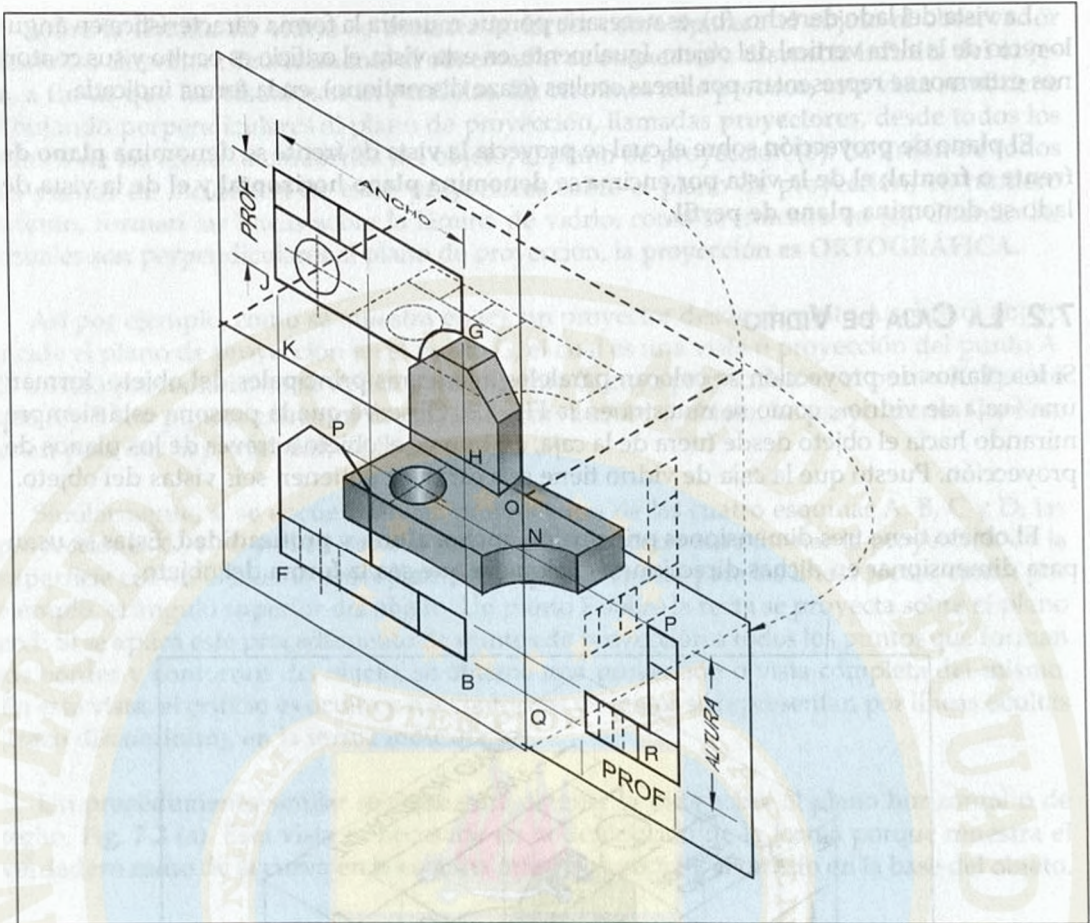


Figura 7.4. La caja de vidrio desdoblada

estacionario. Las líneas de abisagramiento de la caja de vidrio se conocen como **líneas de doblaje** y representan la línea de intersección entre los dos planos adyacentes.

Las posiciones de estos seis planos, después de que han girado, se muestran en la Fig. 7.5. En la Fig. 7.4, observe que las líneas se extienden alrededor de la caja de vidrio de una vista a otra sobre los planos de proyección. Estas son las proyecciones de los proyectores de los puntos del objeto a cada una de las vistas. Por ejemplo, el proyector BA se proyecta en el plano horizontal en HG y en el plano de perfil en QR. Cuando el plano horizontal (de techo) se dobla hacia arriba, las líneas JK y GH se vuelven verticales y alineadas con KF y HB, respectivamente. Así, JK y KF forman una sola línea recta JF, y GH y HB forman una sola línea recta, GB, como se muestra en la Fig. 7.5. Esto explica por qué la vista de techo tiene el mismo ancho que la vista de frente y por qué se coloca directamente sobre la vista de frente. La misma relación existe entre las vistas de frente y de fondo. Por tanto, las vistas de frente, de techo y de fondo se alinean verticalmente y tienen el mismo ancho.

En la Fig. 7.4, cuando se desdobra el plano de perfil, las líneas DN y NP se convierten en una sola línea recta, DP, y las líneas BQ y QR se convierten en una sola línea recta, BR, como se muestra en la Fig. 7.5. La misma relación existe entre las vistas de frente, lado izquierdo y posterior. Por tanto, la **vista posterior, de lado izquierdo, de frente, y de lado derecho se alinean horizontalmente y tienen la misma altura.**

En la Fig. 7.3, observe que las líneas OS y OW y las líneas ST y WX son respectivamente iguales.

Líneas de doblaje. En la Fig. 7.6 (a) se muestran tres vistas de un objeto con líneas de doblaje entre las vistas. Las líneas de doblaje corresponden a las líneas de abisagramiento de la caja de vidrio, como vimos anteriormente. La línea de doblaje H/F entre las vistas de techo y de frente, es la intersección de los planos frontal y horizontal. La línea de doblaje F/P, entre las vistas de frente y de lado, es la intersección de los planos frontal y de perfil.

145

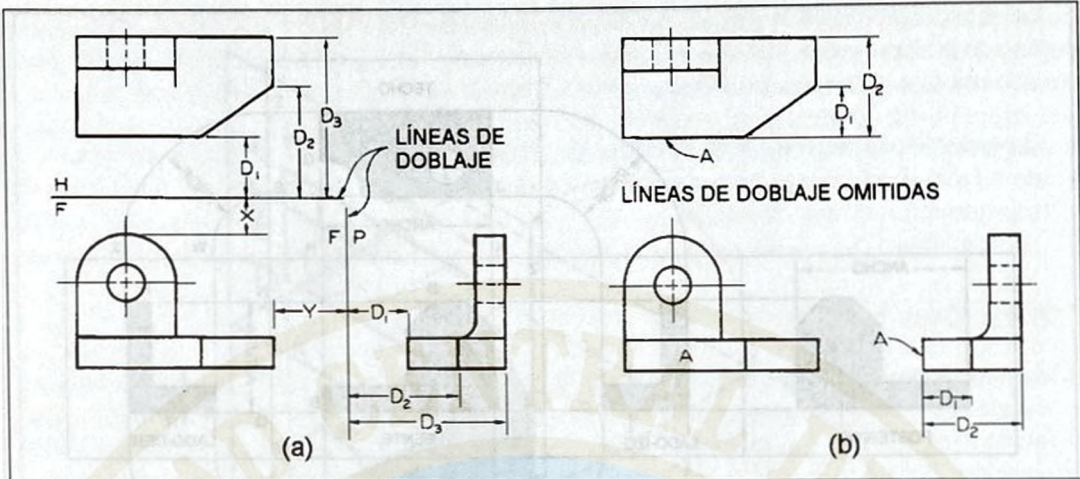


Figura 7.6. Líneas de doblaje

Las distancias D_1 se mantengan iguales y las líneas de doblaje estén en ángulo recto con las líneas de proyección entre las vistas.

Se verá que las distancias D_2 y D_3 , respectivamente, también son iguales, y las líneas de doblaje H/F y F/P son en realidad líneas de referencia para igualar las medidas de profundidad en las vistas de frente y de lado. Así, cualquier punto en la vista de techo está a la misma distancia de H/F que el punto correspondiente en la vista de lado está de F/P.

7.3 PROYECCIÓN DE DOS VISTAS

Cuando sólo se incluyen dos vistas adyacentes, por ejemplo, vista de techo y de frente, la proyección se llama **proyección de dos vistas**.

7.4 TRANSFERENCIA DE DIMENSIONES DE PROFUNDIDAD

Puesto que todas las dimensiones de profundidad en las vistas de techo y de lado deben corresponder punto a punto, se deben utilizar métodos exactos de transferencias de estas distancias, como D_1 , D_2 , etc., en la Fig. 7.6 (a) y 7.6.(b).

7.5 EL MÉTODO DE LA LÍNEA MITRA DE 45°

El método indicado en la Fig. 7.7 (c), es un método conveniente, especialmente cuando se debe transferir un gran número de puntos, como cuando se traza una curva. Observe que la vista de lado derecho se puede mover a la derecha o a la izquierda, o la vista de techo se puede mover hacia arriba o hacia abajo, desplazando la línea de 45°, llamada **línea mitra**, en el mismo sentido. No es necesario dibujar líneas continuas entre las vistas de techo y de lado derecho vía la línea mitra. En vez de ello, trace líneas cortas a través de la línea mitra y proyéctelas desde allí.

En la práctica, por razones de exactitud, las dimensiones de profundidad deben transferirse con ayuda del compás de puntas secas o la escala graduada. Estos métodos son los más apropiados cuando sólo se va a transferir un pequeño número de puntos de medidas muy exactas, como es el caso general. El método de la escala es especialmente conveniente para dibujo de máquinas, porque tanto las escalas horizontal como vertical son fácilmente accesibles.

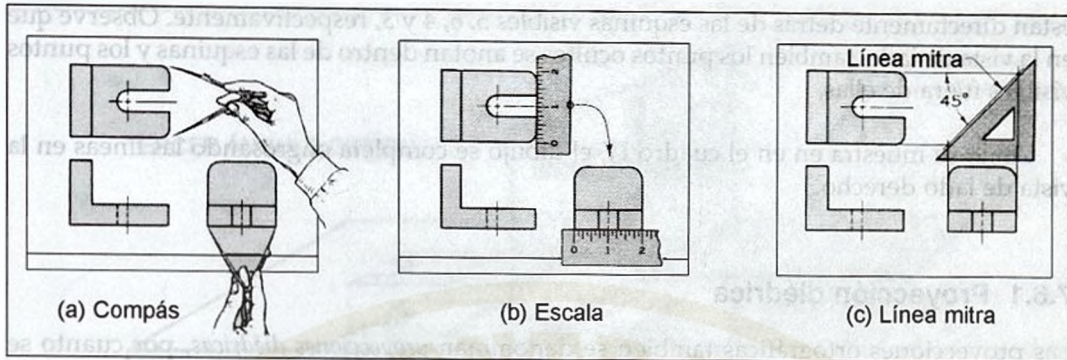


Figura 7.7. Transferencia de medidas de profundidad

7.6 PROYECCIÓN DE TRES VISTAS

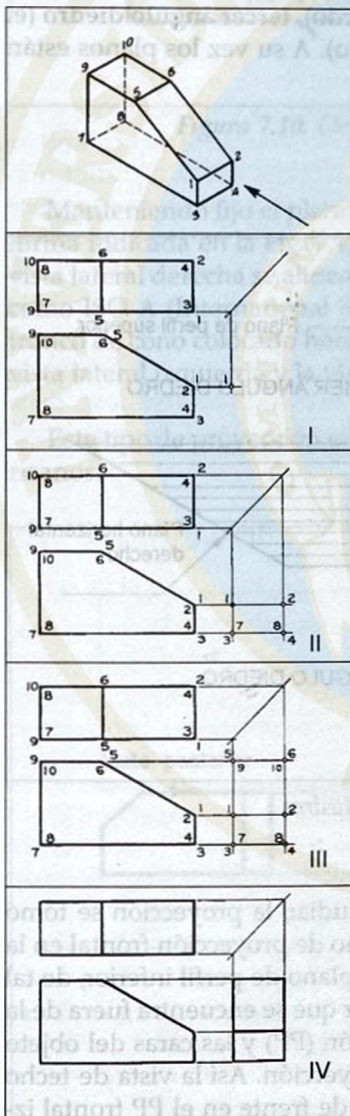


Figura 7.8. Uso de números

En la Fig. 7.8 (arriba) se muestra el dibujo de un objeto dado, del cual se requiere dibujar tres vistas. Cada esquina del objeto está debidamente numerada, como se indica. En I, se muestran las vistas de techo y de frente, con cada esquina numerada apropiadamente en ambos lados. Cada número aparece dos veces, una vez en la vista de techo y de nuevo en la vista de frente.

Si un punto es **visible** en una vista dada, el número se coloca fuera de la esquina, pero si el punto es **oculto** el número se coloca dentro de la esquina. Por ejemplo, en I el punto 1 es visible en ambas vistas, y por tanto se coloca por fuera de las esquinas en ambas vistas. Por el contrario, el punto 2 es visible en la vista de techo y el número se coloca fuera de la esquina, mientras que en la vista de frente es oculto y por tanto se coloca dentro de la esquina.

Este sistema de numeración, en el cual los puntos se identifican por los mismos números en todas las vistas, es muy útil cuando se proyectan puntos conocidos en dos vistas a posiciones desconocidas en una tercera vista. Observe que en este sistema de numeración un punto dado tiene el mismo número en todas las vistas.

En la Figura 7.8, antes de empezar a proyectar la vista de lado derecho trate de visualizar la vista como se ve en dirección de la flecha.

Como se indica en I, localice el punto 1 en la vista de lado proyectando el punto 1 en la vista de techo y el punto 1 en la vista de frente. En el cuadro II, proyecte los puntos 2, 3 y 4 de manera similar para completar la superficie vertical del extremo derecho del objeto. En el cuadro III, proyecte los puntos 5 y 6 para completar la vista de lado de la superficie inclinada 5-6-2-1. Esto completa la vista de lado derecho, puesto que los puntos ocultos 9, 10, 8 y 7

están directamente detrás de las esquinas visibles 5, 6, 4 y 3, respectivamente. Observe que en la vista de lado, también los puntos ocultos se anotan dentro de las esquinas y los puntos visibles fuera de ellas.

Como se muestra en en el cuadro IV, el dibujo se completa engrosando las líneas en la vista de lado derecho.

7.6.1 Proyección diédrica

Las proyecciones ortográficas también se denominan *proyecciones diédricas*, por cuanto se originan en planos formados por ángulos diedros. En la actualidad se utilizan dos métodos para representar proyecciones ortográficas: ISO-A e ISO-E.

La Fig. 7.9 muestra la distribución de los cuatro *ángulos diedros* formados por dos planos que se intersecan ortogonalmente, los cuales se identifican como: **primer ángulo diedro** (el superior derecho), **segundo ángulo diedro** (el superior izquierdo), **tercer ángulo diedro** (el inferior izquierdo) y **cuarto ángulo diedro** (el inferior derecho). A su vez los planos están identificados como *Plano horizontal* y *Plano de perfil*.

Proyección ISO-A

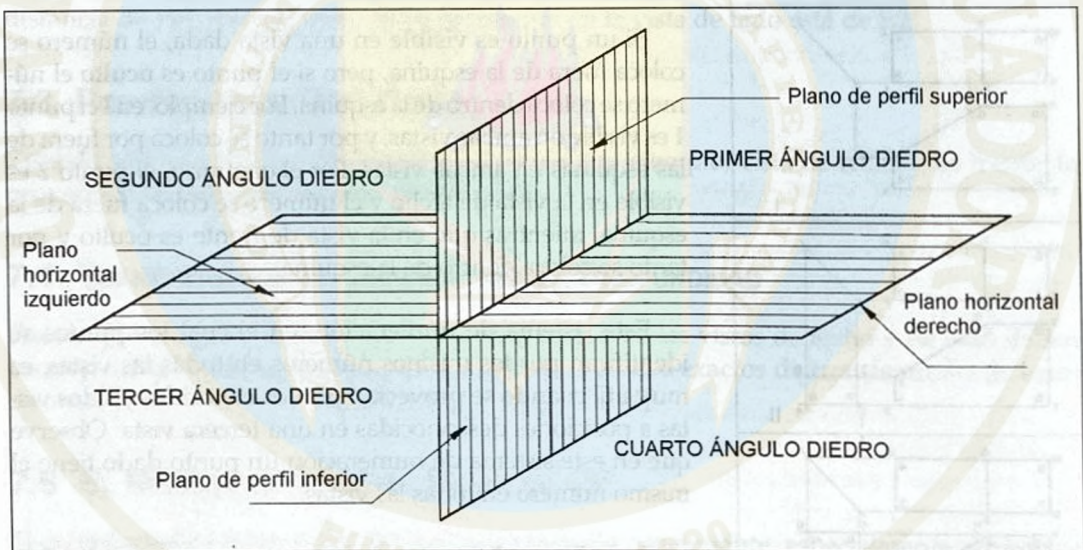


Figura 7.9. Nomenclatura de los ángulos diedros

En el caso de la proyección ortográfica que acabamos de estudiar, la proyección se tomó colocando el objeto en el **tercer ángulo** y adicionando un plano de proyección frontal en la parte *delantera* para unir el plano horizontal izquierdo con el plano de perfil inferior, de tal manera que situado el objeto en la parte inferior, el observador que se encuentra fuera de la caja de vidrio ve el objeto a través de los planos de proyección (PP) y las caras del objeto (vistas), se proyectan desde el objeto hacia los planos de proyección. Así la vista de techo del objeto se proyecta en el PP horizontal izquierdo, la vista de frente en el PP frontal izquierdo, y la vista lateral derecha en el plano de perfil inferior.

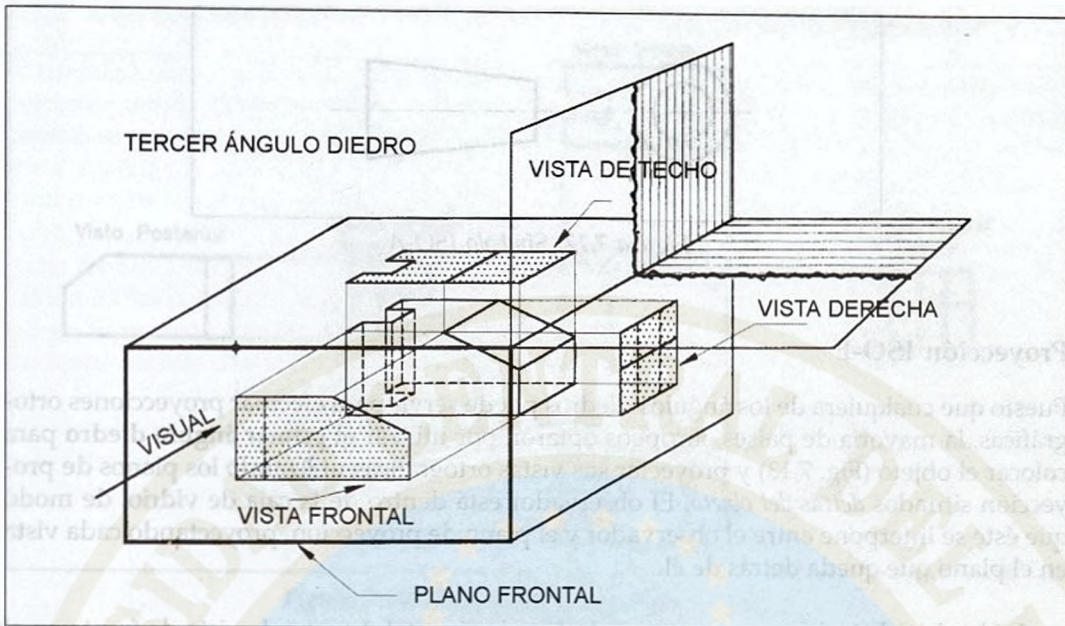


Figura 7.10. Obtención de las vistas principales por el método ISO-A

Manteniendo fijo el plano frontal, se desdoblan los otros planos alineados con éste en la forma indicada en la Fig. 7.11, en donde la vista de techo se alinea arriba de la frontal y la vista lateral derecha se alinea a la derecha de la frontal. Este tipo de proyección se identifica como ISO-A (International Standard Organization) y el símbolo para representarlo es un tronco de cono colocado horizontalmente como indica la Fig. 7.12, en donde se muestran la vista lateral izquierda y la vista de frente del cono.

Este tipo de proyección es el utilizado en las normas de USA, Canadá y países latinoamericanos.

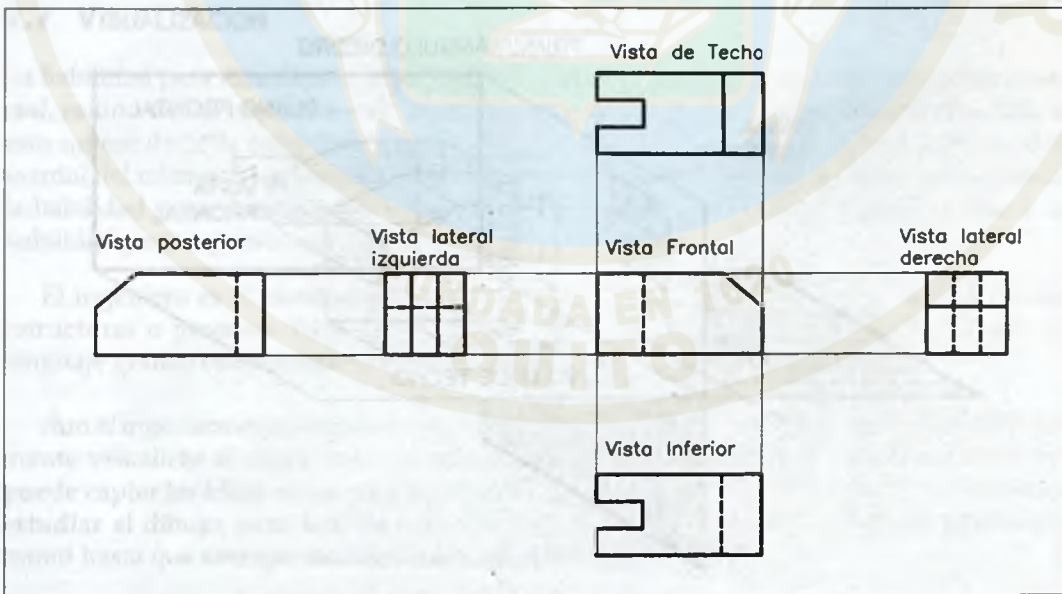


Figura 7.11. Distribución de las vistas en ISO-A

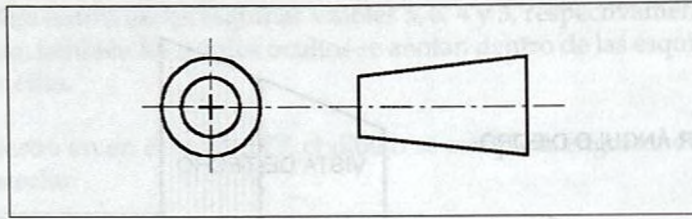


Figura 7.12. Símbolo ISO-A

Proyección ISO-E

Puesto que cualquiera de los ángulos diedros puede servir para efectuar proyecciones ortográficas, la mayoría de países europeos optaron por utilizar el **primer ángulo diedro** para colocar el objeto (Fig. 7.13) y proyectar sus vistas ortográficas utilizando los planos de proyección situados *detrás del objeto*. El observador está dentro de la caja de vidrio, de modo que éste se interpone entre el observador y el plano de proyección, proyectando cada vista en el plano que queda detrás de él.

Así la vista de techo se proyecta en el plano horizontal derecho, la vista de frente en el plano frontal derecho (colocado en la parte de atrás) y la vista lateral derecha en el plano de perfil superior. *Al desdoblar los planos alrededor del plano frontal utilizado como fijo*, la distribución de las vistas queda en la forma indicada en la Fig. 7.14. Este sistema de proyección se conoce como ISO-E, y el símbolo para representarlo es igual al del ISO-A, o sea la vista de frente y la lateral izquierda de un tronco de cono con el eje colocado horizontalmente (Fig. 7.15). Dado que en este sistema las vistas ocupan posición contraria a las del ISO-A, el símbolo muestra la vista lateral izquierda al lado derecho de la vista de frente.

Por cuanto no se acostumbra identificar las vistas en proyecciones ortográficas, debe dibujarse el símbolo correspondiente al tipo de proyección utilizado, a fin de despejar cualquier duda sobre su correcta interpretación.

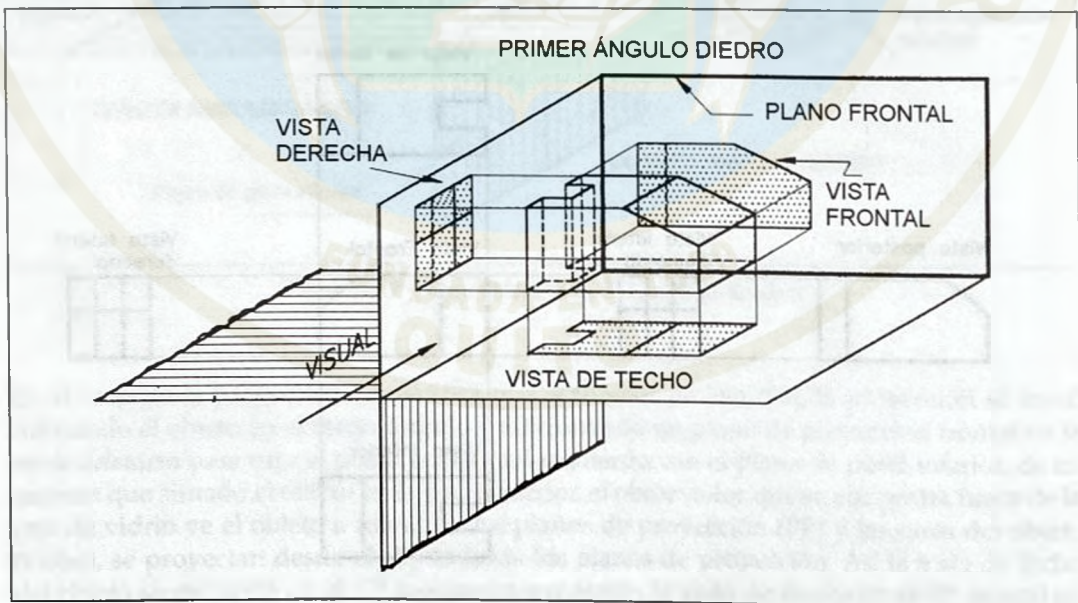


Figura 7.13. Obtención de las vistas principales por el método ISO-E

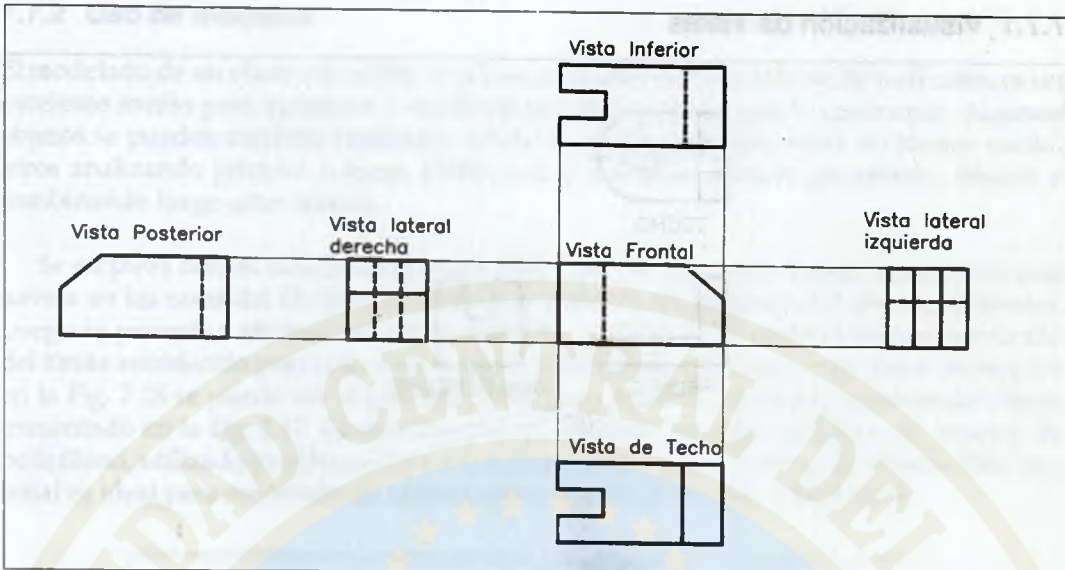


Figura 7.14. Distribución de las vistas en ISO-E

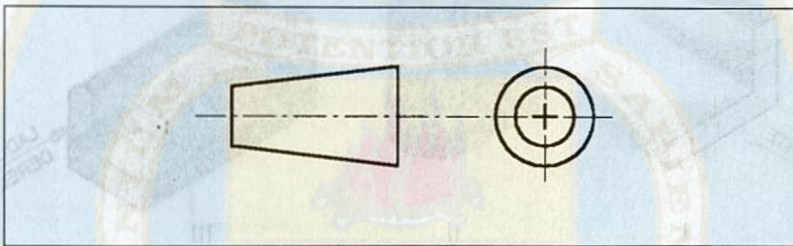


Figura 7.15. Símbolo ISO-E

7.7 VISUALIZACIÓN

La habilidad para **visualizar** o **pensar en tres dimensiones**, conocida como *concepción espacial*, es uno de los requisitos más importantes para el éxito de un ingeniero. En la práctica esto quiere decir, la habilidad para estudiar las vistas de un objeto y formarse un cuadro mental del mismo, o sea **visualizar** su forma tridimensional. Para el diseñador esto significa la habilidad para **sintetizar** o formar un cuadro mental antes de que el objeto exista, y la habilidad para expresar su imagen en términos de vistas.

El ingeniero es el planificador por excelencia en la construcción de nuevas máquinas, estructuras o procesos. Para él es indispensable la habilidad para visualizar y utilizar el lenguaje gráfico como medio para comunicar o registrar imágenes mentales.

Aun el ingeniero experimentado no puede ver un dibujo de vistas múltiples e instantáneamente visualizar el objeto que representa (salvo en los casos más simples), así como no puede captar las ideas en las páginas de un libro sólo con echarle una mirada. Es necesario **estudiar** el dibujo, para leer las líneas de manera lógica, poner en orden cada pequeño tramo hasta que emerge una idea clara del objeto como un todo.

A continuación se describe este proceso.

7.7.1 Visualización de vistas

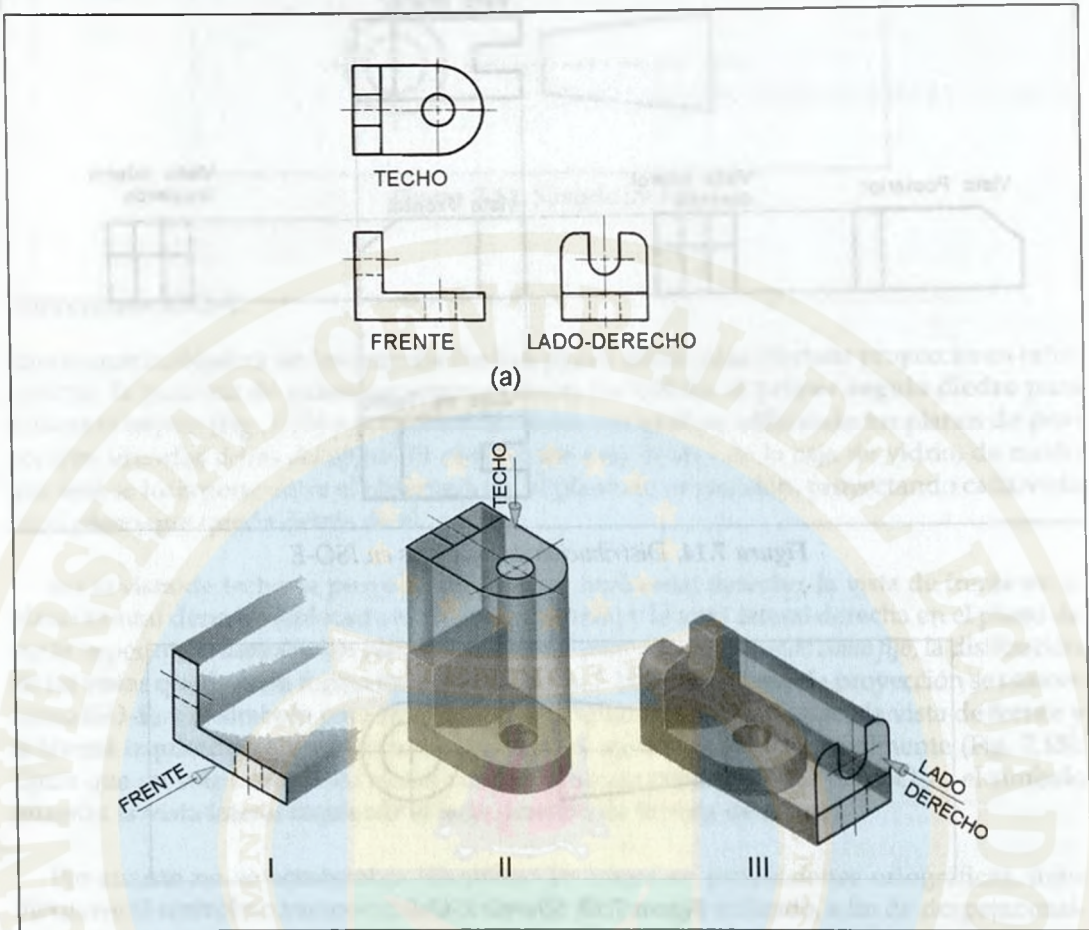


Figura 7.16. Visualización de vistas dadas

En la Fig. 7.16 se ilustra un método para leer dibujos de vistas, el cual es esencialmente el proceso inverso para obtener las vistas por proyección. Las vistas dadas de una pieza de soporte se muestran en (a). La vista de frente muestra en el paso I que el objeto tiene forma de L, qué tan ancho y qué tan alto es, y el espesor de sus miembros. El significado de las líneas escondidas y las líneas de centro (ejes) aún no es claro, así como tampoco sabemos cuál es su profundidad.

La vista de techo (por encima) nos dice, paso II, que el miembro horizontal es redondo en un extremo y que tiene una perforación. En el extremo izquierdo existe cierta clase de ranura. La vista de lado derecho nos dice, paso III, que el extremo izquierdo del objeto tiene esquinas redondeadas en la parte superior y tiene una ranura abierta extrema en posición vertical.

Así, cada vista proporciona cierta cantidad de información, cualquiera que sea la forma del objeto. Todas las vistas deben tenerse en cuenta, para visualizar el objeto completamente.

7.7.2 Uso de modelos

El modelado de un objeto en arcilla, cera o en cualquier material blando de fácil corte, es un excelente medio para aprender a visualizar las caras y aristas que lo conforman. Algunos objetos se pueden modelar fácilmente a base de cortes marcados sobre un bloque inicial: otros analizando primero y luego dividiendo el objeto en formas geométricas básicas y combinando luego estas formas.

Se empieza con un bloque rectangular (Fig. 7.18). Se marcan los bordes a cortar con una navaja en las caras del bloque según las tres vistas de las proyecciones correspondientes. Luego se procede a efectuar los cortes teniendo cuidado de no superar los cortes más allá del límite establecido para cada uno de ellos. Observando cada uno de los pasos mostrados en la Fig. 7.18 se puede ver el procedimiento para lograr el modelado correcto del objeto presentado en la Fig. 7.17. Comercialmente se consigue un material a base de espuma de polietileno, utilizado profusamente en arreglos florales, con el nombre de «oasis». Este material es ideal para modelado de objetos por su facilidad de corte y bajo costo.

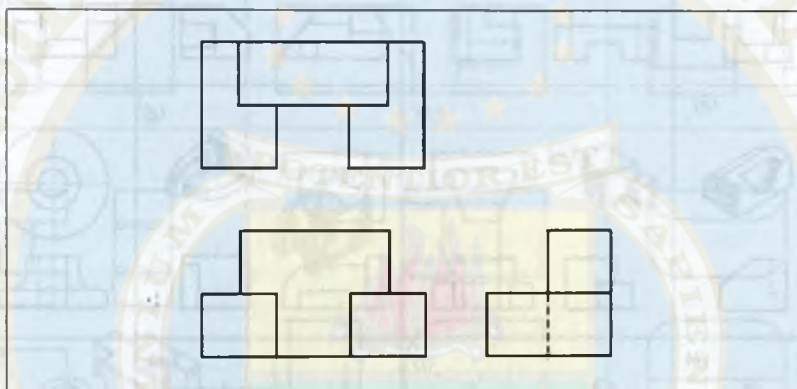


Figura 7.17. Proyecciones de un objeto

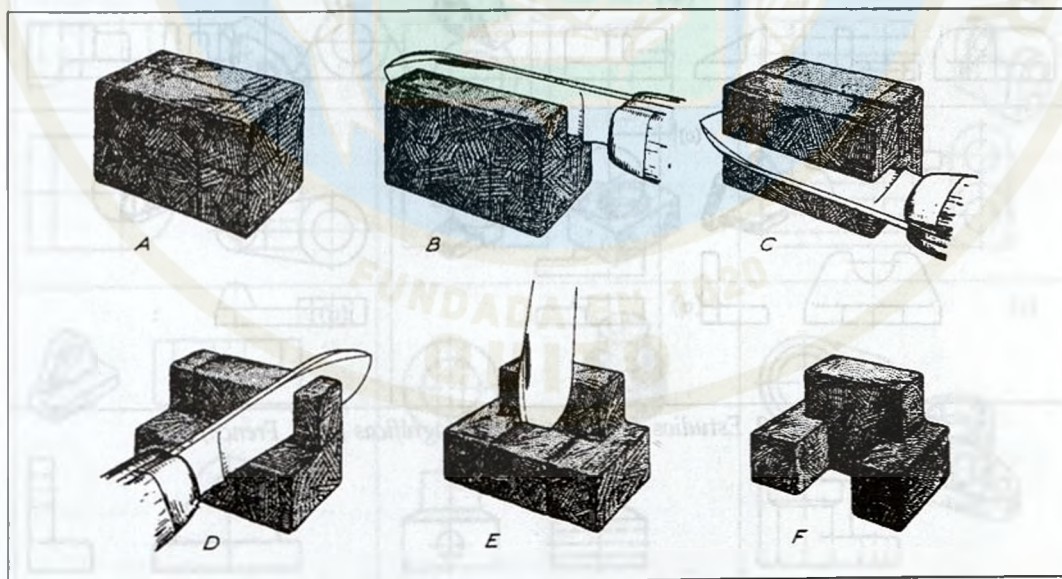


Figura 7.18. Modelado de un objeto. Marque los cortes en las caras de frente, techo y lateral. Haga los cortes B, C, D, E, F.

7.7.3 Ejercicios de visualización

Para aprender a interpretar correctamente una proyección ortográfica, el estudiante debe familiarizarse primero con la teoría y luego practicar esta teoría trasladando la representación pictórica (dibujo isométrico) del objeto a sus vistas ortográficas. Las Figuras 7.19 y 7.20 contienen gran variedad de objetos mostrados pictóricamente y trasladados a vistas ortográficas. Estudie estos objetos y vea por qué: (1) están orientados en esa forma, (2) por qué fueron escogidas esas vistas ortográficas, (3) la proyección de las aristas visibles, (4) la proyección de las aristas ocultas y (5) las líneas de centros.

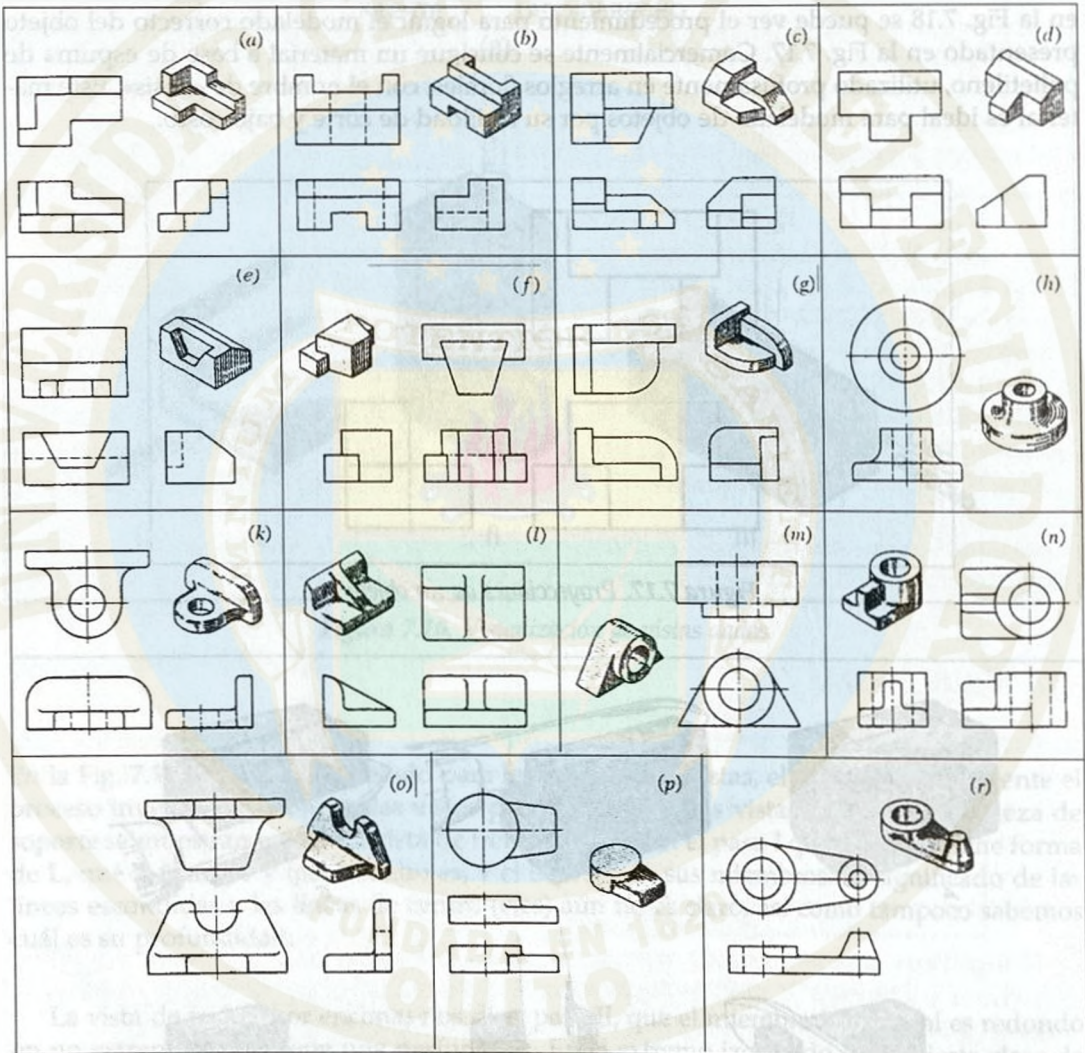


Figura 7.19. Estudios de proyecciones ortográficas I (Ed. French)

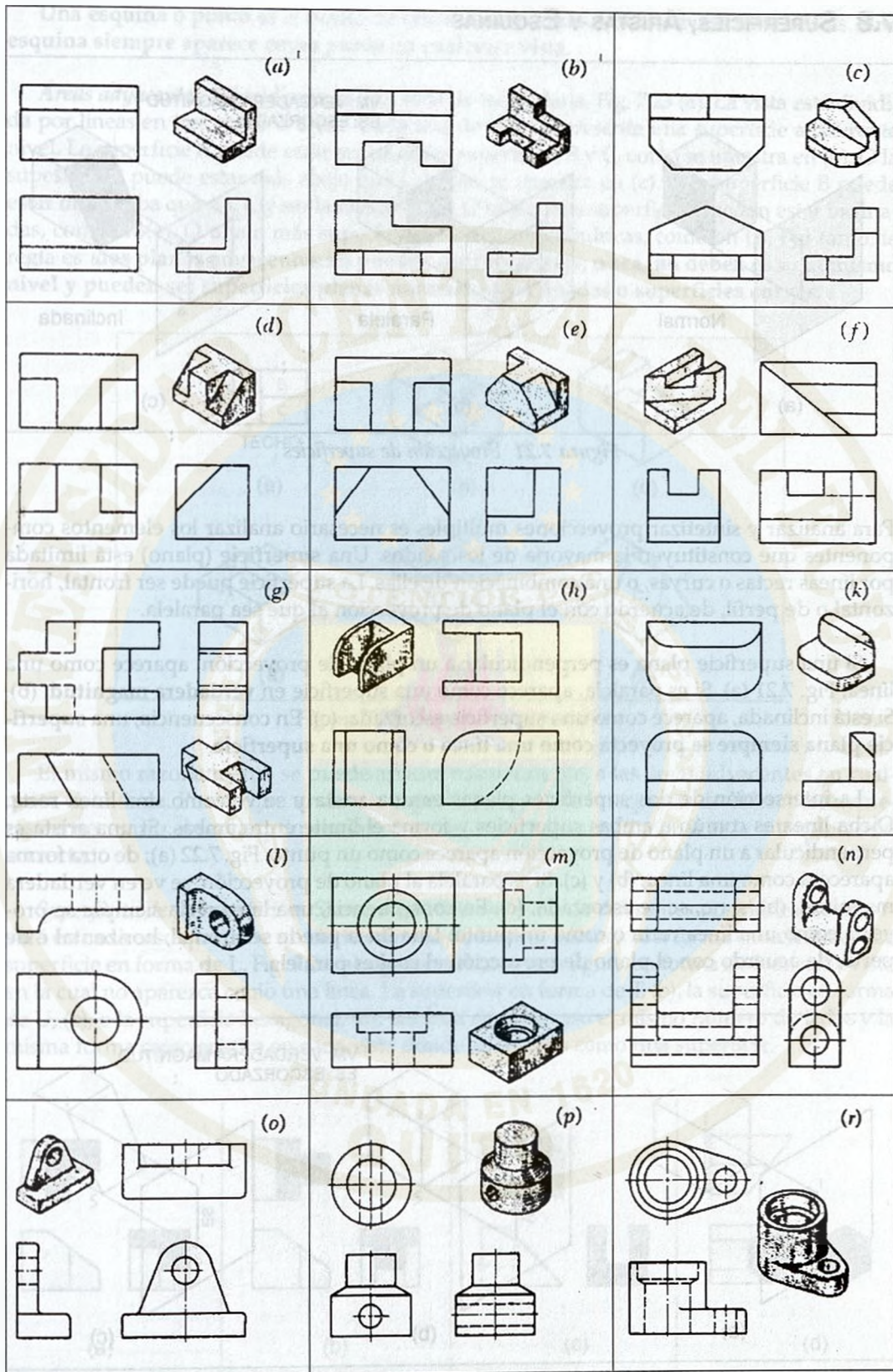


Figura 7.20. Estudios de proyecciones ortográficas II

7.8 SUPERFICIES, ARISTAS Y ESQUINAS

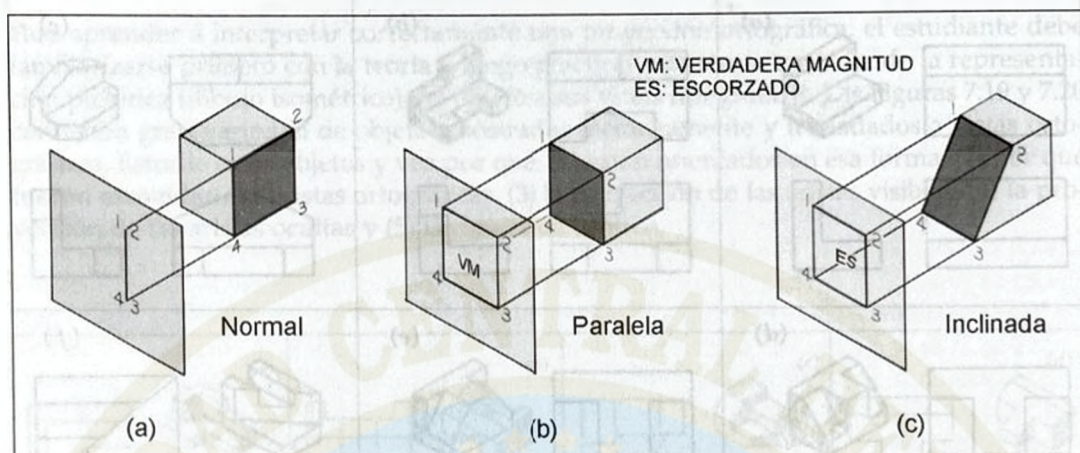


Figura 7.21 Proyección de superficies

Para analizar y sintetizar proyecciones múltiples es necesario analizar los elementos componentes que constituyen la mayoría de los sólidos. Una **superficie** (plano) está limitada por líneas rectas o curvas, o una combinación de ellas. La superficie puede ser frontal, horizontal o de perfil, de acuerdo con el plano de proyección al que sea paralela.

Si una superficie plana es perpendicular a un plano de proyección, aparece como una línea, Fig. 7.21 (a). Si es paralela, aparece como una superficie en **verdadera magnitud**, (b). Si está inclinada, aparece como una superficie **escorzada**, (c). En consecuencia, una **superficie plana siempre se proyecta como una línea o como una superficie**.

La intersección de dos superficies planas es una **arista** y se ve como una línea recta. Dicha línea es común a ambas superficies y forma el límite entre ambas. Si una arista es perpendicular a un plano de proyección aparece como un punto, Fig. 7.22 (a); de otra forma aparecerá como una línea, (b) y (c). Si es paralela al plano de proyección, se ve en verdadera magnitud, (b); si no, se ve escorzada, (c). En consecuencia, una línea recta siempre se proyecta como una línea recta o como un punto. Una línea puede ser frontal, horizontal o de perfil, de acuerdo con el plano de proyección al cual es paralela.

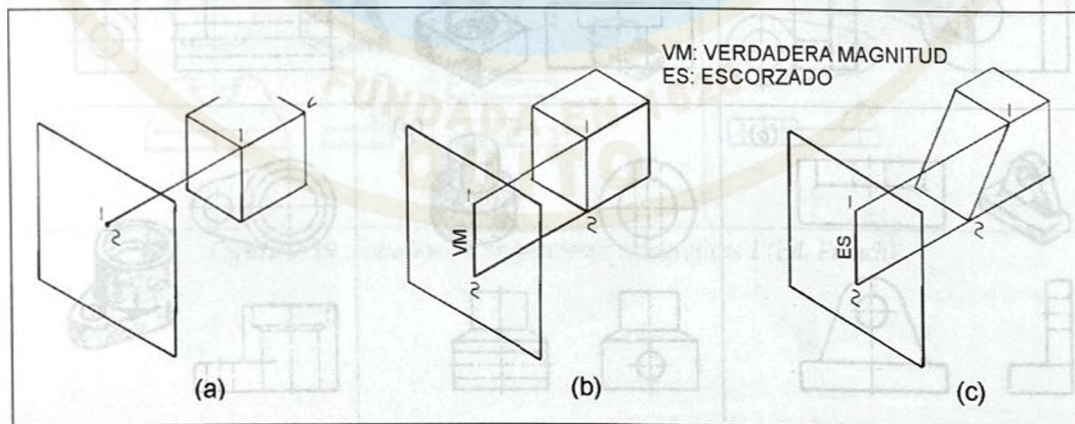


Figura 7.22. Proyección de líneas

Una **esquina** o punto es el punto de cruce común a tres o más superficies o aristas. Una **esquina siempre aparece como punto** en cualquier vista.

Áreas adyacentes. Consideremos una vista de techo dada, Fig. 7.23 (a). La vista está dividida por líneas en tres zonas o áreas. Cada una de éstas representa una superficie a diferente nivel. La superficie A puede estar arriba de las superficies B y C, como se muestra en (b). O la superficie B puede estar más abajo que C, como se muestra en (c). O la superficie B puede estar más arriba que A y C y ser la más alta, (d). O una o más superficies pueden estar inclinadas, como en (e). O una o más superficies pueden ser cilíndricas, como en (f). Por tanto, la regla es: **dos planos adyacentes no pueden ser coplanares, o sea, no deben estar al mismo nivel y pueden ser superficies planas normales o inclinadas o superficies curvas.**

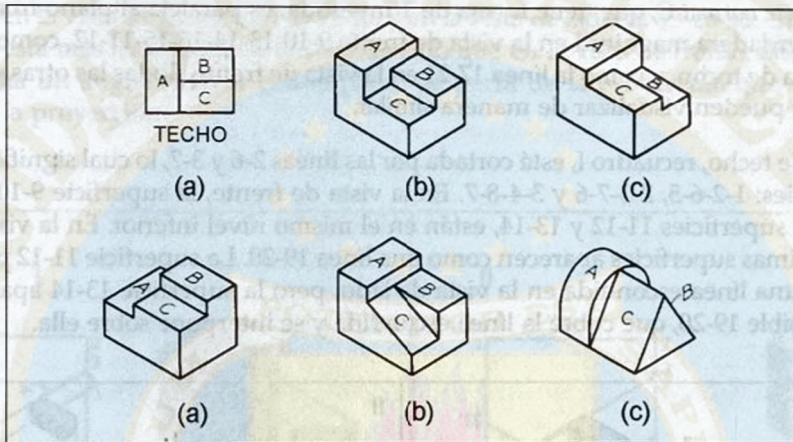


Figura 7.23. Superficies adyacentes

El mismo razonamiento se puede aplicar, naturalmente, a las áreas adyacentes en cualquier vista dada. Puesto que un área o superficie se puede interpretar de diferentes maneras, es necesario observar primero las otras vistas para determinar cuál es la interpretación correcta.

Superficies de forma similar. Si una superficie se ve desde diferentes posiciones, se observará en cada caso que tiene un cierto número de lados y además una forma característica. La superficie en forma de L, Fig. 7.24 (a), aparecerá como una figura en forma de L en cada vista en la cual no aparezca como una línea. La superficie en forma de T, (b), la superficie en forma de U, (c), o la superficie hexagonal, (d), tendrán en cada caso el mismo número de lados y la misma forma característica en cada vista donde aparezcan como una superficie.

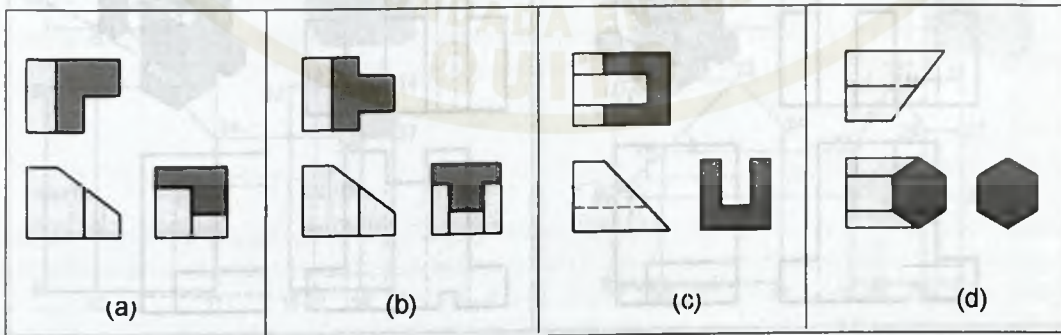


Figura 7.24. Formas similares

7.9 SUPERFICIES NORMALES

Una superficie normal es una superficie plana que es paralela al plano de proyección. Aparece en su verdadera magnitud y forma en el plano al cual es paralela, y como una línea vertical u horizontal en los planos adyacentes a la proyección.

En la Fig. 7.25 todas las superficies son normales. En el recuadro I, la *superficie normal A* es paralela al plano horizontal y aparece en su verdadera magnitud en la vista de techo en 2-3-7-6, como una línea 9-10 en la vista de frente, y como la línea 17-18 en la vista de lado.

La *superficie normal B* es paralela al plano de perfil y aparece en su verdadera magnitud en la vista de lado en 17-18-20-19; como una línea 10-13 en la vista de frente.

La *superficie normal C*, que tiene forma de T invertida, es paralela al plano frontal y aparece en su verdadera magnitud en la vista de frente 9-10-13-14-16-15-11-12, como una línea 5-8 en la vista de techo, y como la línea 17-21 en la vista de frente. Todas las otras superficies del objeto se pueden visualizar de manera similar.

La vista de techo, recuadro I, está cortada por las líneas 2-6 y 3-7, lo cual significa que hay tres superficies: 1-2-6-5, 2-3-7-6 y 3-4-8-7. En la vista de frente, la superficie 9-10 es la más grande y las superficies 11-12 y 13-14, están en el mismo nivel inferior. En la vista de lado estas dos últimas superficies aparecen como una línea 19-20. La superficie 11-12 puede aparecer como una línea escondida en la vista de lado, pero la superficie 13-14 aparece como una línea visible 19-20, que cubre la línea escondida y se interpone sobre ella.

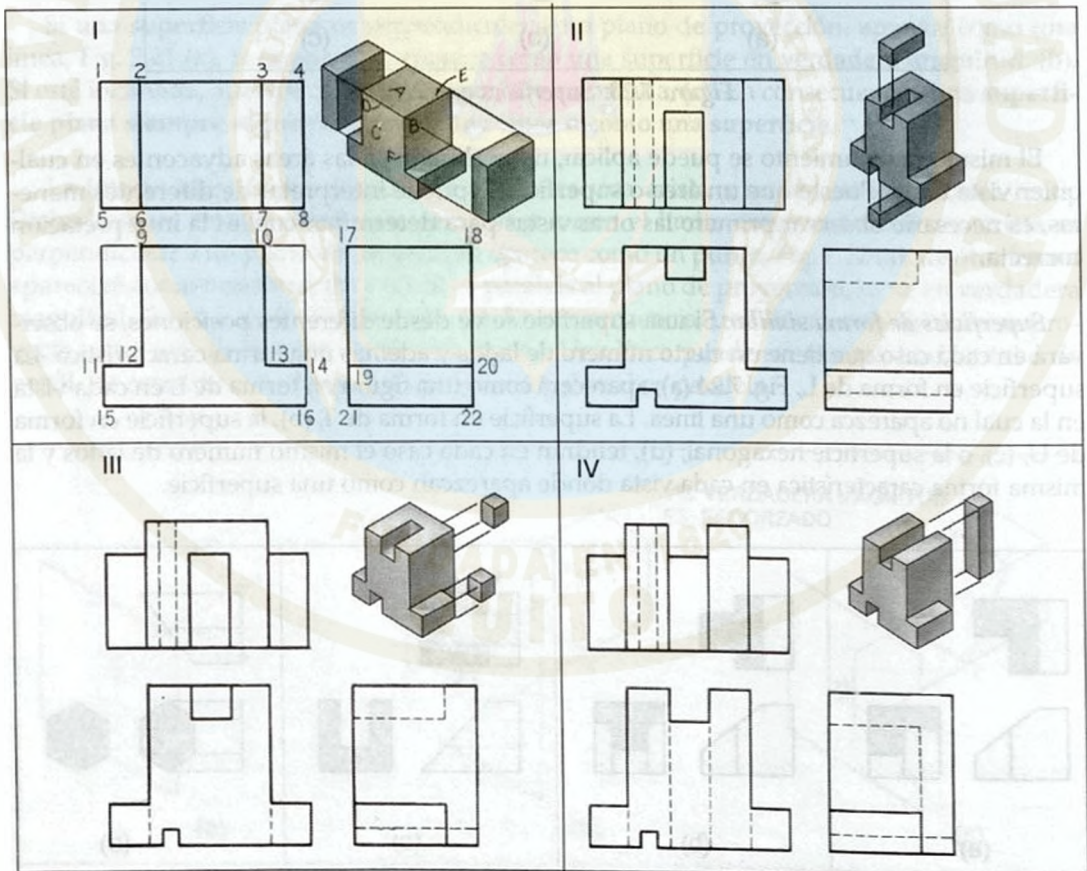


Figura 7.25. Superficies y aristas normales

7.10 SUPERFICIES INCLINADAS

Una superficie inclinada es una superficie plana que es perpendicular a un plano de proyección pero inclinada con respecto a los planos adyacentes.

Se ve como una línea recta en el plano al cual es perpendicular, y aparecerá escorzada (ES) Fig. 7.26, en los planos con respecto a los cuales está inclinada, siendo el grado de escoramiento proporcional al ángulo de inclinación.

En la Figura 7.26 se muestran cuatro etapas en las que se producen superficies inclinadas. En el recuadro I, la superficie inclinada A es perpendicular al plano horizontal de proyección y aparece como la línea 5-3 en la vista de techo. Se muestra como una superficie escorzada en la vista de frente en 7-8-11-10, y en la vista de lado 12-13-16-15. Observe que la superficie está más escorzada en la vista de lado que en la vista de frente, debido a que el plano forma un ángulo mayor con el plano de perfil de la proyección que con el plano frontal de la proyección.

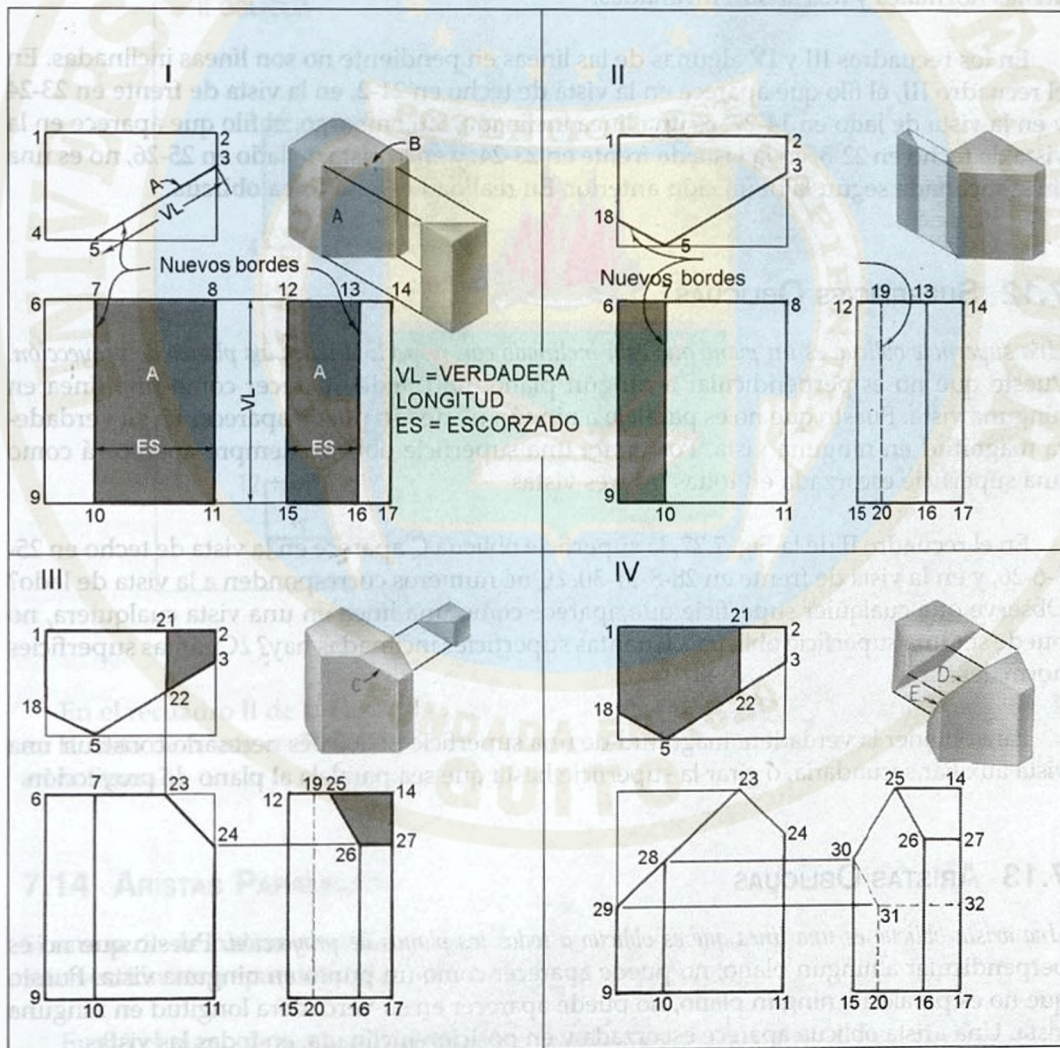


Figura 7.26. Superficies inclinadas

En el recuadro III, el filo 23-24 en la vista de frente es el filo de una superficie inclinada que aparece en la vista de techo como 21-2-3-22, y en la vista de lado como 25-14-27-26. Observe que 25-14 es de igual longitud a 21-22, y que la superficie tiene el mismo número de lados (cuatro) en ambas vistas en las cuales aparece como una superficie.

7.11 ARISTAS INCLINADAS

Una arista inclinada es una línea que es paralela a un plano de proyección pero inclinada con respecto a los planos adyacentes. Aparecerá en verdadera magnitud en el plano al cual es paralela, y escorzada en los planos adyacentes, siendo el grado de escorzamiento proporcional al ángulo de inclinación. La vista en verdadera longitud de una línea inclinada siempre es inclinada, mientras que las vistas escorzadas son líneas verticales u horizontales.

En el recuadro I de la Fig. 7.26, el filo inclinado B es paralelo al plano horizontal de proyección, y aparece en su verdadera magnitud en la vista de techo en 5-3. Está escorzado en la vista de frente en 7-8 y en la vista de lado 12-13. Observe que el plano A produce dos aristas normales y dos aristas inclinadas.

En los recuadros III y IV algunas de las líneas en pendiente no son líneas inclinadas. En el recuadro III, el filo que aparece en la vista de techo en 21-2, en la vista de frente en 23-24 y en la vista de lado en 14-27, es una línea inclinada. Sin embargo, el filo que aparece en la vista de techo en 22-3, en la vista de frente en 23-24, y en la vista de lado en 25-26, no es una línea inclinada según la definición anterior. En realidad es una **línea oblicua**.

7.12 SUPERFICIES OBLICUAS

Una superficie oblicua es un plano que está inclinado con respecto a todos los planos de proyección. Puesto que no es perpendicular a ningún plano, no puede aparecer como una línea en ninguna vista. Puesto que no es paralela a ningún plano, no puede aparecer en su verdadera magnitud en ninguna vista. Por tanto, una superficie oblicua siempre aparecerá como una superficie escorzada en todas las tres vistas.

En el recuadro II de la Fig. 7.27, la superficie oblicua C aparece en la vista de techo en 25-3-6-26, y en la vista de frente en 28-8-31-30. ¿Qué números corresponden a la vista de lado? Observe que cualquier superficie que aparece como una línea en una vista cualquiera, no puede ser una superficie oblicua. ¿Cuántas superficies inclinadas hay? ¿Cuántas superficies normales?

Para obtener la verdadera magnitud de una superficie oblicua es necesario construir una vista auxiliar secundaria, o girar la superficie hasta que sea paralela al plano de proyección.

7.13 ARISTAS OBLICUAS

Una arista oblicua es una línea que es oblicua a todos los planos de proyección. Puesto que no es perpendicular a ningún plano, no puede aparecer como un punto en ninguna vista. Puesto que no es paralela a ningún plano, no puede aparecer en su verdadera longitud en ninguna vista. Una arista oblicua aparece escorzada y en posición inclinada, en todas las vistas.

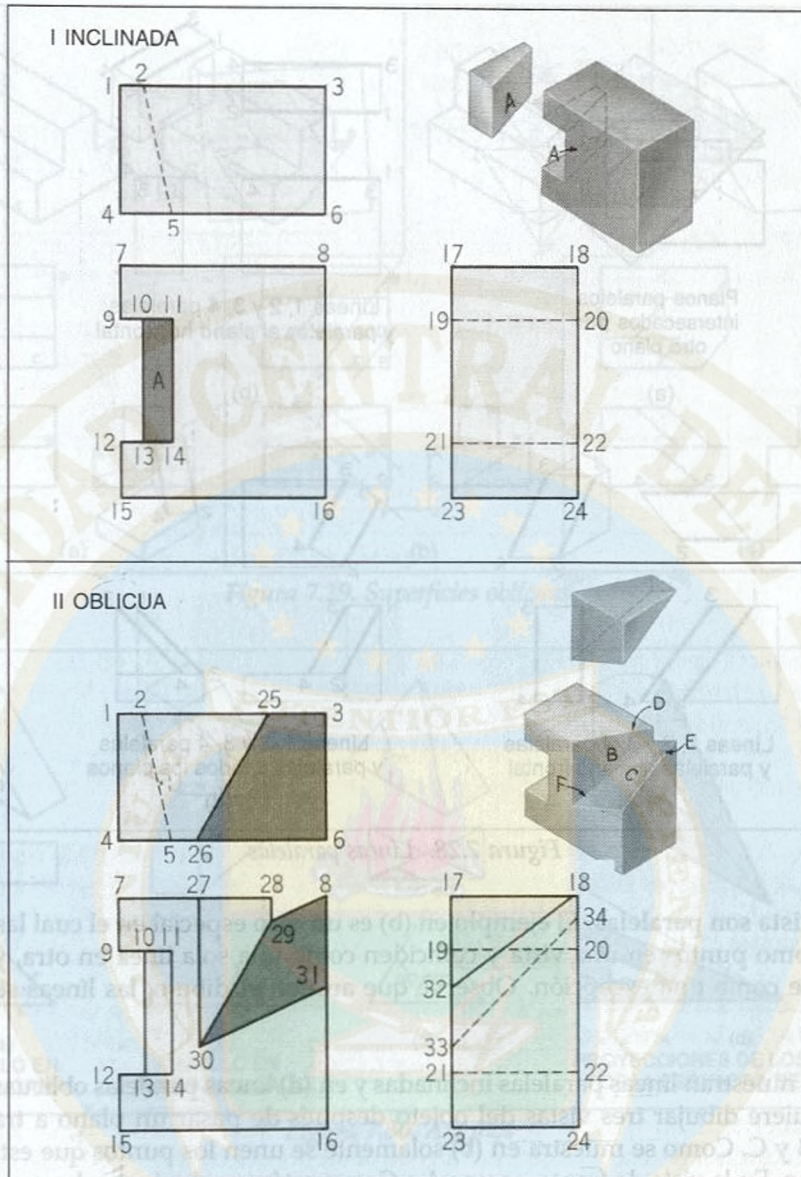


Figura 7.27. Superficies inclinadas y oblicuas

En el recuadro II de la Fig. 7.27, la arista oblicua F aparece en la vista de techo en 25-26, en la vista de frente en 30-29 y en la vista de lado en 33-34. ¿Hay alguna otra arista oblicua en la figura?

7.14 ARISTAS PARALELAS

Si una serie de planos paralelos es intersecada por otro plano, las líneas resultantes de la intersección serán paralelas. Fig. 7.28 (a).

En (b) el plano de techo del objeto interseca los planos frontal y posterior, produciendo las aristas paralelas 1-2, 3-4. Si dos líneas son paralelas en el espacio, sus proyecciones en

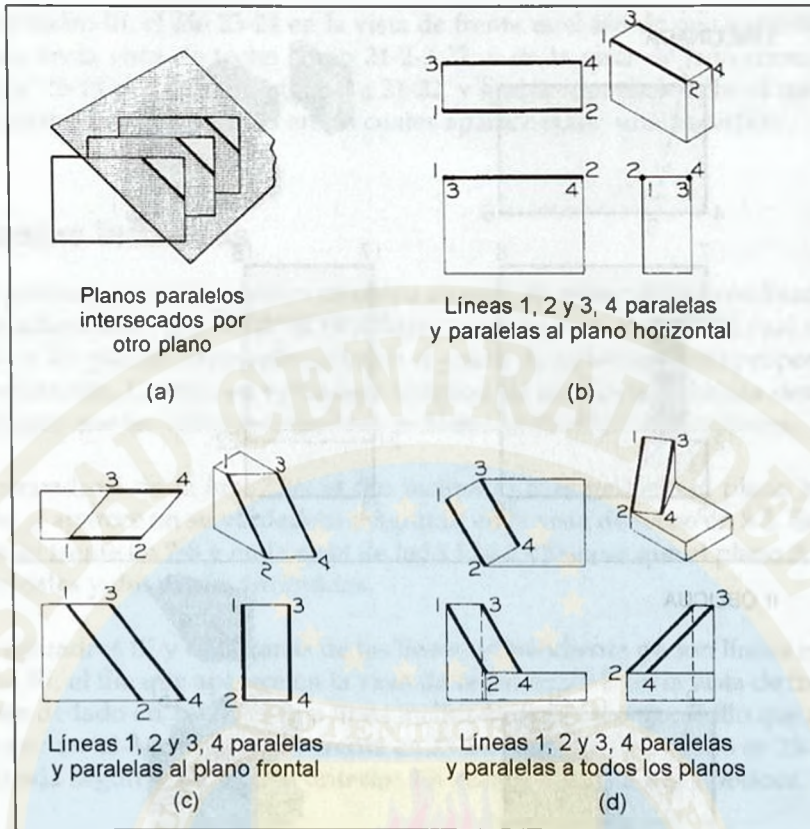


Figura 7.28. Líneas paralelas

cualquier vista son paralelas. El ejemplo en (b) es un caso especial en el cual las dos líneas aparecen como puntos en una vista y coinciden como una sola línea en otra, y no deben considerarse como una excepción. Observe que aun en el dibujo, las líneas se muestran paralelas.

En (c) se muestran líneas paralelas inclinadas y en (d) líneas paralelas oblicuas. En la Fig. 7.29 se requiere dibujar tres vistas del objeto después de pasar un plano a través de los puntos A, B y C. Como se muestra en (b) solamente se unen los puntos que están sobre el mismo plano. En la vista de frente, se une A a C, que están en el mismo plano, extendiendo la línea hasta P en el filo vertical frontal del bloque extendido. En la vista de lado, se une P a B, y en la vista de techo se une B a A. Complete el dibujo siguiendo la regla: las líneas paralelas en el espacio se proyectarán como líneas paralelas en cualquier vista. Las líneas restantes, por tanto, se dibujan paralelas a las líneas AP, PB y BA.

7.15 ÁNGULOS

Si un ángulo está en un plano normal —o sea, paralelo a un plano de proyección— el ángulo se verá en verdadera magnitud en el plano de proyección al cual es paralelo, Fig. 7.30 (a).

Si el ángulo está en un plano inclinado, (b) y (c), el ángulo se puede proyectar más grande o más pequeño que el ángulo verdadero, dependiendo de su posición. En (b) el ángulo de 45° se ve **aumentado** en la vista de frente, y en (c) el ángulo de 60° se ve disminuido en ambas vistas.

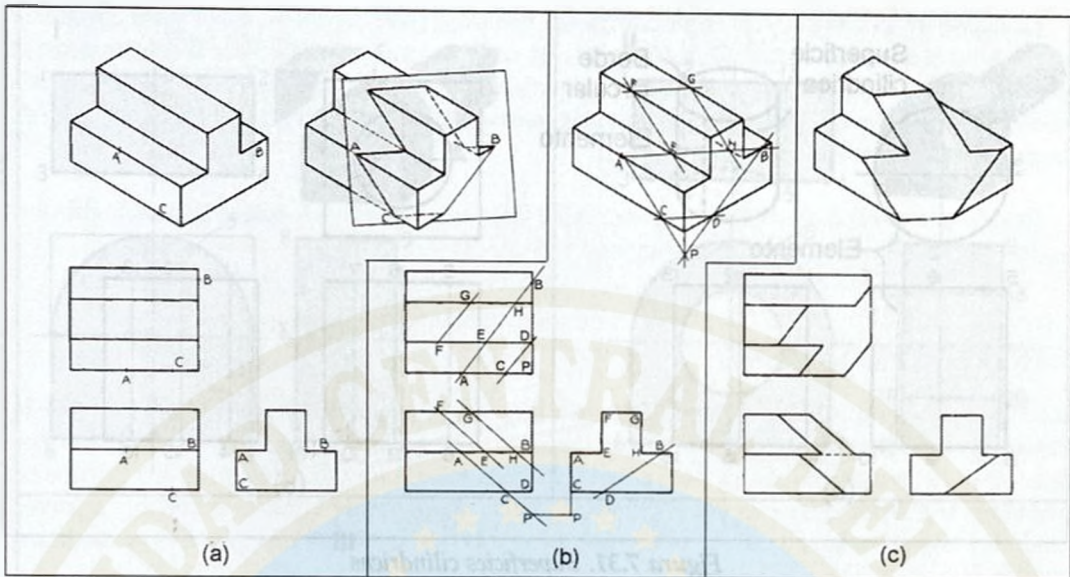


Figura 7.29. Superficies oblicuas

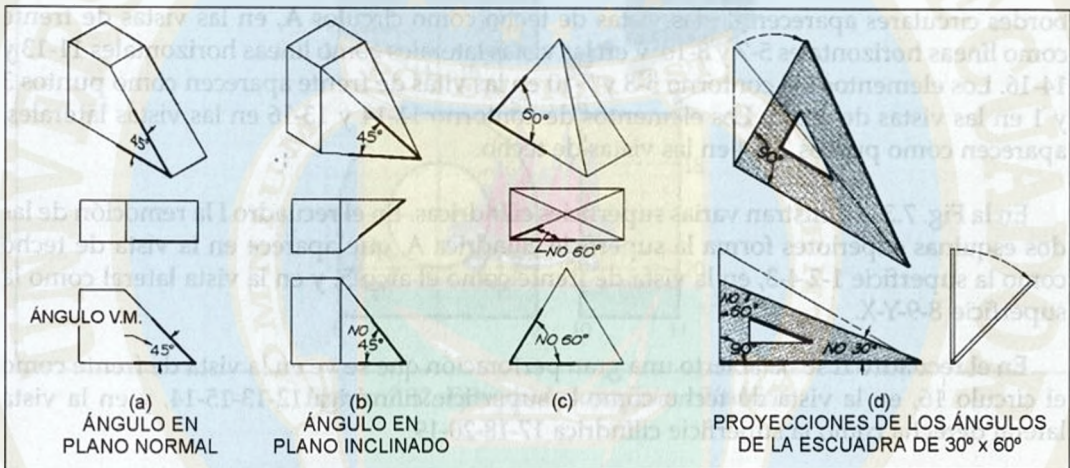


Figura 7.30. Ángulos

Un ángulo de 90° se proyectará en su **verdadera magnitud**, aunque esté en un plano inclinado, siempre que una de las líneas del ángulo sea una línea normal, como se muestra en (d). En esta figura el ángulo de 60° se proyecta aumentado y el ángulo de 30° disminuido.

7.16 SUPERFICIES CILÍNDRICAS

En la Fig. 7.31 (a) se muestran tres vistas de un **cilindro circular recto**, el tipo más común. La superficie cilíndrica simple está intersecada por dos superficies planas (normales), formando dos líneas curvas de intersección o bordes circulares (las bases del cilindro). Estos bordes circulares son los únicos bordes reales en el cilindro.

El cilindro está representado en el dibujo por sus bordes circulares y los elementos del contorno. Un elemento es una línea recta sobre la superficie del cilindro, paralela al eje, como se muestra en el dibujo del cilindro en (a). En esta figura, tanto en (a) como en (b), los

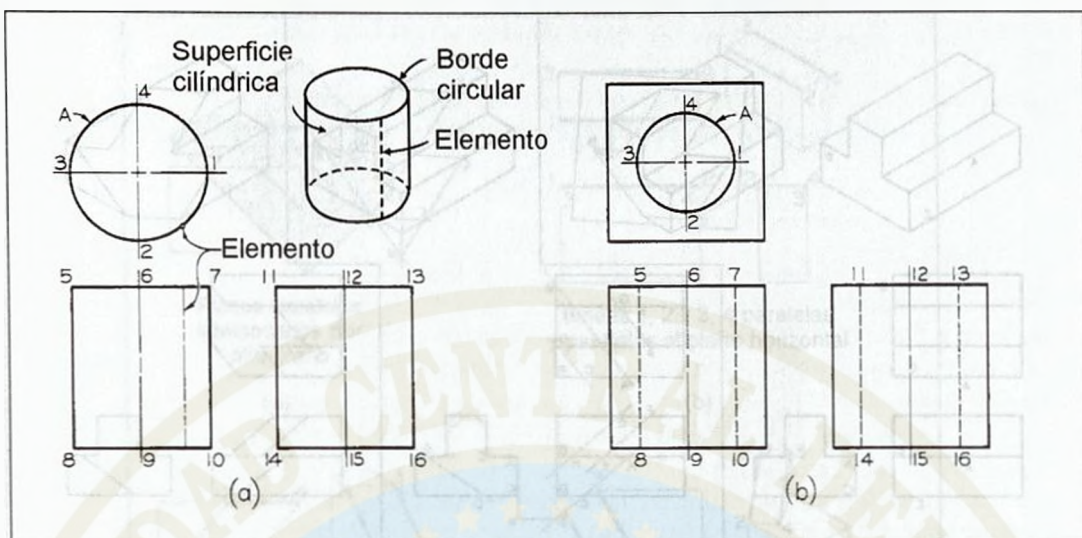


Figura 7.31. Superficies cilíndricas

bordes circulares aparecen en las vistas de techo como círculos A, en las vistas de frente como líneas horizontales 5-7 y 8-10, y en las vistas laterales como líneas horizontales 11-13 y 14-16. Los elementos del contorno 5-8 y 7-10 en las vistas de frente aparecen como puntos 3 y 1 en las vistas de techo. Los elementos de contorno 11-14 y 13-16 en las vistas laterales, aparecen como puntos 2 y 4 en las vistas de techo.

En la Fig. 7.32 se ilustran varias superficies cilíndricas. En el recuadro I la remoción de las dos esquinas superiores forma la superficie cilíndrica A, que aparece en la vista de techo como la superficie 1-2-4-3, en la vista de frente como el arco 5, y en la vista lateral como la superficie 8-9-Y-X.

En el recuadro II se ha abierto una gran perforación que se ve en la vista de frente como el círculo 16, en la vista de techo como la superficie cilíndrica 12-13-15-14, y en la vista lateral derecha como la superficie cilíndrica 17-18-20-19.

En el recuadro III se han agregado dos perforaciones adicionales de doble diámetro, uno mayor y otro menor (círculos dobles en la vista de frente), las cuales producen cuatro superficies cilíndricas y dos superficies normales. Las dos superficies normales son las correspondientes al tope de las perforaciones mayores.

7.17 CILINDROS Y ELIPSES

Si un plano inclinado corta un cilindro, como en la figura 7.33 (a), la superficie inclinada está limitada por una elipse. La elipse aparece como un círculo 1 en la vista de techo, como una línea recta 2-3 en la vista de frente, y como una elipse ADBC en la vista lateral.

Observe que el círculo 1 en la vista de techo permanece siendo un círculo, sin importar el ángulo de inclinación del corte. Si el corte es a 45° con la horizontal, la elipse aparecerá como un círculo en la vista lateral (véase líneas punteadas), puesto que el eje mayor y el eje menor en esa vista se igualan. Para hallar la verdadera magnitud y forma de la elipse se requiere una vista auxiliar, cuya visual es perpendicular a la línea 2-3 de la vista de frente.

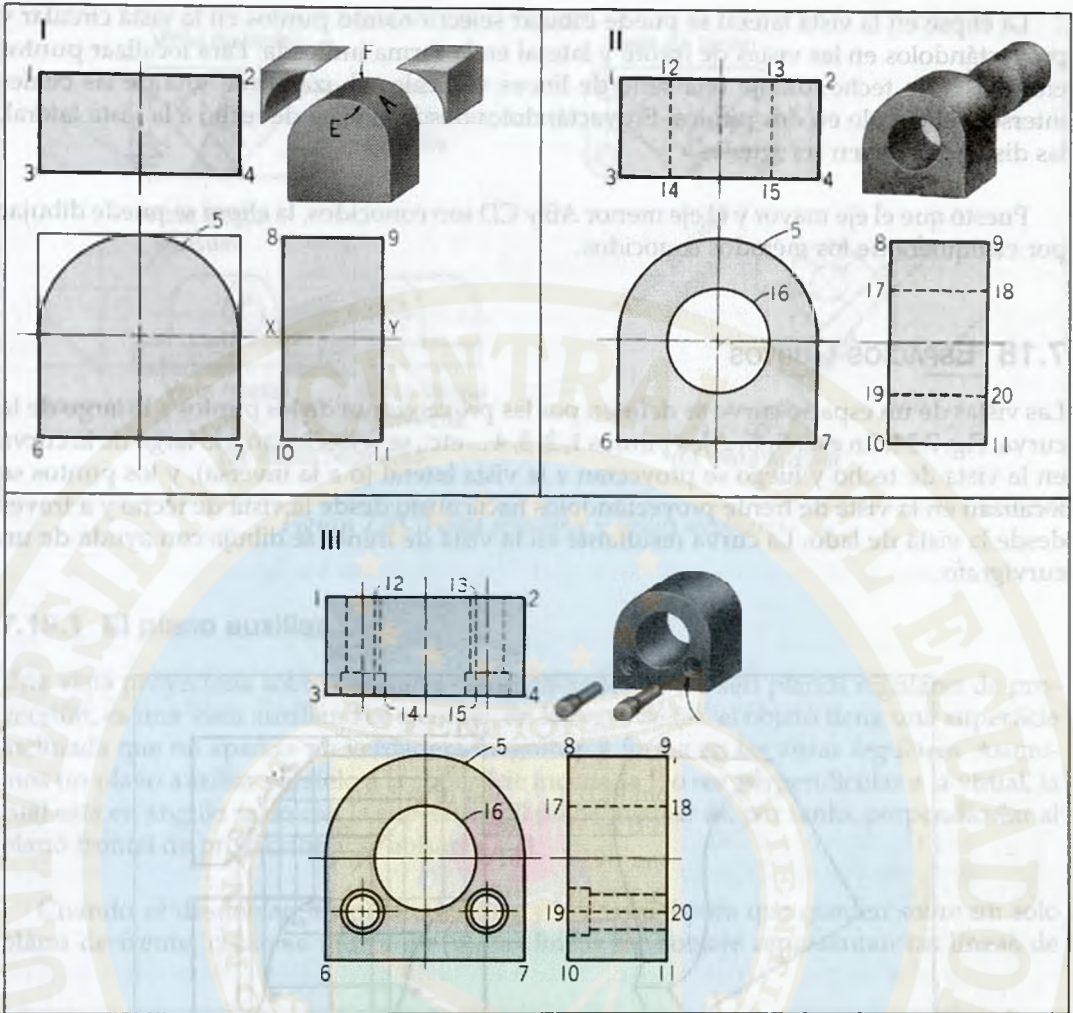


Figura 7.32. Ejemplo de superficies cilíndricas

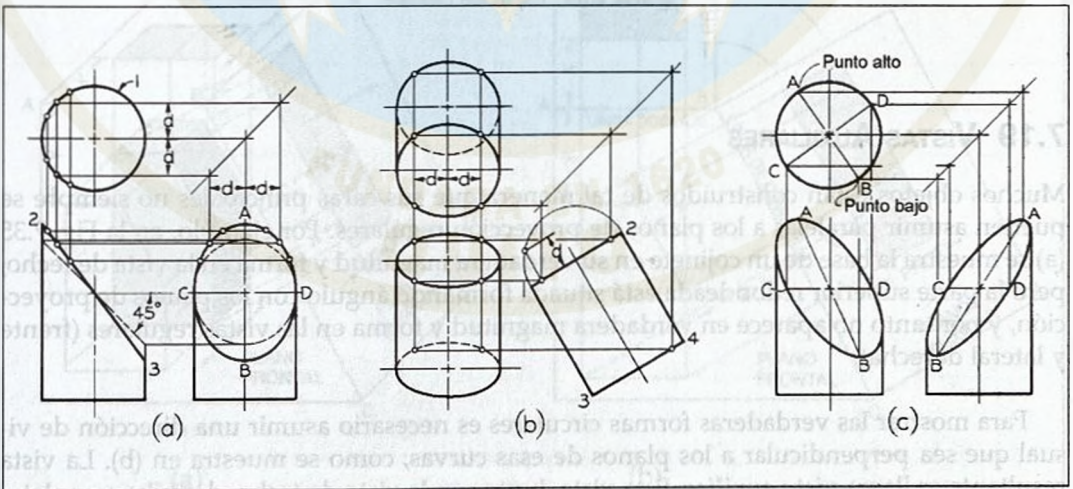


Figura 7.33. Cilindros y elipses

La elipse en la vista lateral se puede dibujar seleccionando puntos en la vista circular y proyectándolos en las vistas de frente y lateral en la forma indicada. Para localizar puntos en la vista de techo, dibuje una serie de líneas verticales al azar, cada una de las cuales interseca el círculo en dos puntos. Proyectándolos desde la vista de techo a la vista lateral, las distancias deben ser iguales.

Puesto que el eje mayor y el eje menor AB y CD son conocidos, la elipse se puede dibujar por cualquiera de los métodos conocidos.

7.18 ESPACIOS CURVOS

Las vistas de un espacio curvo se definen por las proyecciones de los puntos a lo largo de la curva, Fig. 7.34. En esta figura, los puntos 1, 2, 3, 4 ... etc., se seleccionan a lo largo de la curva en la vista de techo y luego se proyectan a la vista lateral (o a la inversa), y los puntos se localizan en la vista de frente proyectándolos hacia abajo desde la vista de techo y a través desde la vista de lado. La curva resultante en la vista de frente se dibuja con ayuda de un curvógrafo.

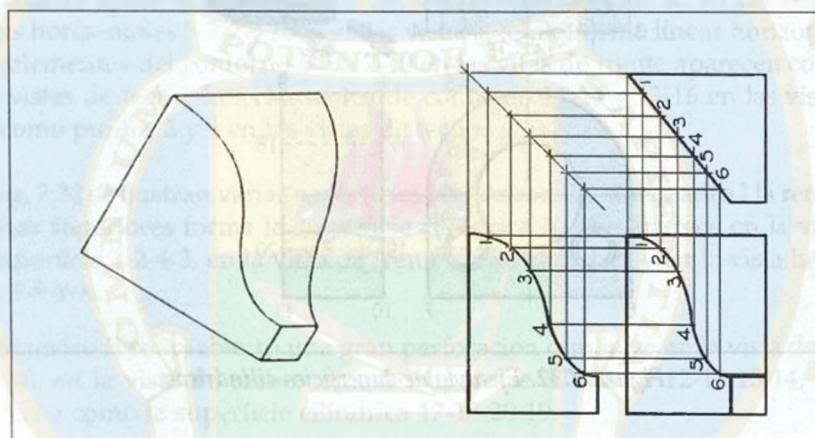


Figura 7.34. Espacios curvos

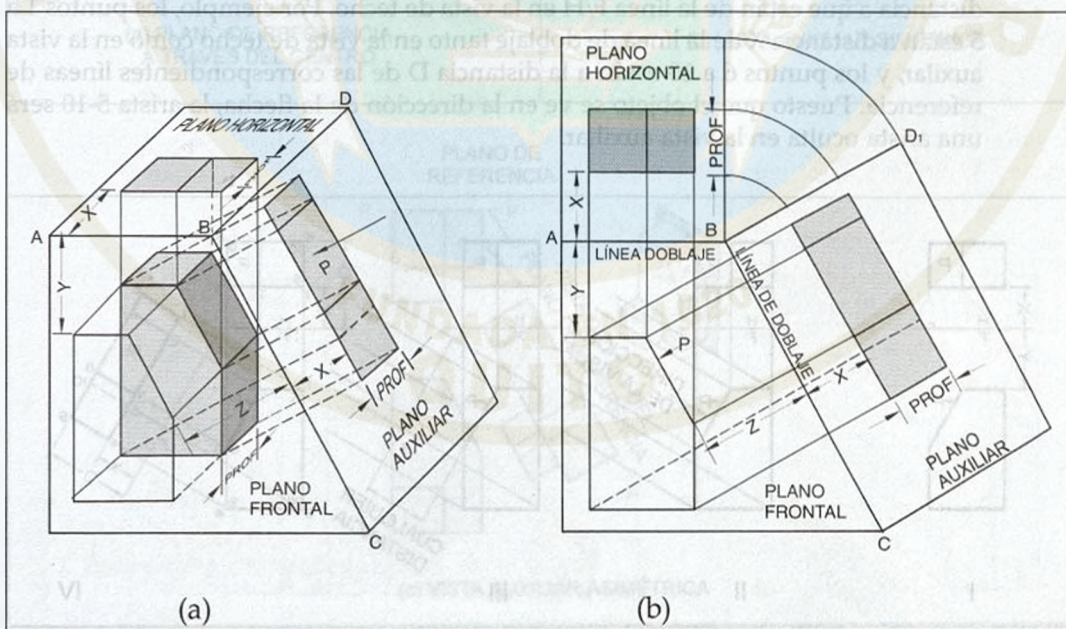
7.19 VISTAS AUXILIARES

Muchos objetos están contruidos de tal manera que sus caras principales no siempre se pueden asumir paralelas a los planos de proyección regulares. Por ejemplo, en la Fig. 7.35 (a) se muestra la base de un cojinete en su verdadera magnitud y forma en la vista de techo, pero la parte superior redondeada está situada formando ángulo con los planos de proyección, y por tanto no aparece en verdadera magnitud y forma en las vistas regulares (frente y lateral derecha).

Para mostrar las verdaderas formas circulares es necesario asumir una dirección de visual que sea perpendicular a los planos de esas curvas, como se muestra en (b). La vista resultante se llama *vista auxiliar*. Esta vista, junto con la vista de techo, describe completamente el objeto, y las vistas frontal y lateral ya no son necesarias.

7.19.1 El plano auxiliar

Quando se desdoblan los planos auxiliar y horizontal para que queden sobre un solo plano de frente, como se indica en (b), las líneas de doblaje representan las líneas de



167

abisagramiento que unen los planos. El dibujo se simplifica omitiendo los planos, como se indica en (c), y como se indicará posteriormente, las líneas de doblaje también pueden omitirse. La superficie inclinada P se muestra en verdadera magnitud y forma en la vista auxiliar, habiéndose proyectado su dimensión más larga desde la vista de frente y su profundidad desde la vista de techo.

7.19.2 Líneas de doblaje o de referencia

Como se muestra en la Fig. 7.36 (b), las líneas de doblaje son las líneas de abisagramiento de la caja de vidrio. Las distancias X deben ser iguales, puesto que ambas representan la distancia de la superficie frontal del objeto al plano frontal de proyección.

Aunque las distancias X deben ser iguales, las distancias Y y Z, desde la vista frontal a las respectivas líneas de doblaje, pueden ser o no, iguales.

Los pasos para dibujar una vista auxiliar con ayuda de líneas de doblaje (también se llaman «líneas de referencia»), se indican en la Fig. 7.37, y son los siguientes:

- I. Se dan las vistas de techo y de frente. Se requiere dibujar una vista auxiliar que muestre la verdadera magnitud y forma de la superficie inclinada P. Dibuje la línea de doblaje H/F entre las vistas dadas en ángulo recto con los proyectores. Las distancias X y Y pueden ser o no, iguales.
- II. Trace una flecha indicando la dirección de la visual. Trace los proyectores paralelos a la dirección de la visual y, a cualquier distancia de la superficie P frontal, trace la línea de doblaje F/I perpendicular a los proyectores.
- III. Dibuje la vista auxiliar, usando el sistema de numeración conocido. Localice todos los puntos que están a la misma distancia de la línea F/I, tomando como referencia la distancia a que están de la línea F/H en la vista de techo. Por ejemplo, los puntos 1 a 5 están a distancia X de la línea de doblaje tanto en la vista de techo como en la vista auxiliar, y los puntos 6 a 10 están a la distancia D de las correspondientes líneas de referencia. Puesto que el objeto se ve en la dirección de la flecha, la arista 5-10 será una arista oculta en la vista auxiliar.

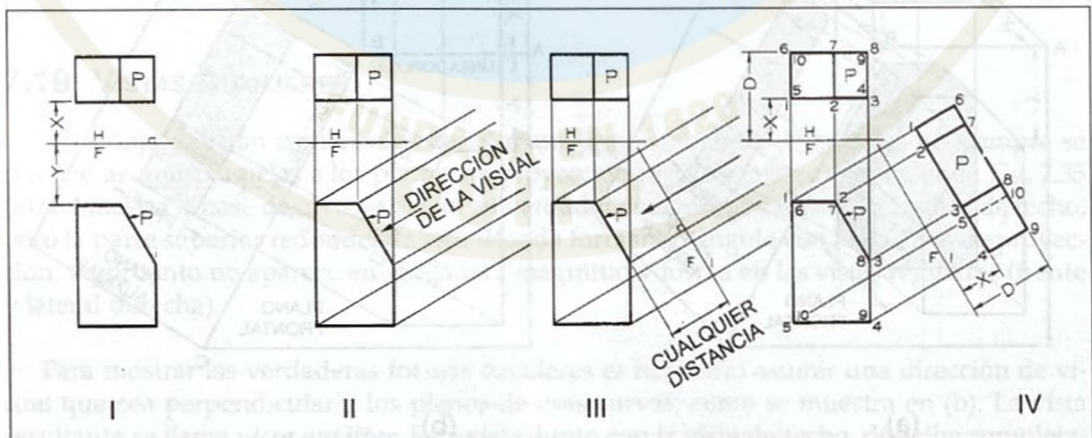


Figura 7.37. Dibujo de una vista auxiliar

7.19.3 Planos de referencia

En la Fig. 7.36 (b) las líneas de doblaje son «vistas de filo» del plano frontal de proyección. En efecto, el plano frontal se usa como plano de referencia o plano de datos, para transferir las distancias (medidas de profundidad) de la vista de techo a la vista auxiliar.

En vez de usar uno de los planos de proyección como plano de referencia, con frecuencia es más conveniente asumir un plano de referencia dentro de la caja de vidrio paralelo al plano de proyección que toque o corte el objeto. Por ejemplo, Fig. 7.38 (a), se puede asumir un plano de referencia que coincida con la superficie frontal del objeto. Este plano aparecerá de filo en la vista de techo y la vista auxiliar, y las dos líneas de referencia se usan igual que si fueran líneas de doblaje. Las dimensiones D , a las líneas de referencia son iguales. La ventaja del método del plano de referencia es que se necesitan menos medidas, puesto que algunos puntos del objeto están sobre la línea del plano de referencia.

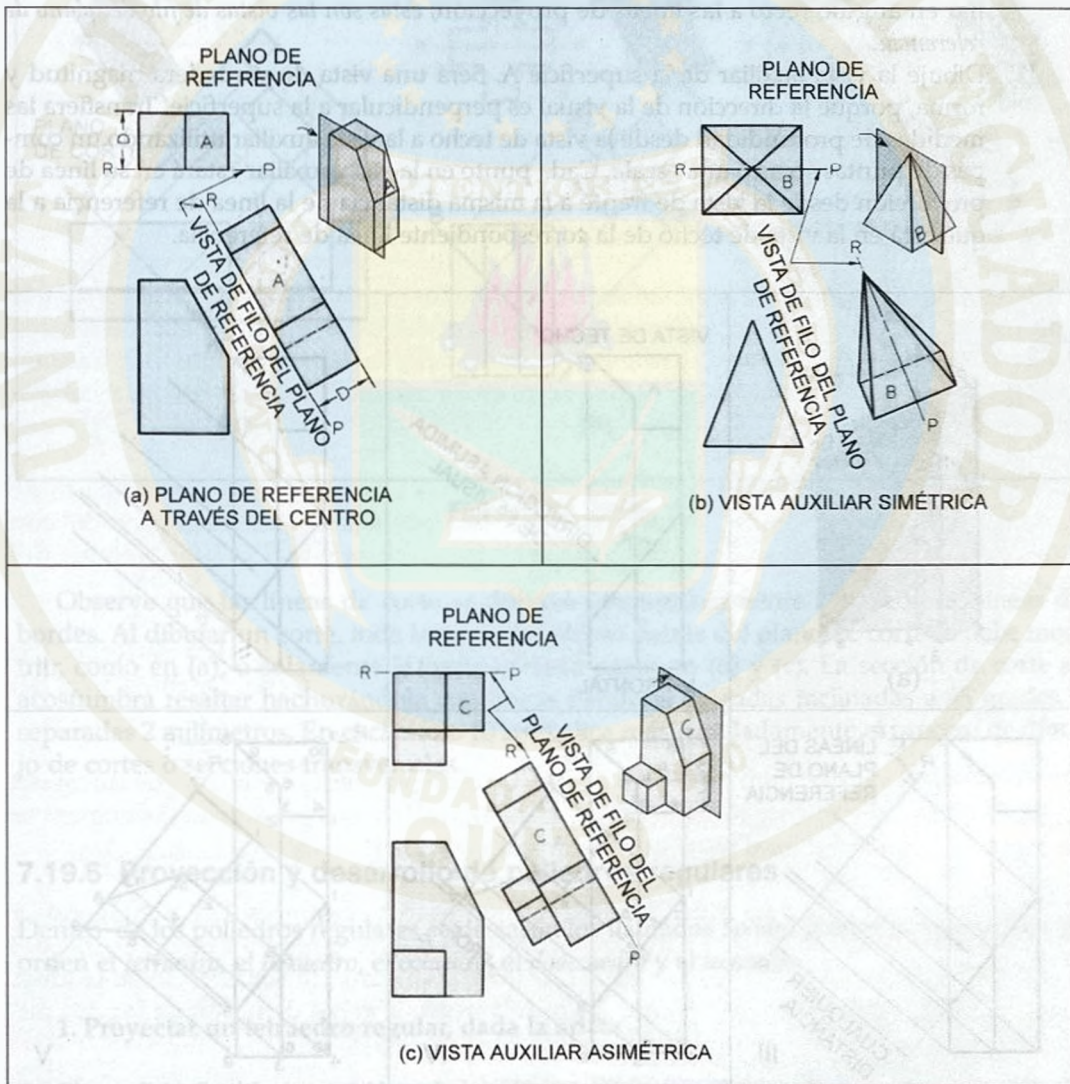


Figura 7.38. Posición del plano de referencia

El plano de referencia puede coincidir con la superficie frontal del objeto como en (a), o puede cortar el objeto como en (b) si este es simétrico, o puede coincidir con la superficie de atrás del objeto como en (c), o a través de un punto intermedio cualquiera. O sea que se escoge la posición más conveniente para transferir las distancias con respecto a él.

7.19.4 Dibujar una vista auxiliar usando el plano de referencia

El objeto mostrado en la Fig. 7.39 se numera en la forma acostumbrada. Para dibujar la vista auxiliar se procede en la siguiente forma:

- I. Dibuje dos vistas del objeto y una flecha indicando la dirección de la visual para la vista auxiliar.
- II. Dibuje líneas de proyección paralelas a la flecha.
- III. Asuma que el plano de referencia coincide con la cara posterior del objeto en la forma indicada en (a). Dibuje las líneas de referencia en las vistas de techo y auxiliar en ángulo recto a las líneas de proyección; *estas son las vistas de filo del plano de referencia*.
- IV. Dibuje la vista auxiliar de la superficie A. Será una vista de verdadera magnitud y forma, porque la dirección de la visual es perpendicular a la superficie. Transfiera las medidas de profundidad desde la vista de techo a la vista auxiliar utilizando un compás de puntas secas o una escala. Cada punto en la vista auxiliar estará en su línea de proyección desde la vista de frente a la misma distancia de la línea de referencia a la que está en la vista de techo de la correspondiente línea de referencia.

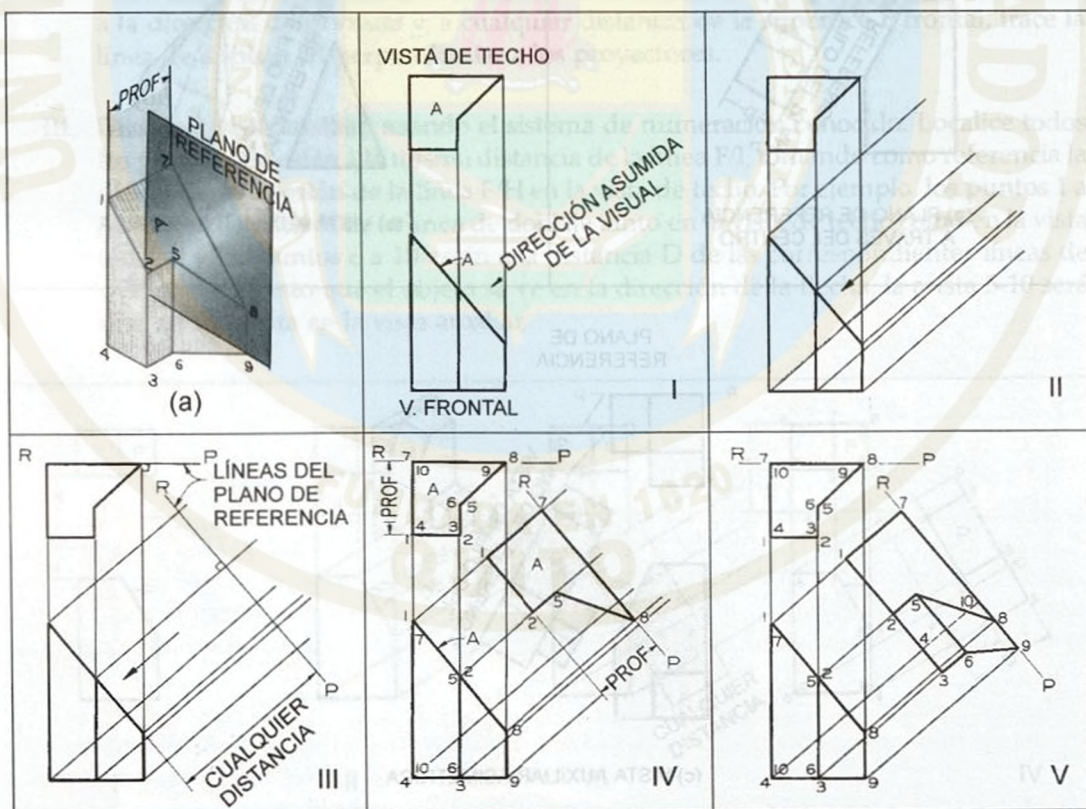


Figura 7.39. Dibujo de una vista auxiliar con plano de referencia

- V. Complete la vista auxiliar añadiendo otros bordes visibles y superficies del objeto. Cada punto numerado en la vista auxiliar está en su línea de proyección desde la vista de frente y a la misma distancia de la línea de referencia a la que está en la vista de techo.

7.19.5 Cortes

Un corte es simplemente la vista auxiliar de una sección del objeto. En la Fig. 7.40 (a), observe la línea del plano de corte A-A y las flechas extremas que indican la dirección de la visual para el corte.

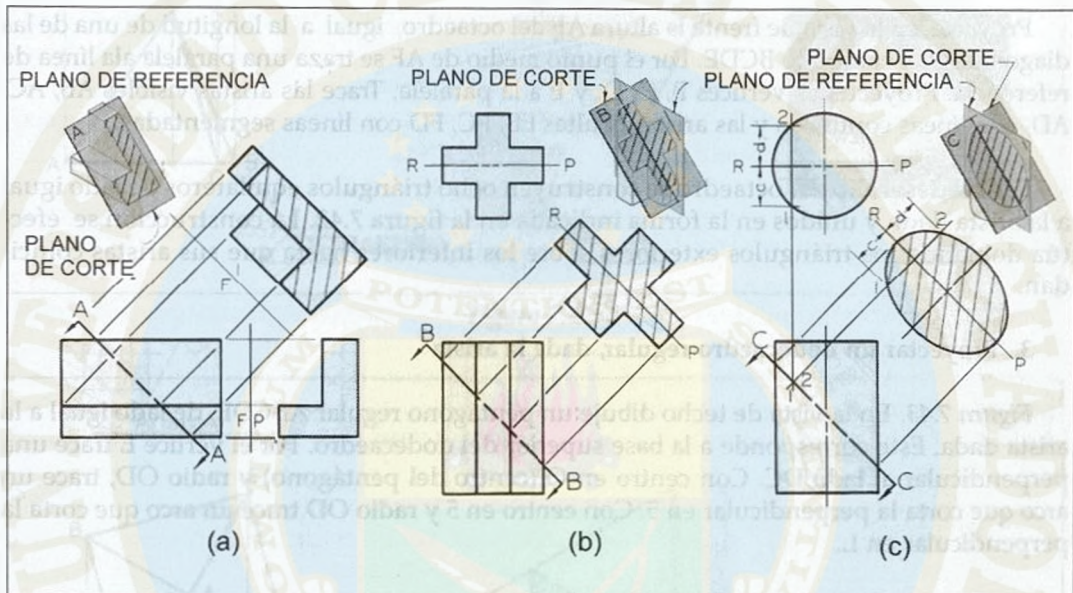


Figura 7.40. Cortes

Observe que las líneas de corte se dibujan aproximadamente a 45° con las líneas de bordes. Al dibujar un corte, toda la parte del objeto detrás del plano de corte se debe mostrar, como en (a), o solamente la parte cortada como en (b) y (c). La sección de corte se acostumbra resaltar hachurándola con líneas paralelas delgadas inclinadas a 45 grados y separadas 2 milímetros. En el capítulo 10 se explica más detalladamente el proceso de dibujo de cortes o secciones transversales.

7.19.6 Proyección y desarrollo de poliedros regulares

Dentro de los poliedros regulares se destacan los llamados *Sólidos platónicos*, que son en su orden el *tetraedro*, el *hexaedro*, el *octaedro*, el *dodecaedro* y el *icosaedro*.

1. Proyectar un tetraedro regular, dada la arista

Figura 7.41. Se dibuja un triángulo equilátero ABC, de arista igual a la dada, en la vista de techo. Se trazan las bisectrices de los ángulos del triángulo ABC, las cuales concurren al

punto V. Con centro en B y radio BC, trace el arco BD. Por el punto V trace la perpendicular VD. La altura del tetraedro es igual a VD. Projete la vista de frente del tetraedro.

Para el desarrollo del tetraedro dibuje cuatro triángulos equiláteros de arista igual a la dada, en la forma mostrada en la figura xxx. La construcción se efectúa doblando hacia adentro los triángulos exteriores hasta que sus aristas concidan.

2. Proyectar un octaedro regular, dada la arista

Figura 7.42. Se dibuja un cuadrado de lado igual a la arista dada en la vista de techo. Se trazan las diagonales BD y CE, las cuales se cortan en A, representando la proyección de las cuatro caras superiores e inferiores del octaedro.

Projete en la vista de frente la altura AF del octaedro, igual a la longitud de una de las diagonales del cuadrado BCDE. Por el punto medio de AF se traza una paralela a la línea de referencia. Projete los vértices B, C, D, y E a la paralela. Trace las aristas visibles AB, AC, AD, con líneas continuas y las aristas ocultas FB, FC, FD con líneas segmentadas.

Para el desarrollo del octaedro se construyen ocho triángulos equiláteros de lado igual a la arista dada y unidos en la forma indicada en la figura 7.42. La construcción se efectúa doblando los triángulos exteriores sobre los interiores hasta que sus aristas coincidan.

3. Proyectar un dodecaedro regular, dada la arista

Figura 7.43. En la vista de techo dibuje un pentágono regular ABCDE, de lado igual a la arista dada. Este corresponde a la base superior del dodecaedro. Por el vértice E trace una perpendicular al lado DC. Con centro en O (centro del pentágono) y radio OD, trace un arco que corta la perpendicular en 5. Con centro en 5 y radio OD trace un arco que corta la perpendicular en L.

Con centro en O y radio OL, trace una circunferencia y divídala en 10 partes a partir de L. Se trazan las rectas NE, FA, HB, JC y LD. Copie el pentágono haciéndolo girar 36° con respecto al centro O (líneas segmentadas, el cual corresponde a la base inferior del dodecaedro). Trace las rectas 1P, 2G, 3I, 4K y 5M.

En la vista de frente, la altura L5 es igual a la distancia EL de la vista de techo. Las distancias LE y P5 son iguales a la distancia L5 de la vista de techo. La altura total del dodecaedro E5 es igual a la distancia LP de la vista de techo.

Para el desarrollo del dodecaedro se construyen doce pentágonos regulares de lado igual a la arista, y se colocan en la forma indicada en la figura 7.43. Los pentágonos periféricos se doblan alrededor del central hasta que sus aristas coincidan.

Para dibujar el sólido en AutoCAD, se separan los dos conjuntos de 6 pentágonos y se efectúa una rotación en 3D de los pentágonos periféricos alrededor de las aristas del pentágono central con un ángulo de 63.36172° (ángulo diedro 116.63828°). Luego se unen para formar el dodecaedro, identificando previamente la arista de unión de las dos mitades.

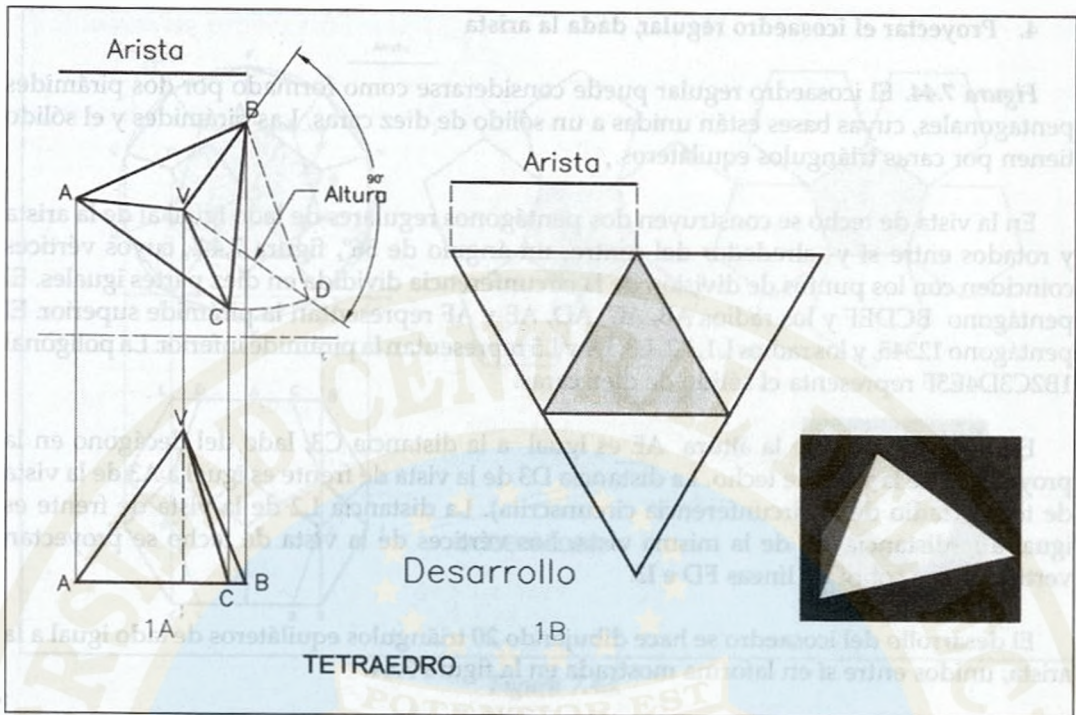


Figura 7.41.

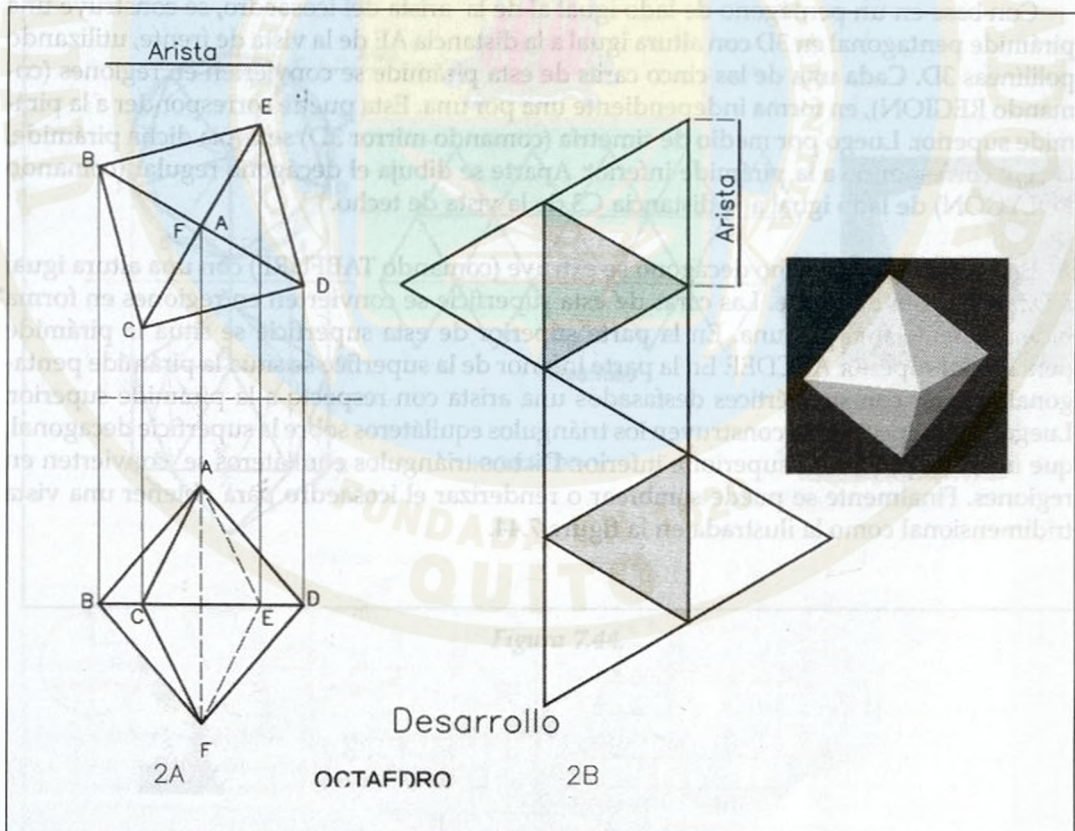


Figura 7.42.

4. Proyectar el icosaedro regular, dada la arista

Figura 7.44. El icosaedro regular puede considerarse como formado por dos pirámides pentagonales, cuyas bases están unidas a un sólido de diez caras. Las pirámides y el sólido tienen por caras triángulos equiláteros.

En la vista de techo se construyen dos pentágonos regulares de lado igual al de la arista y rotados entre sí y alrededor del centro, un ángulo de 36° , figura 7.44., cuyos vértices coinciden con los puntos de división de la circunferencia dividida en diez partes iguales. El pentágono BCDEF y los radios AB, AC, AD, AE y AF representan la pirámide superior. El pentágono 12345, y los radios L1, L2, L3, L4 y L5 representan la pirámide inferior. La poligonal 1B2C3D4E5F representa el sólido de diez caras.

En la vista de frente la altura AE es igual a la distancia C3, lado del decágono en la proyección de la vista de techo. La distancia D3 de la vista de frente es igual a A3 de la vista de techo (radio de la circunferencia circunscrita). La distancia L2 de la vista de frente es igual a la distancia AE de la misma vista. Los vértices de la vista de techo se proyectan verticalmente sobre las líneas FD e I3.

El desarrollo del icosaedro se hace dibujando 20 triángulos equiláteros de lado igual a la arista, unidos entre sí en la forma mostrada en la figura 7.44.

Para construir el icosaedro en AutoCAD se puede efectuar el siguiente procedimiento:

Con base en un pentágono de lado igual al de la arista del icosaedro, se construye una pirámide pentagonal en 3D con altura igual a la distancia AE de la vista de frente, utilizando polilíneas 3D. Cada una de las cinco caras de esta pirámide se convierten en regiones (comando REGION), en forma independiente una por una. Esta puede corresponder a la pirámide superior. Luego por medio de simetría (comando mirror 3D) se copia dicha pirámide, la cual corresponde a la pirámide inferior. Aparte se dibuja el decágono regular (comando POLYGON) de lado igual a la distancia C3 de la vista de techo.

En proyección 3D dicho decágono se extruye (comando TABFURF) con una altura igual a D3 de la vista de frente. Las caras de esta superficie se convierten en regiones en forma independiente una por una. En la parte superior de esta superficie se sitúa la pirámide pentagonal superior ABCDEF. En la parte inferior de la superficie se sitúa la pirámide pentagonal inferior con sus vértices desfasados una arista con respecto a la pirámide superior. Luego, por inspección se construyen los triángulos equiláteros sobre la superficie decagonal, que unen las pirámides superior e inferior. Dichos triángulos equiláteros se convierten en regiones. Finalmente se puede sombrear o renderizar el icosaedro para obtener una vista tridimensional como la ilustrada en la figura 7.44.

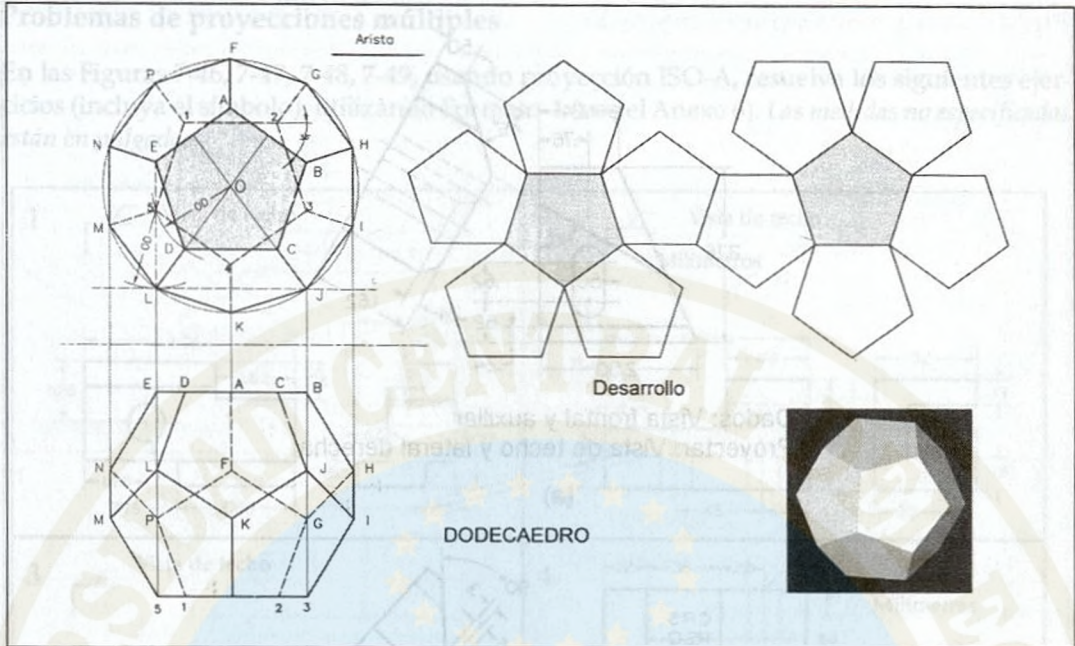


Figura 7.43.

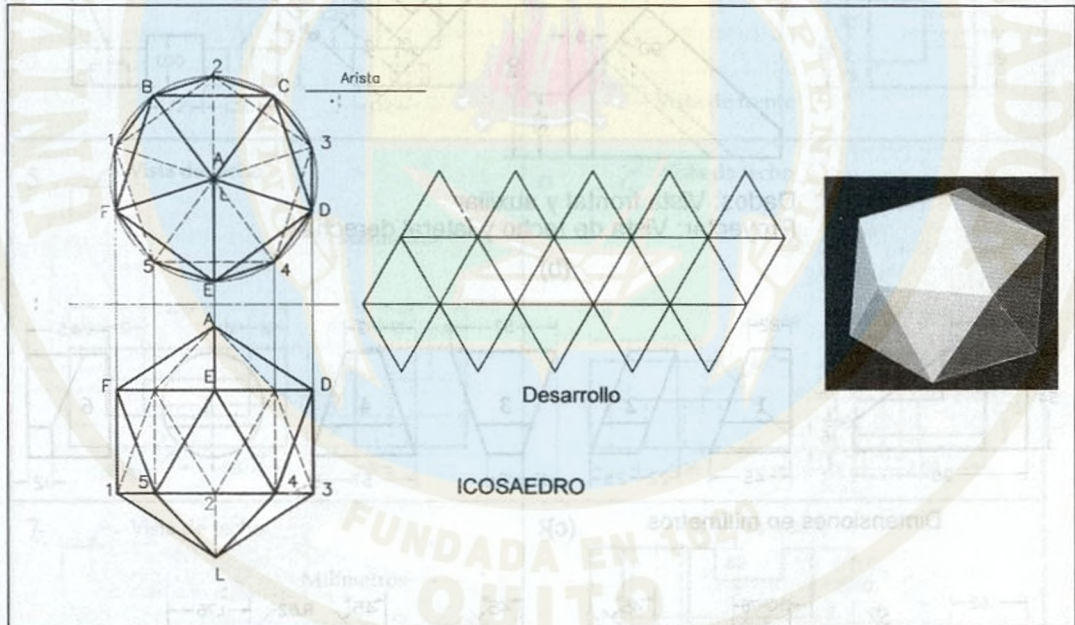


Figura 7.44.

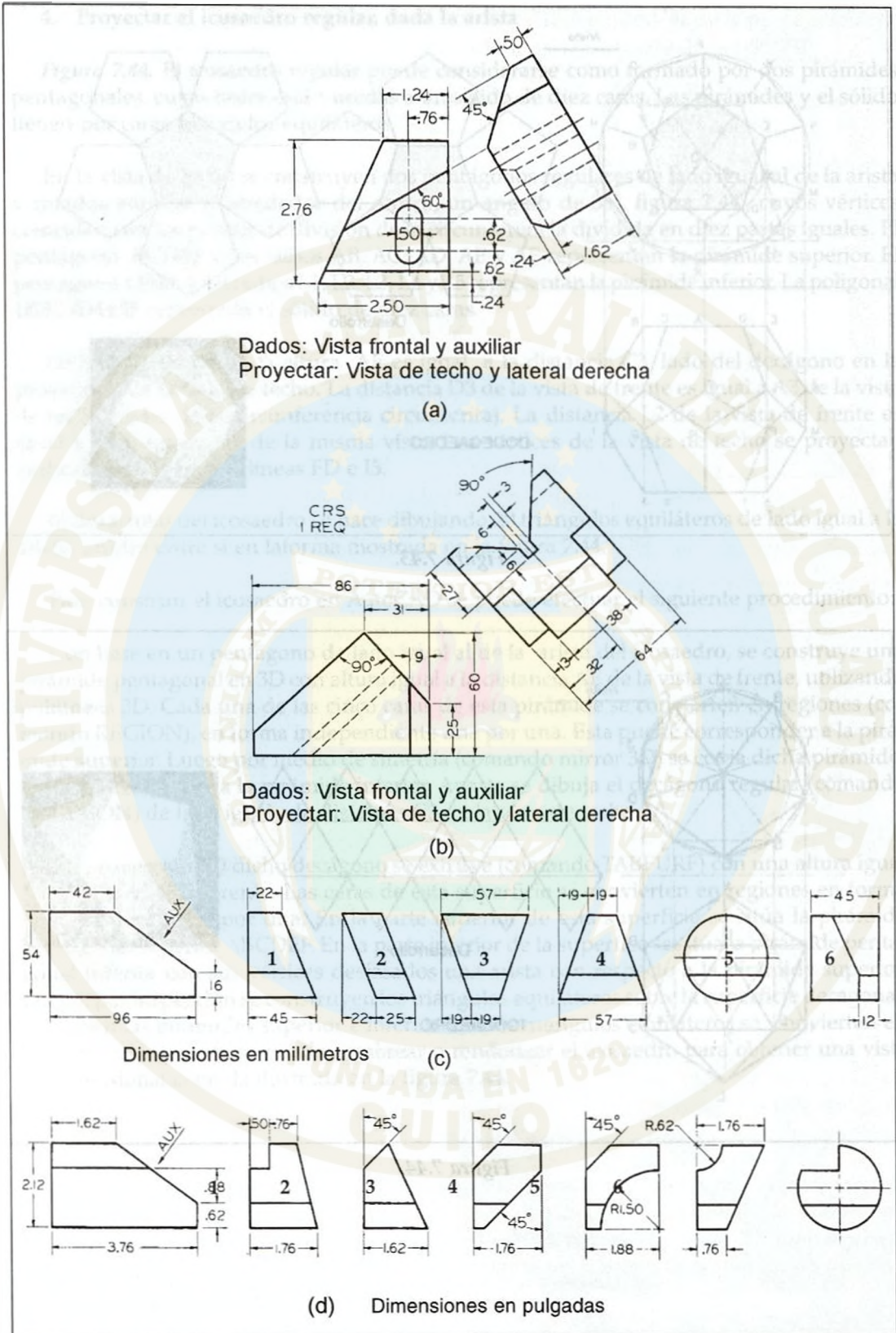


Figura 7.45. Ejercicios de vistas auxiliares

Problemas de proyecciones múltiples

En las Figuras 7-46, 7-47, 7-48, 7-49, usando proyección ISO-A, resuelva los siguientes ejercicios (incluya el símbolo), utilizando Formato-1 (vea el Anexo 6). Las medidas no especificadas están en pulgadas.

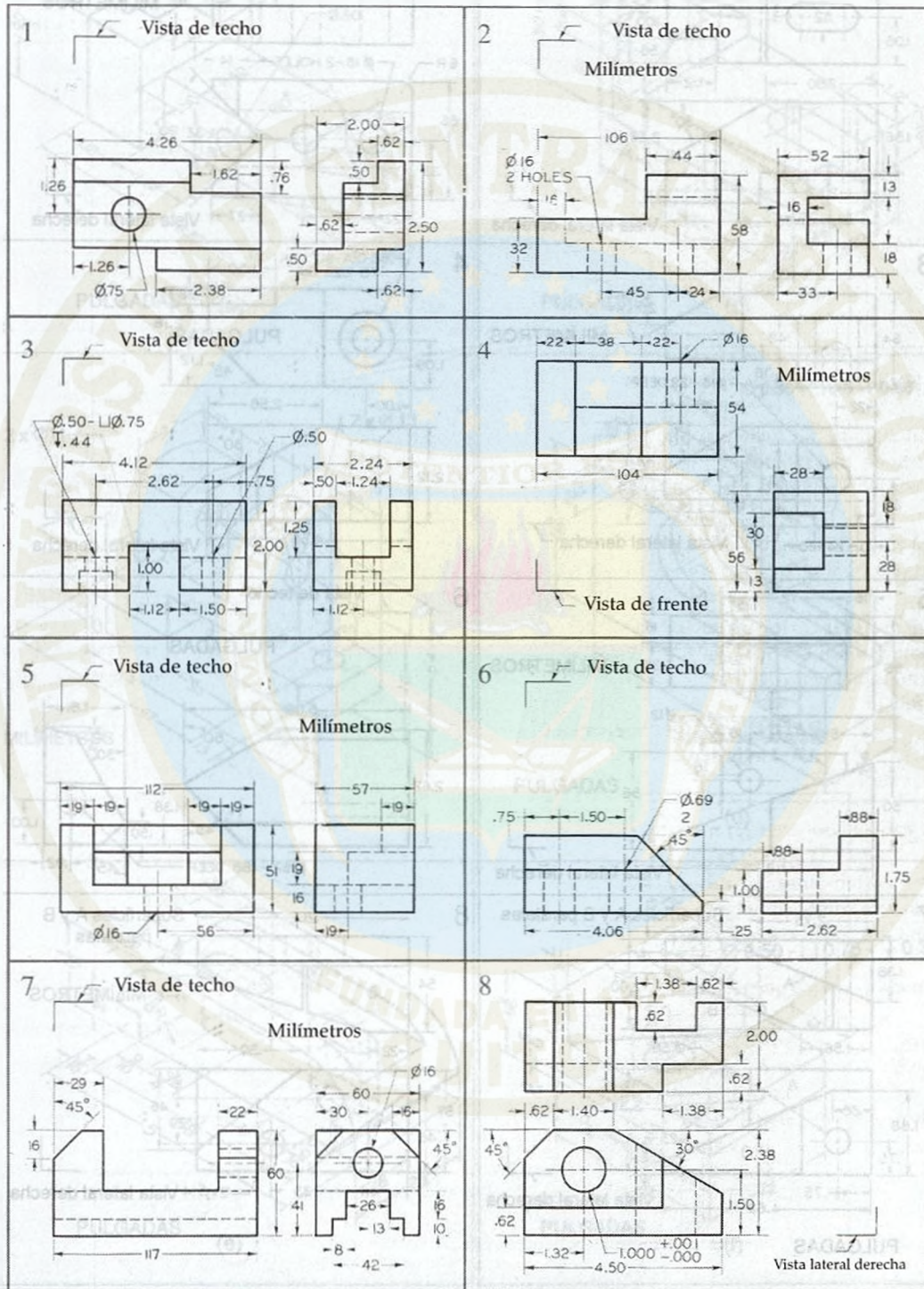


Figura 7.46. Ejercicios de proyecciones I

Problemas de proyecciones múltiples

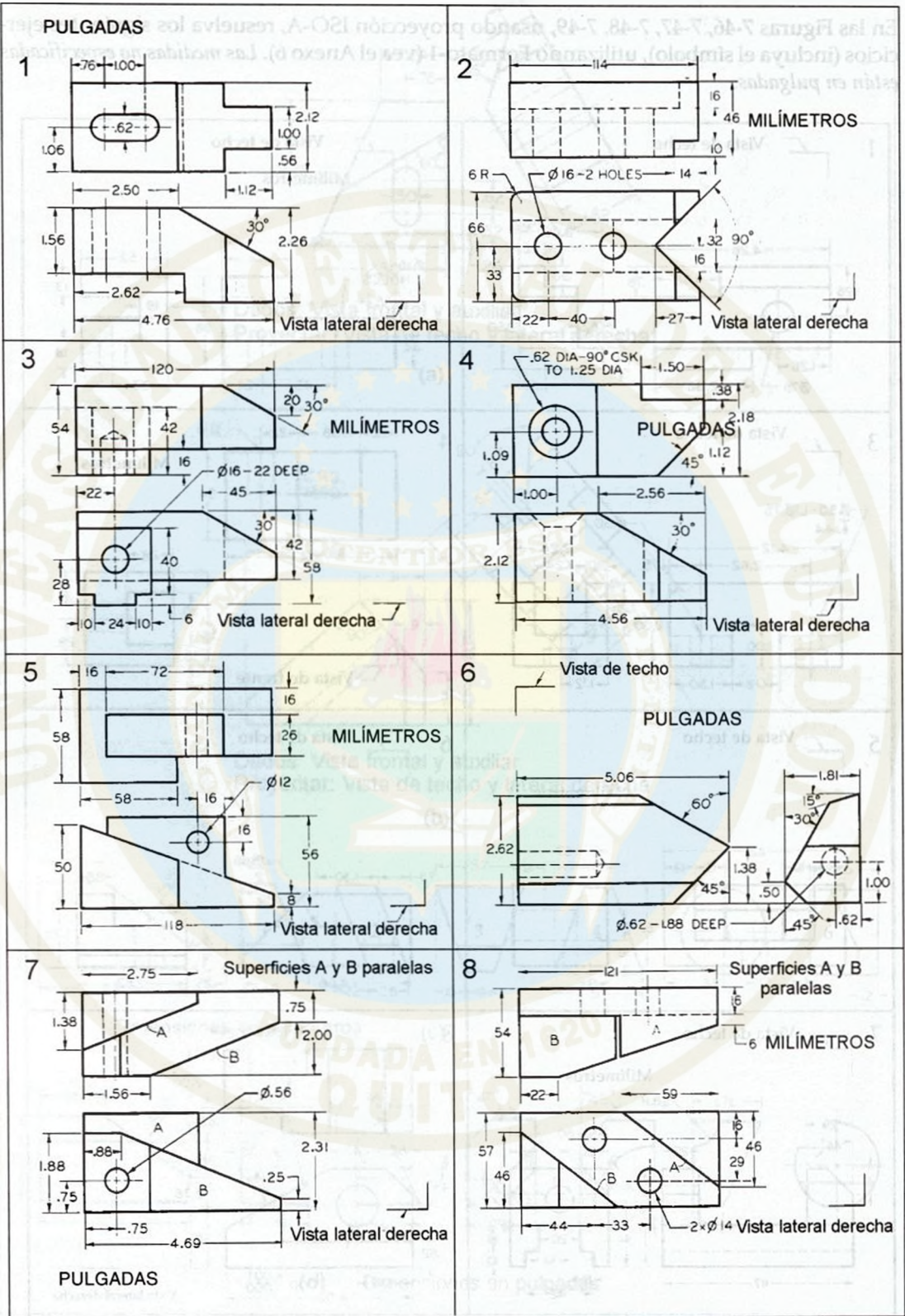
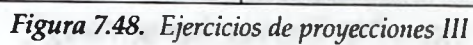


Figura 7.47. Ejercicios de proyecciones II



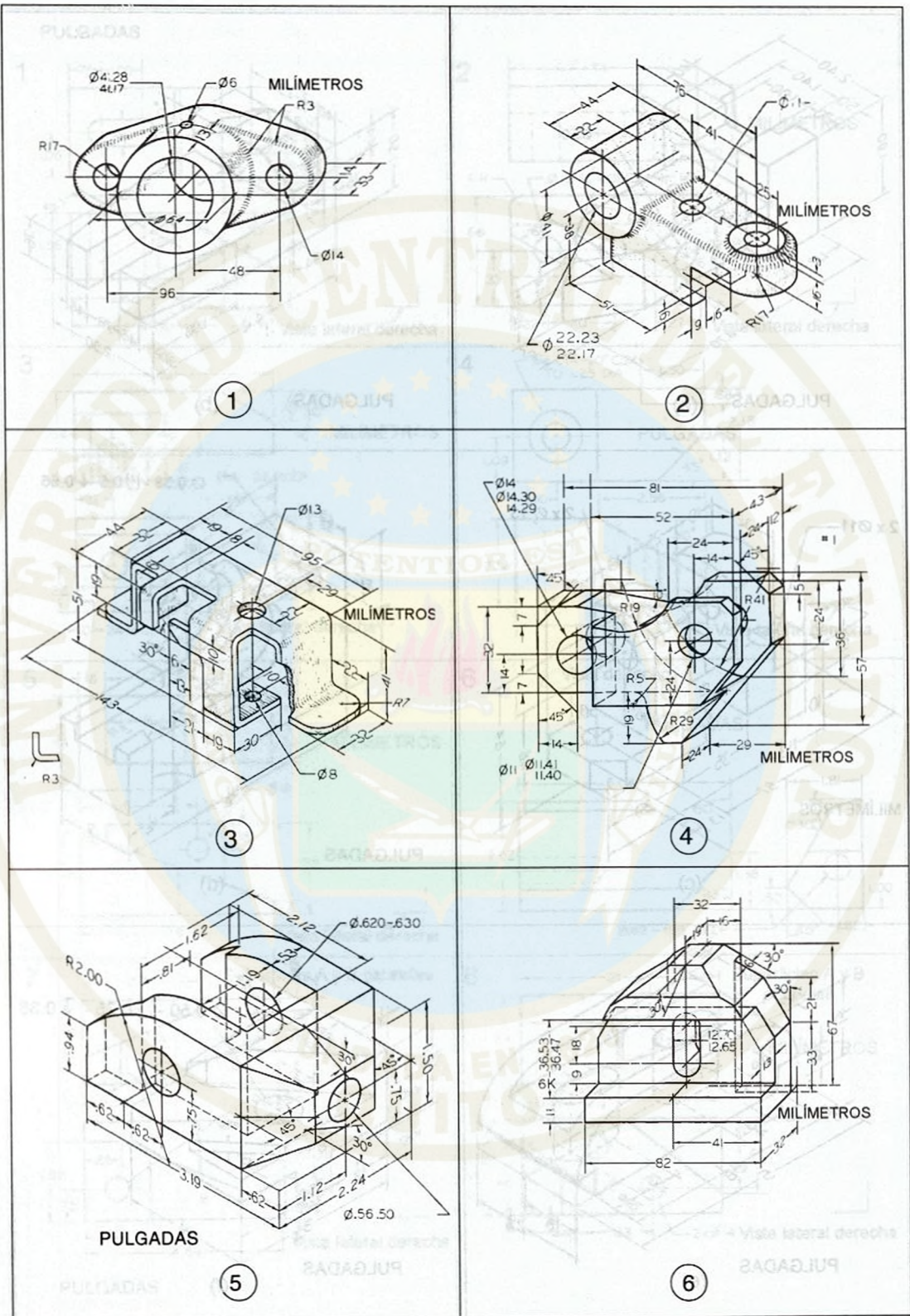


Figura 7.49. Ejercicios de proyecciones IV

Problemas de proyecciones múltiples Vistas auxiliares

Usando proyección ISO-A resuelva los siguientes ejercicios (incluya el símbolo). En los ejercicios 1, 2, 3 y 4 proyecte las vistas auxiliares A, B, C y R. En los ejercicios 5, 6 proyecte las vistas auxiliares en la dirección indicada por medio de las flechas. Dimensiones en milímetros.

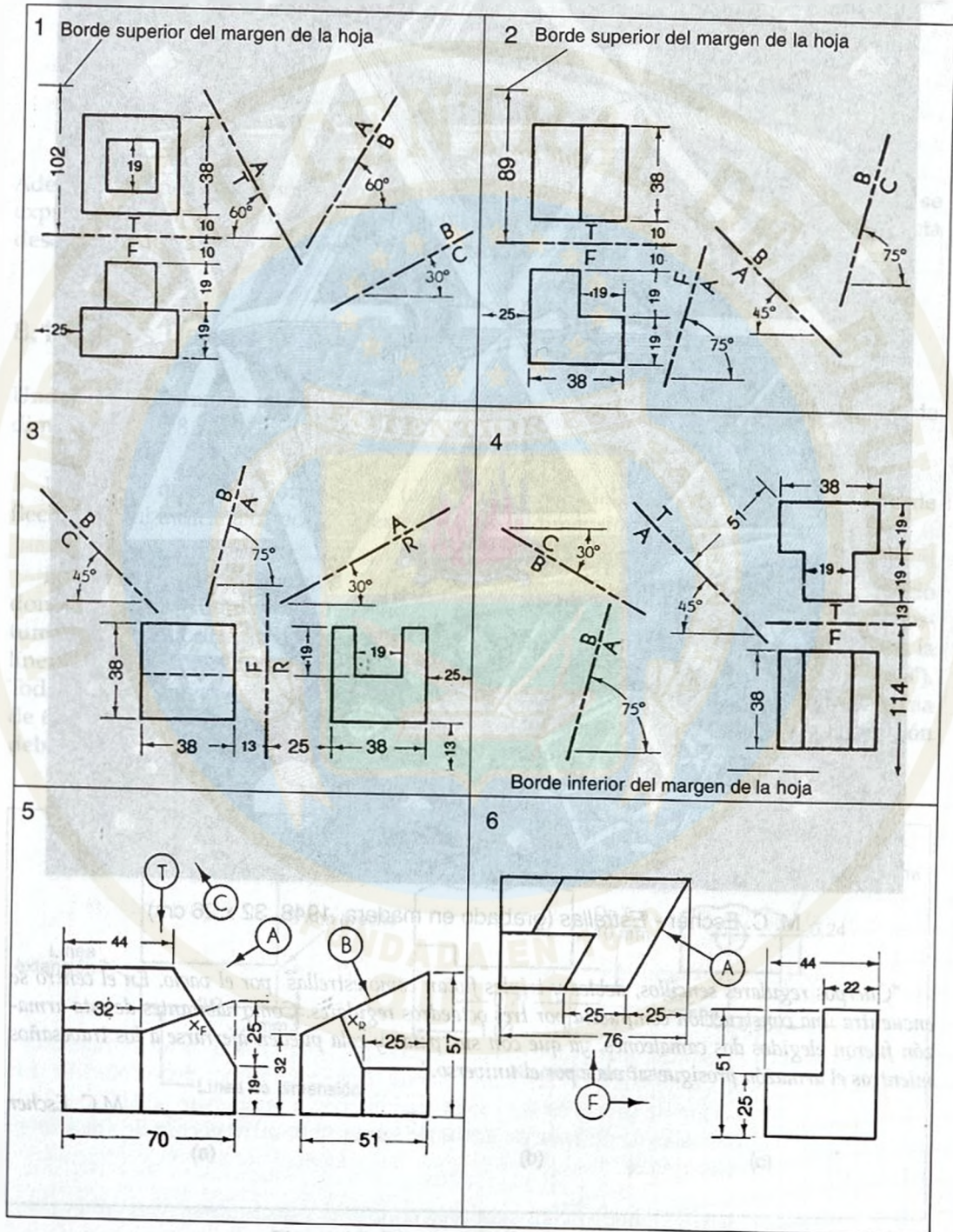
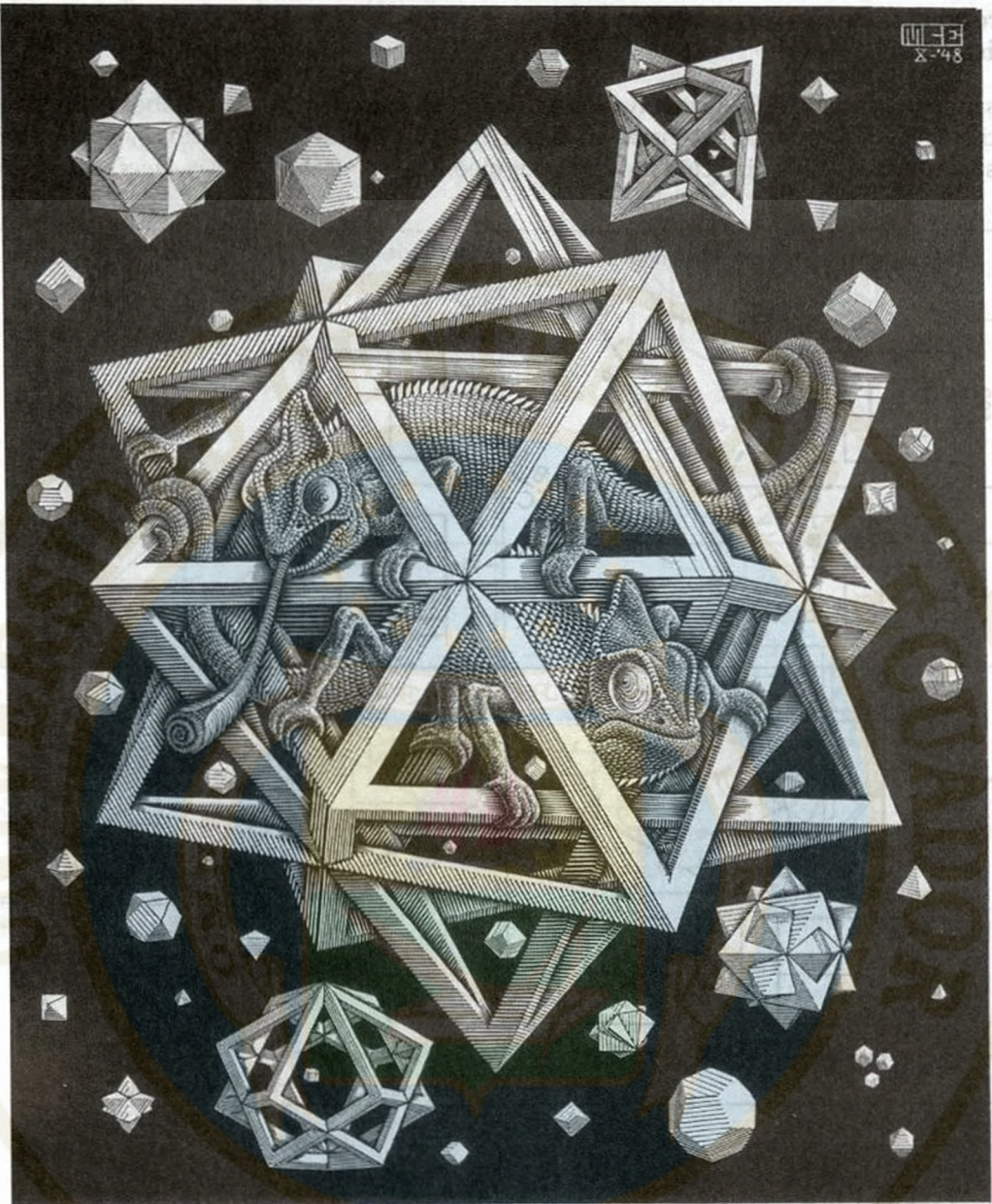


Figura 7.50. Ejercicios de proyecciones V



M. C. Escher - *Estrellas* (grabado en madera, 1948, 32 x 26 cm)

"Cuerpos regulares sencillos, dobles y triples flotan como estrellas por el vacío. En el centro se encuentra una construcción compuesta por tres octaedros regulares. Como habitantes de esta armazón fueron elegidos dos camaleones, ya que con sus patas y cola pueden aferrarse a los travesaños mientras el armazón prosigue su viaje por el universo."

M.C. Escher

ACOTAMIENTO PLANO 8

Además de tener una descripción completa de la forma del objeto en el plano, como se expuso en los capítulos anteriores, también es necesario disponer de una completa y exacta descripción del tamaño del objeto, o sea de sus dimensiones.

8.1 LÍNEAS USADAS EN ACOTAMIENTO

Una cota está formada por una línea de dimensión, dos líneas de extensión y la cifra de dimensión, Fig. 8.1 (a).

Una **línea de dimensión**, Fig. 8.1 (a), es una línea delgada terminada en puntas de flecha, la cual indica la dirección y extensión de la dimensión.

En planos de maquinaria, la línea se abre en la mitad para proporcionar un espacio donde anotar la cifra de la dimensión. En planos estructurales y arquitectónicos, se acostumbra colocar la cifra de la dimensión sobre la línea sin abrirla. Como se muestra en (b), la línea de dimensión más próxima al objeto debe estar separada como mínimo 10 mm (3/8"). Todas las otras líneas de dimensión paralelas a ésta deben colocarse a una distancia mínima de 6 mm (1/4") o mayor cuando sea posible. El **espaciamiento de las líneas de dimensión** debe ser uniforme a lo largo y ancho de todo el dibujo.

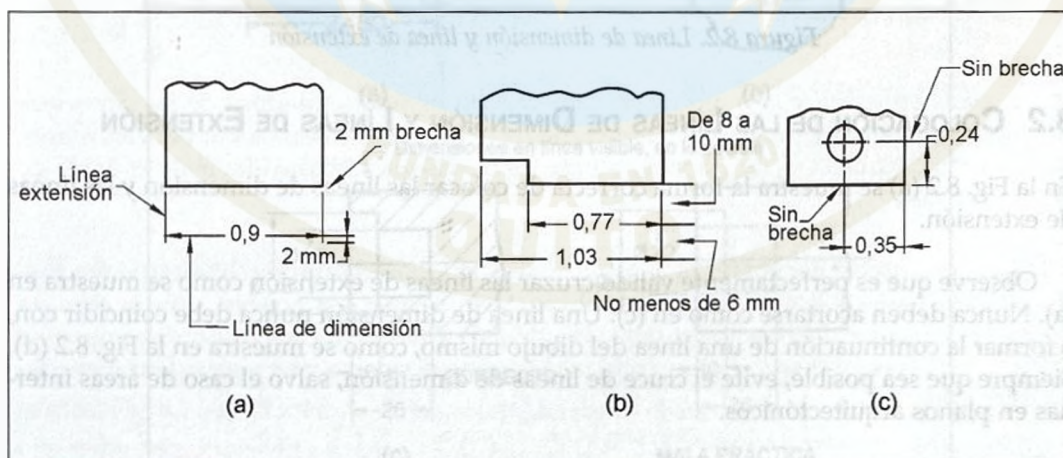


Figura 8.1. Técnicas de dimensionamiento

Una **línea de extensión** (a) es una línea delgada continua que se extiende desde un punto en el dibujo al cual se refiere la dimensión. Las líneas de dimensión encuentran las líneas de extensión en ángulo recto excepto en casos especiales, como en la Fig. 8.5 (a). Se debe dejar un espacio en blanco (brecha) de aproximadamente 2 mm desde la línea de extensión y el punto en el plano al cual se refiere la dimensión. A su vez la línea de extensión debe prolongarse 2 mm más allá de la punta de la flecha, como se muestra en (a) y (b), Fig. 8.1. Cuando el punto inicial está dentro de la figura, la brecha se dibuja en ese punto y la línea de extensión sale y corta el perímetro del dibujo.

Una **línea de centro** es una línea delgada compuesta de tramos largos y cortos alternados, y se usa para representar ejes de partes simétricas y para designar centros. Como se muestra en la Fig. 8.1 (c), las líneas de centro se usan comúnmente como líneas de extensión para localizar orificios o perforaciones y otros detalles del objeto. Cuando se usan como ejes, la línea central cruza sobre otras líneas del dibujo sin dejar espacios en blanco (brechas). Una línea de centro siempre termina en un tramo largo.

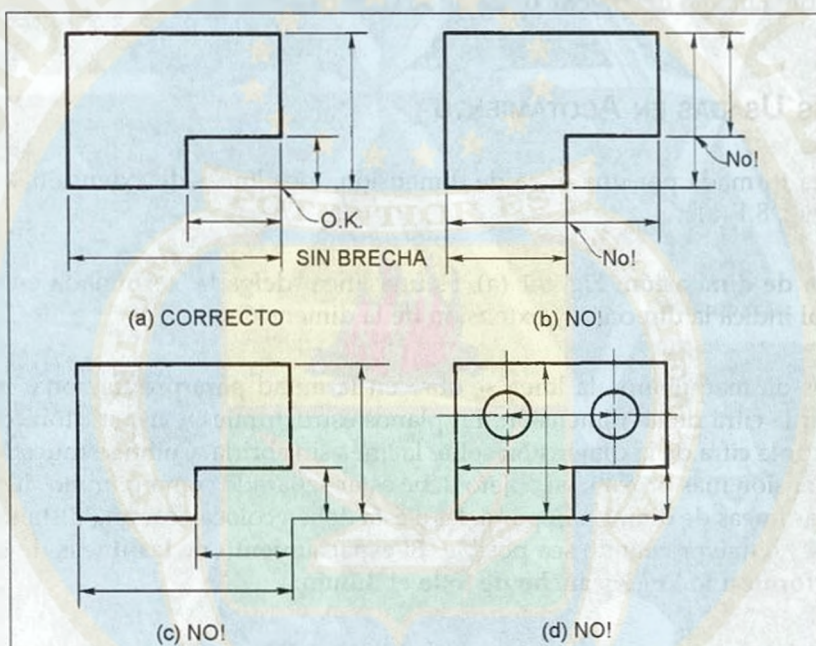


Figura 8.2. Línea de dimensión y línea de extensión

8.2 COLOCACIÓN DE LAS LÍNEAS DE DIMENSIÓN Y LÍNEAS DE EXTENSIÓN

En la Fig. 8.2 (a) se muestra la forma correcta de colocar las líneas de dimensión y las líneas de extensión.

Observe que es perfectamente válido cruzar las líneas de extensión como se muestra en (a). Nunca deben acortarse como en (c). Una línea de dimensión nunca debe coincidir con, o formar la continuación de una línea del dibujo mismo, como se muestra en la Fig. 8.2 (d). Siempre que sea posible, evite el cruce de líneas de dimensión, salvo el caso de áreas internas en planos arquitectónicos.

Las dimensiones deben alinearse y agruparse tanto como sea posible, como se muestra en la Fig. 8.3 (a), y no en escalera, como en (b).

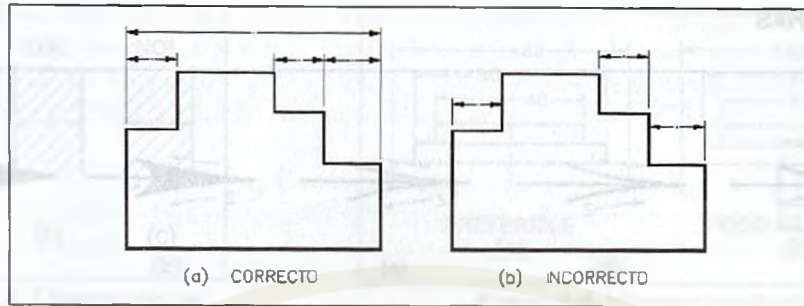


Figura 8.3. Dimensiones agrupadas

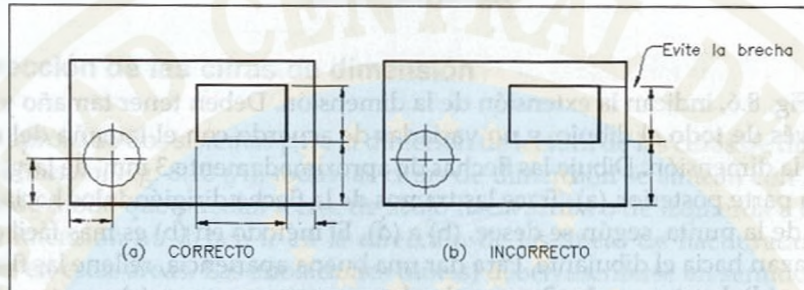


Figura 8.4. Líneas que se cruzan

Las líneas de dimensión se dibujan normalmente en ángulo recto con las líneas de extensión, pero hay excepciones, como se muestra en la Fig. 8.5 (a). En condiciones de amontonamiento, se pueden omitir las brechas cerca de las puntas de flecha, para dar mayor claridad a las dimensiones, como se muestra en la Fig. 8.5 (b). En general, evite dimensionar líneas ocultas, como se muestra en (c).

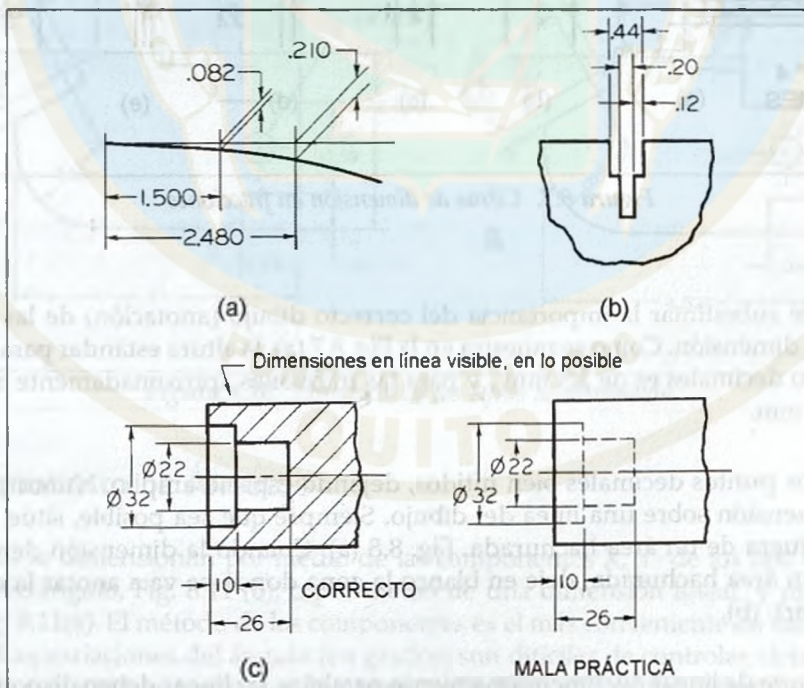


Figura 8.5. Colocación de las dimensiones

8.3 FLECHAS

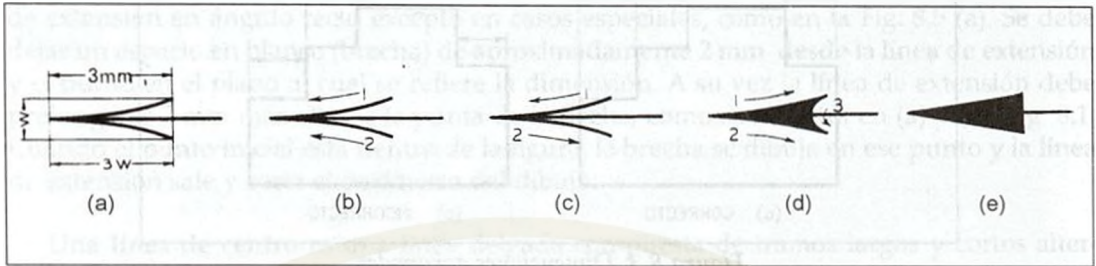


Figura 8.6. Flechas

Las flechas, Fig. 8.6, indican la extensión de la dimensión. Deben tener tamaño y estilo uniforme a través de todo el dibujo, y no variarlas de acuerdo con el tamaño del dibujo o la longitud de la dimensión. Dibuje las flechas de aproximadamente 3 mm de largo por 1 mm de alto en la parte posterior, (a). Trace los tramos de la flecha dirigiéndolos hacia la punta o alejándolos de la punta, según se desee, (b) a (d). El método en (b) es más fácil cuando los tramos se trazan hacia el dibujante. Para dar una buena apariencia, rellene las flechas como se muestra en (d). Los tramos 1 y 2 se pueden hacer curvos como en (a) o rectos como en (e).

8.4 LAS CIFRAS DE DIMENSIÓN

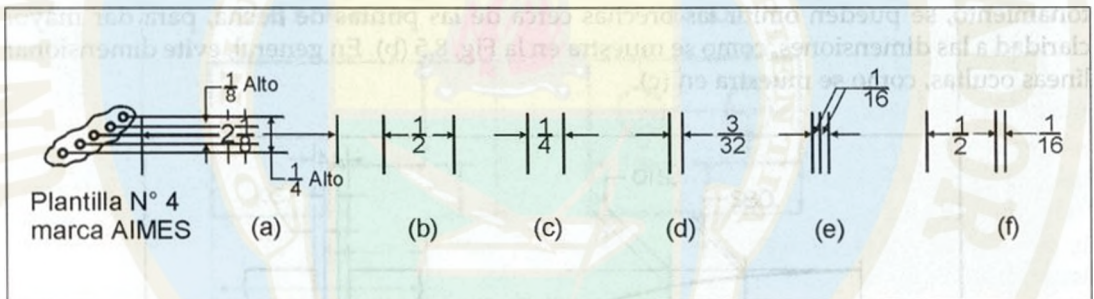


Figura 8.7. Cifras de dimensión en fracciones

No se puede subestimar la importancia del correcto dibujo (anotación) de las cifras que indican una dimensión. Como se muestra en la Fig. 8.7 (a), la altura estándar para los números enteros o decimales es de 2.5 mm, y para las fracciones aproximadamente el doble de ella, o sea 5 mm.

Dibuje los puntos decimales bien nítidos, dejando espacio amplio. Nunca ponga una cifra de dimensión sobre una línea del dibujo. Siempre que sea posible, sitúe la cifra de dimensión fuera de un área hachurada, Fig. 8.8 (a). Cuando la dimensión debe ponerse dentro de un área hachurada, deje en blanco la zona donde se va a anotar la dimensión (sin hachurar), (b).

En un grupo de líneas de dimensionamiento paralelas, las líneas deben disponerse como en la Fig. 8.9 (a) y no en línea vertical como en (b).

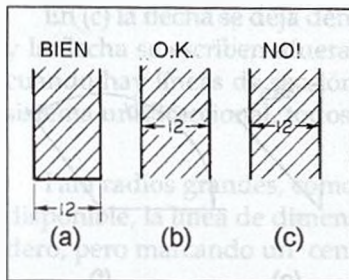


Figura 8.8. Dimensiones en área hachurada

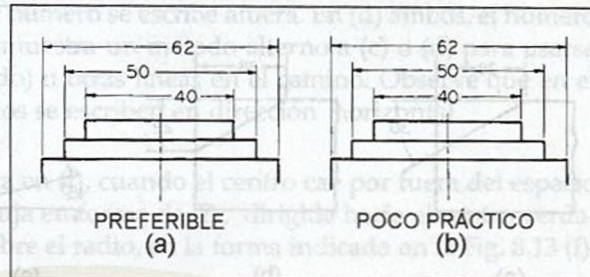


Figura 8.9. Números escalonados

8.4.1 Dirección de las cifras de dimensión

La ASA ha aprobado dos sistemas para la dirección de lectura de las cifras de dimensión. En el **sistema alineado**, Fig. 8.10 (A), todas las cifras de dimensión se alinean con las líneas de dimensión de modo que puedan leerse de abajo hacia arriba o de izquierda a derecha. Las líneas de dimensión no deben ir en la dirección de las líneas de hachurado, cuando se dimensione en estas áreas. Las anotaciones (notas) deben escribirse en sentido horizontal.

En el **sistema unidireccional**, Fig. 8.10 (B), todas las cifras de dimensión y anotaciones se escriben horizontalmente en la hoja. Este sistema ha sido extensamente adoptado en la industria automovilística, de aviación y otras, en las que los dibujos son muy grandes y por tanto difíciles de leer desde los lados.

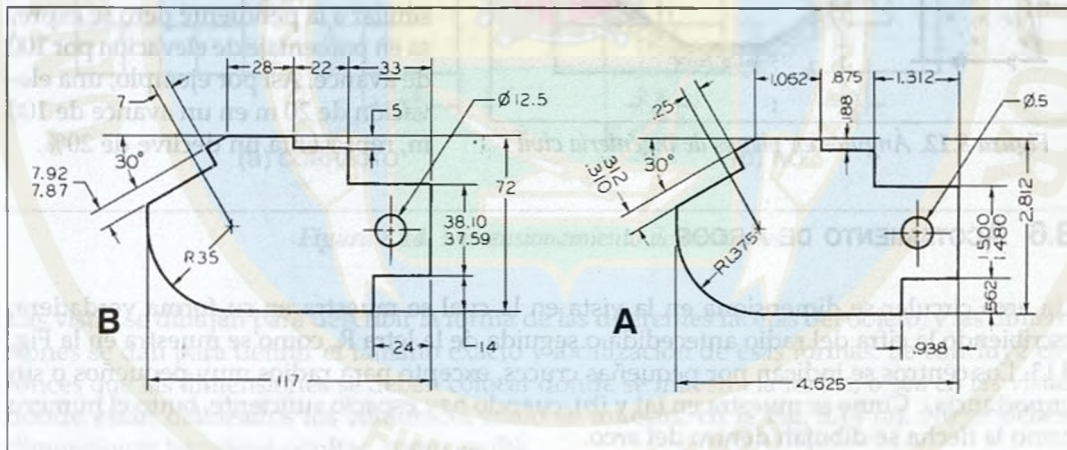


Figura 8.10. Dirección de las cifras de dimensión

8.5 ACOTAMIENTO DE ÁNGULOS

Los ángulos se dimensionan por medio de las componentes X, Y de los dos lados de un triángulo rectángulo, Fig. 8.11 (b), o por medio de una dimensión lineal y un ángulo en grados, Fig. 8.11(a). El método de las componentes es el más conveniente en dibujos de alta precisión. Las variaciones del ángulo (en grados) son difíciles de controlar, debido a que la cantidad de variación aumenta con la distancia desde el vértice del ángulo. Los métodos para indicar varios ángulos se muestran desde (c) hasta (f).

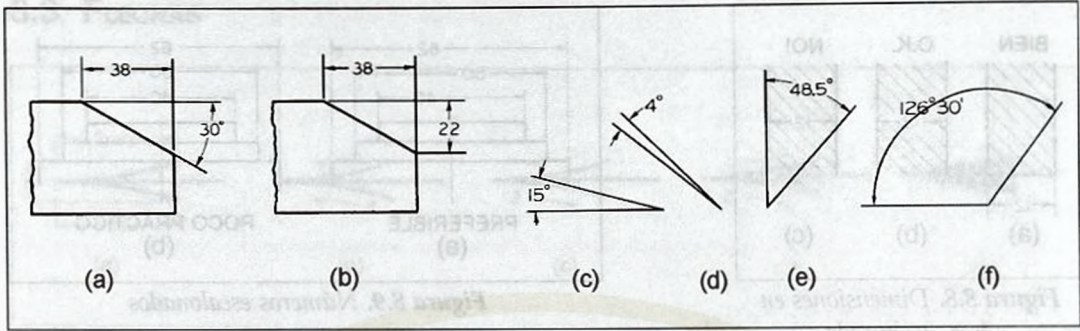


Figura 8.11. Ángulos

Cuando se indican sólo grados, se usa el símbolo $^{\circ}$ o la abreviación GRAD. Cuando sólo se dan minutos, el número debe estar precedido por 0° . Ej. $0^{\circ} 23'$. En todos los casos, sea en el sistema alineado o en el sistema unidireccional, **las cifras de dimensiones se escriben dentro de líneas de guía horizontales.**

En dibujo estructural, las medidas angulares se dan por la relación, **avance por subida**, siendo el máximo tamaño 12". En dibujos de ingeniería civil, la **pendiente** representa el ángulo con respecto a la horizontal, mientras que el **talud** es el ángulo con respecto a la vertical.

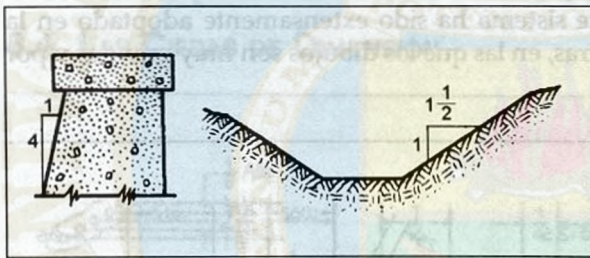


Figura 8.12. Ángulos en planos de ingeniería civil

Ambos se expresan haciendo un miembro de la relación igual a 1, como se muestra en la Fig. 8.12. El **declive**, como en una autopista, es similar a la pendiente pero se expresa en porcentaje de elevación por 100 de avance. Así por ejemplo, una elevación de 20 m en un avance de 100 m, representa un declive de 20%.

8.6 ACOTAMIENTO DE ARCOS

Un arco circular se dimensiona en la vista en la cual se muestra en su forma verdadera, escribiendo la cifra del radio antecedita o seguida de la letra R, como se muestra en la Fig. 8.13. Los centros se indican por pequeñas cruces, excepto para radios muy pequeños o sin importancia. Como se muestra en (a) y (b), cuando hay espacio suficiente, tanto el número como la flecha se dibujan dentro del arco.

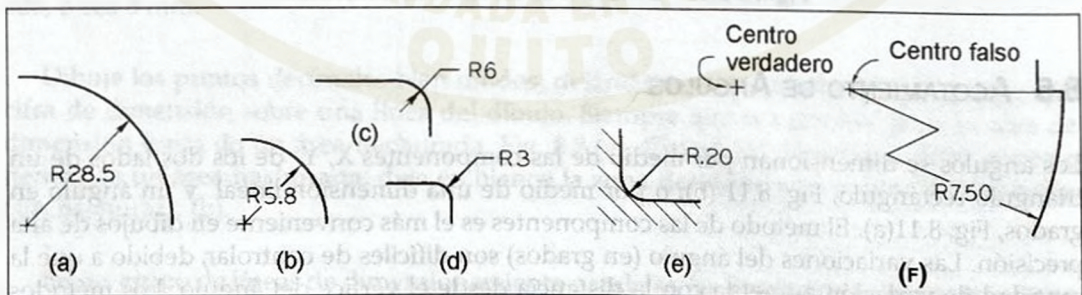


Figura 8.13. Acotamiento de arcos

En (c) la flecha se deja dentro, pero el número se escribe afuera. En (d) ambos, el número y la flecha se escriben afuera. En (e) se muestra un método alternativo a (c) o (d) para usarse cuando hay líneas de sección (hachurado) u otras líneas en el camino. Observe que en el sistema unidireccional, todos los números se escriben en dirección horizontal.

Para radios grandes, como se muestra en (f), cuando el centro cae por fuera del espacio disponible, la línea de dimensión se dibuja en forma de Z, dirigida hacia el centro verdadero, pero marcando un centro falso sobre el radio, en la forma indicada en la Fig. 8.13 (f).

8.7 ACOTAMIENTO DE CONTORNOS

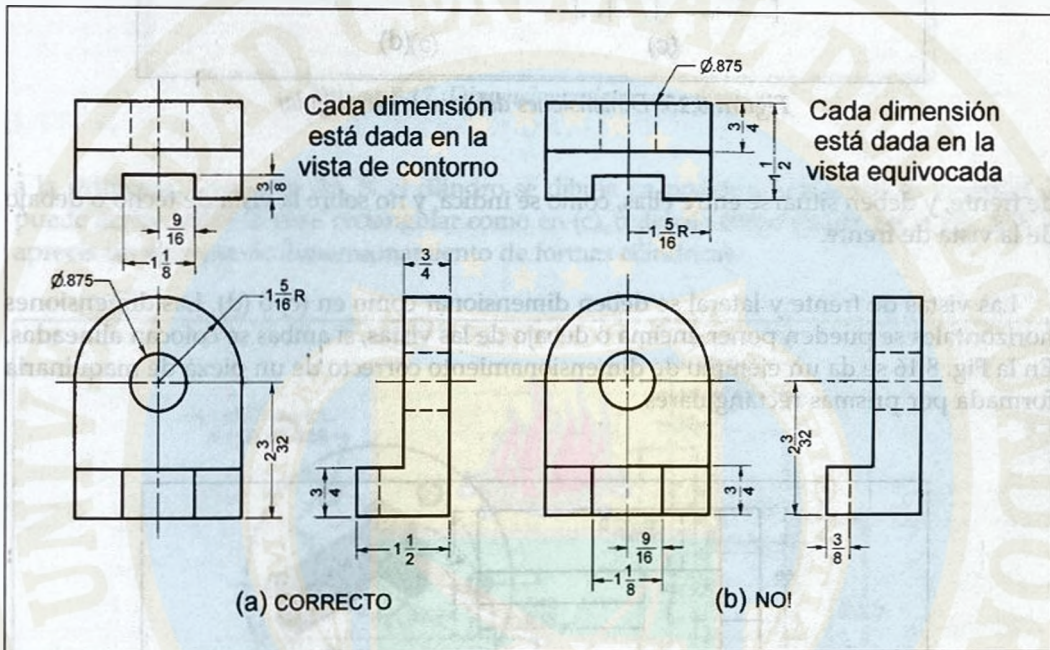


Figura 8.14. Dimensionamiento de contornos

Las vistas se dibujan para describir la forma de las diferentes facetas del objeto, y las dimensiones se dan para definir el tamaño exacto y localización de esas formas. Se concluye entonces que las dimensiones se deben colocar donde se muestra la forma, o sea en las vistas donde están delineados los contornos, como se muestra en la Fig. 8.14 (a). No se deben dimensionar las aristas ocultas, como en (b).

8.8 ACOTAMIENTO DE PRISMAS

El prisma rectangular recto es probablemente la forma geométrica más común. Las vistas de frente y de techo se dimensionan en la forma indicada en la Fig. 8.15 (a) y (b). El alto y el ancho se dan en la vista de frente, y la profundidad en la vista de techo.

Las dimensiones verticales se pueden poner a la izquierda o a la derecha, siempre que ambas se pongan en línea. Las dimensiones horizontales se usan para las vistas de techo y

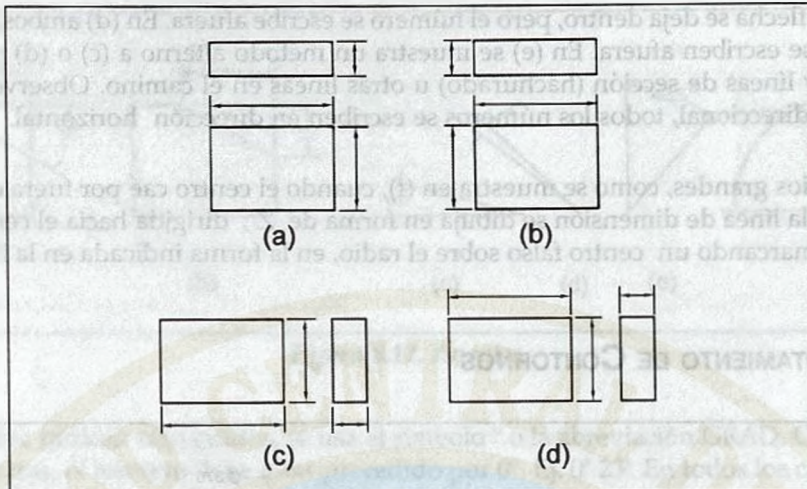


Figura 8.15. Dimensiones del prisma rectangular

de frente, y deben situarse entre ellas, como se indica, y no sobre la vista de techo o debajo de la vista de frente.

Las vistas de frente y lateral se deben dimensionar como en (c) o (d). Las dimensiones horizontales se pueden poner encima o debajo de las vistas, si ambas se colocan alineadas. En la Fig. 8.16 se da un ejemplo de dimensionamiento correcto de un pieza de maquinaria formada por prismas rectangulares.

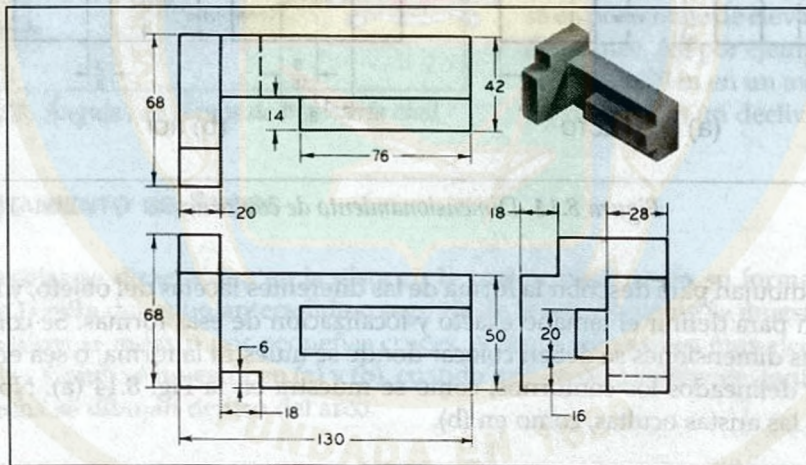


Figura 8.16. Dimensionamiento de formas prismáticas

8.9 ACOTAMIENTO DE CILINDROS

El cilindro circular recto es la segunda forma geométrica más común, y generalmente se ve como un hueco o una barra. El método general de dimensionamiento de un cilindro consiste en acotar tanto su diámetro como su longitud en la vista rectangular, Fig. 8.17. Si el cilindro se dibuja en posición vertical, la longitud o altura del cilindro se acota la derecha, como en (a), o

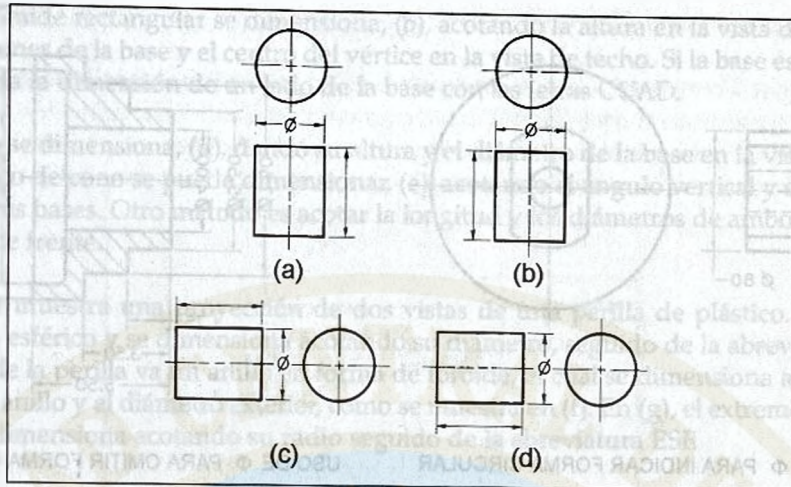


Figura 8.17. Dimensionamiento de cilindros

a la izquierda, como en (b). Si el cilindro se dibuja en posición horizontal, la longitud se puede acotar sobre la vista rectangular como en (c), o debajo como en (d). En la Fig. 8.18 se aprecia un ejemplo de dimensionamiento de formas cilíndricas.

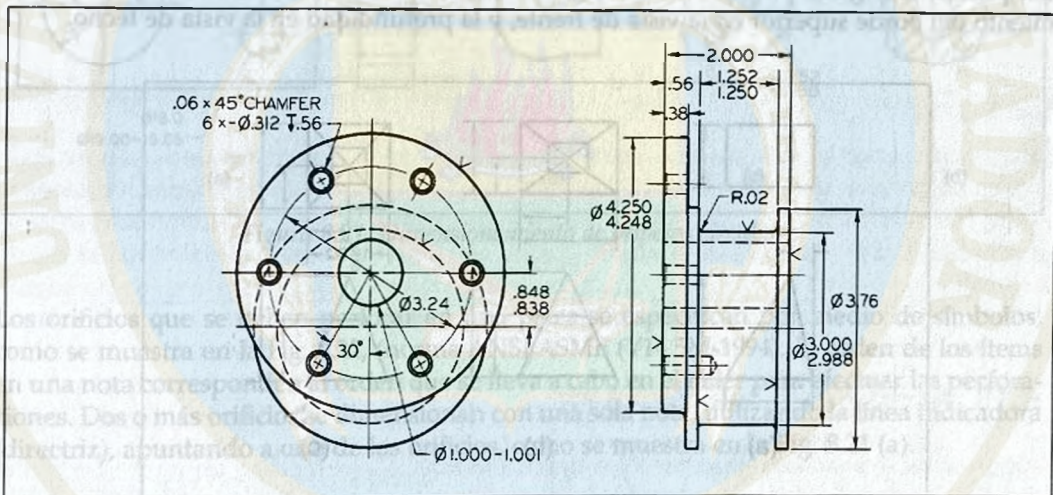


Figura 8.18. Dimensionamiento de cilindros

Nunca debe darse el radio de un cilindro, es decir, siempre debe acotarse su diámetro, puesto que las herramientas de medición como micrómetros y calibradores están diseñadas para medir diámetros.

Los orificios cilíndricos pequeños, como las perforaciones, usualmente se dimensionan por medio de notas que especifican el diámetro y la profundidad de la perforación, como se aprecia en las Figs. 8.18 y 8.21.

Cuando no es claro en las vistas que una dimensión indica un diámetro, se debe anotar el símbolo Φ antes de la cifra de dimensión, Fig. 8.19 (a). En algunos casos, Φ se usa para eliminar la vista circular, como se muestra en (b).

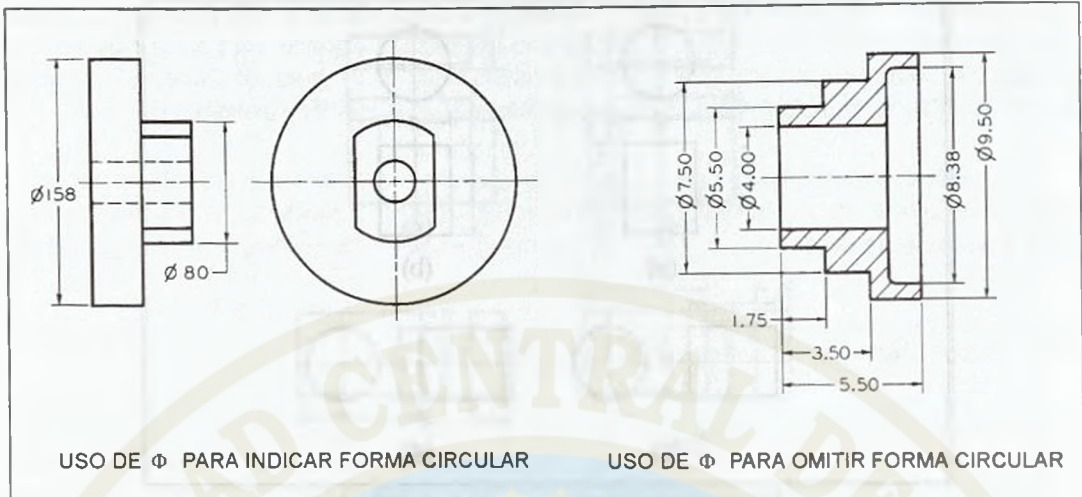


Figura 8.19. Uso de Φ para dimensionar cilindros

8.10 ACOTAMIENTO DE FORMAS MISCELÁNEAS

Un prisma triangular se dimensiona, Fig. 8.20 (a), acotando la altura, ancho y desplazamiento del borde superior en la vista de frente, y la profundidad en la vista de techo.

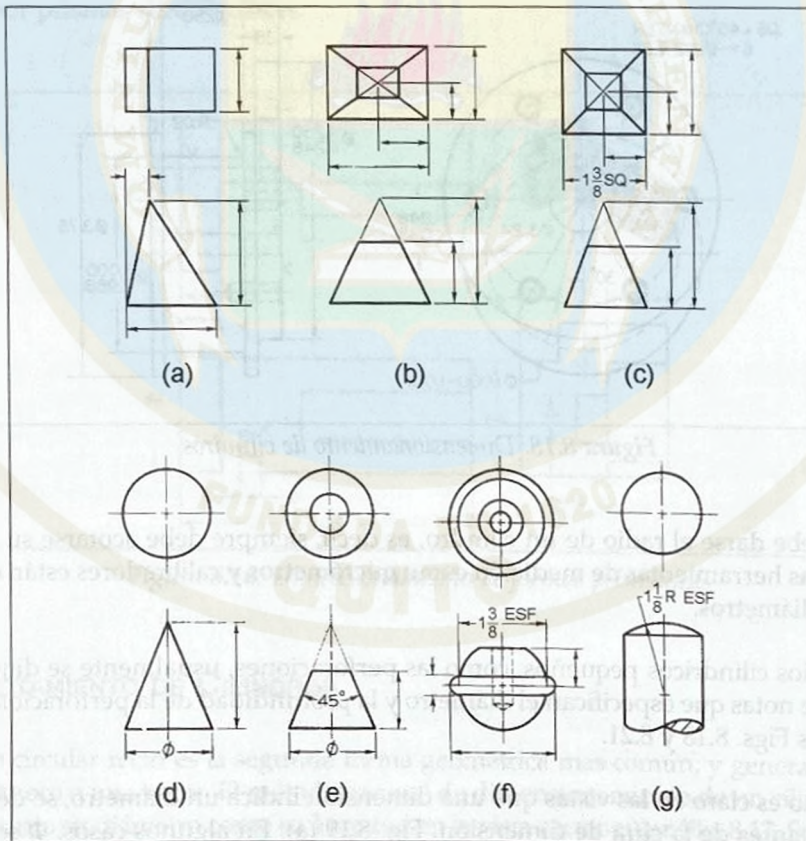


Figura 8.20. Dimensionamiento de formas misceláneas

Una pirámide rectangular se dimensiona, (b), acotando la altura en la vista de frente, y las dimensiones de la base y el centro del vértice en la vista de techo. Si la base es cuadrada, (c), sólo se da la dimensión de un lado de la base con las letras CUAD.

Un cono se dimensiona, (d), dando su altura y el diámetro de la base en la vista triangular. Un tronco de cono se puede dimensionar, (e), acotando el ángulo vertical y el diámetro de una de sus bases. Otro método es acotar la longitud y los diámetros de ambos extremos en la vista de frente.

En (f) se muestra una proyección de dos vistas de una perilla de plástico. El cuerpo principal es esférico y se dimensiona acotando su diámetro, seguido de la abreviatura ESF. Alrededor de la perilla va un anillo en forma de toroide, el cual se dimensiona acotando el espesor del anillo y el diámetro exterior, como se muestra en (f). En (g), el extremo en forma esférica se dimensiona acotando su radio seguido de la abreviatura ESF.

8.11 ACOTAMIENTO DE ORIFICIOS CIRCULARES (TALADROS)

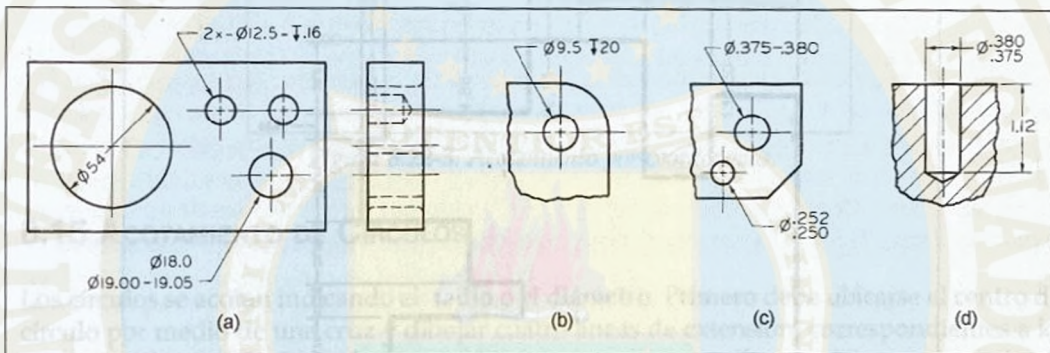


Figura 8.21. Dimensionamiento de orificios circulares

Los orificios que se deben perforar en una pieza se especifican por medio de símbolos, como se muestra en la Fig. 8.22, (norma ANSI/ASME (Y14.5M-1994). El orden de los ítems en una nota corresponden al orden que se lleva a cabo en el taller para efectuar las perforaciones. Dos o más orificios se dimensionan con una sola nota, utilizando la línea indicadora (directriz), apuntando a uno de los orificios, como se muestra en la Fig. 8.21 (a).

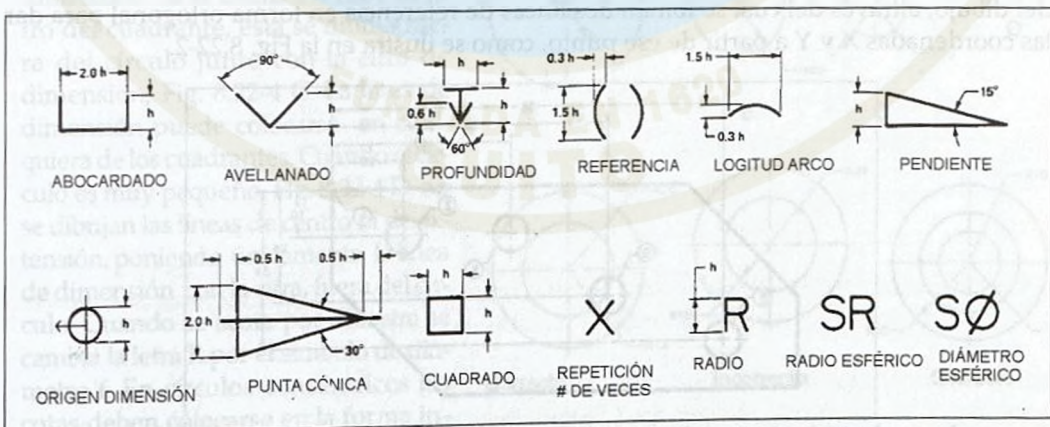


Figura 8.22. Símbolos según norma ANSI/ASME (Y14.5M - 1994)

8.12 ACOTAMIENTO CONTINUO

Cuando se presenten bordes quebrados en una figura, no se deben acotar los segmentos en forma de escalera como en la Fig. 8.22-1A, sino en forma continua como se muestra en la Fig. 8.22-1B. La primera cota debe corresponder con el borde más alejado del centro, y alinear en forma continua las demás cotas con esta, como se ilustra en la Fig. 8.22-1B.

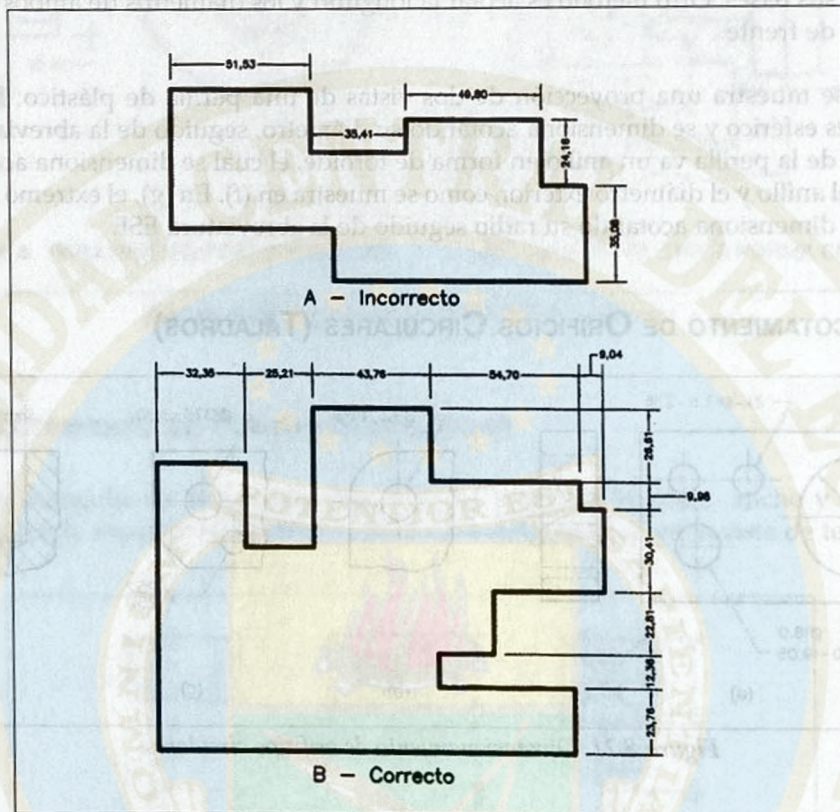


Figura 8.22-1. Acotamiento continuo

8.13 ACOTAMIENTO POR LÍNEA BASE

Algunas veces se acostumbra ubicar las figura internas con respecto a un punto particular del dibujo, a través del cual se toman dos líneas de referencia en forma ortogonal para dar las coordenadas X y Y a partir de ese punto, como se ilustra en la Fig. 8.22-2.

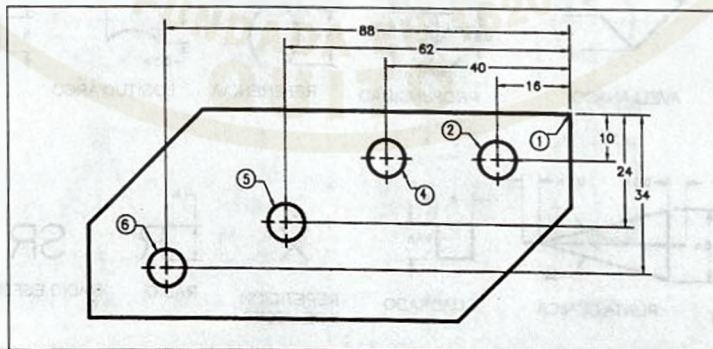


Figura 8.22-2. Acotamiento por línea base

8.14 ACOTAMIENTO POR COORDENADAS

En casos particulares, en sustitución de las cotas propiamente dichas se utiliza el sistema de acotar las coordenadas X y Y de un punto particular del dibujo, con respecto a un punto base que se toma como origen de las coordenadas, como se ilustra en la Figura 8.22-3.

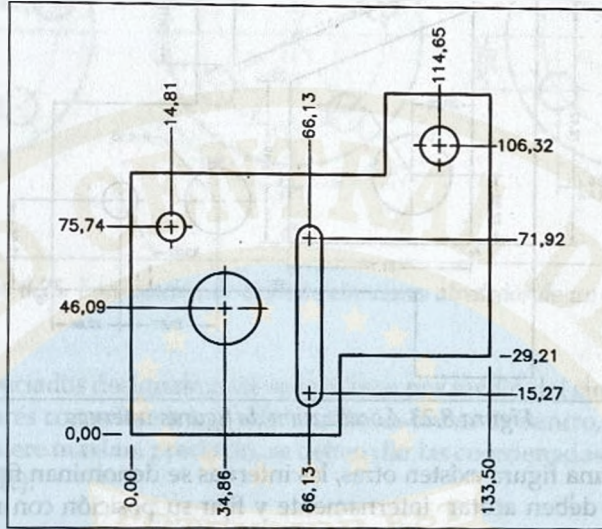


Figura 8.22-3. Acotamiento por coordenadas.

8.15 ACOTAMIENTO DE CÍRCULOS

Los círculos se acotan indicando el **radio** o el **diámetro**. Primero debe ubicarse el centro del círculo por medio de una cruz y dibujar cuatro líneas de extensión, correspondientes a los cuatro cuadrantes. La línea de dimensión cuando se usa el **radio**, sale del centro del círculo hacia la circunferencia con un ángulo de inclinación de 45° , dibujando la punta de flecha únicamente en el extremo que toca la circunferencia. En el centro del círculo no se dibuja la flecha. La cifra de la dimensión se anota dentro del círculo precedida de la letra **R**, cuando el espacio es suficiente, como en la Fig. 8.22-4 A. Cuando el espacio es insuficiente para anotar la cifra y poner la flecha dentro del cuadrante, la flecha se deja dentro del cuadrante, Fig. 8.22-4 B, y la cifra se anota por fuera del círculo alargando la línea de dimensión. Si la flecha no cabe dentro del cuadrante, esta se dibuja fuera del círculo junto con la cifra de dimensión, Fig. 8.22-4 C. La línea de dimensión puede colocarse en cualquiera de los cuadrantes. Cuando el círculo es muy pequeño, Fig. 8.22-4 D, no se dibujan las líneas de centro ni de extensión, poniendo únicamente la línea de dimensión con la cifra, fuera del círculo. Cuando se acota por **diámetro** se cambia la letra **R** por el símbolo de diámetro $\varnothing$. En círculos concéntricos las cotas deben colocarse en la forma indicada en la figura adjunta.

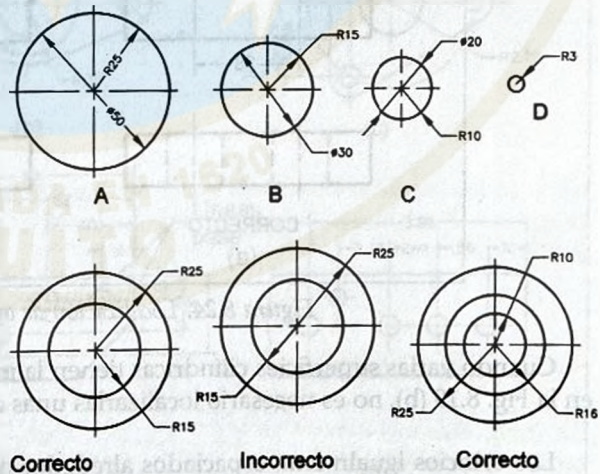


Figura 8.22-4. Acotamiento de círculos

8.16 LOCALIZACIÓN DE FIGURAS INTERNAS (ANIDADAS)

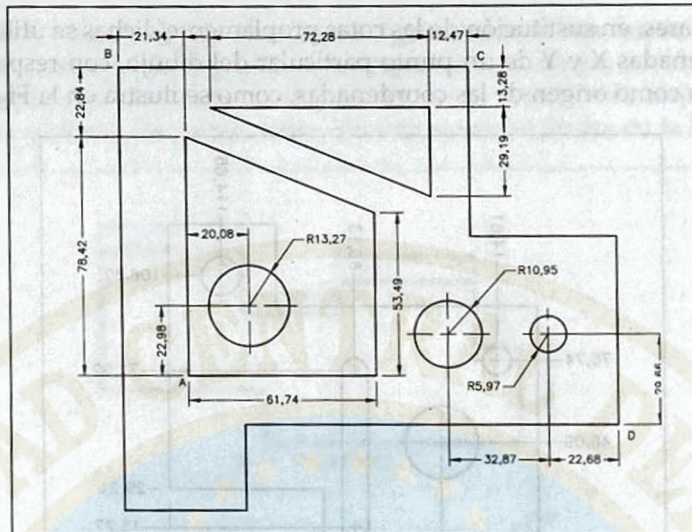


Figura 8.23. Localización de figuras internas

Cuando dentro de una figura existen otras, las internas se denominan figuras anidadas. Las figuras anidadas se deben acotar internamente y fijar su posición con respecto a la figura externa inmediata, dando las cotas de un punto de esta con respecto a otro punto de la figura externa (punto A de la Fig. 8.23). Para las figuras rectangulares se localiza una de sus esquinas y para las figuras circulares se localiza el centro. Cuando hay varios niveles de anidamiento, se debe empezar la localización por el nivel más interior hacia el nivel exterior inmediato.

Como se muestra en la Fig. 8.24, las dimensiones de localización se dan con preferencia en la vista circular de las perforaciones u orificios.

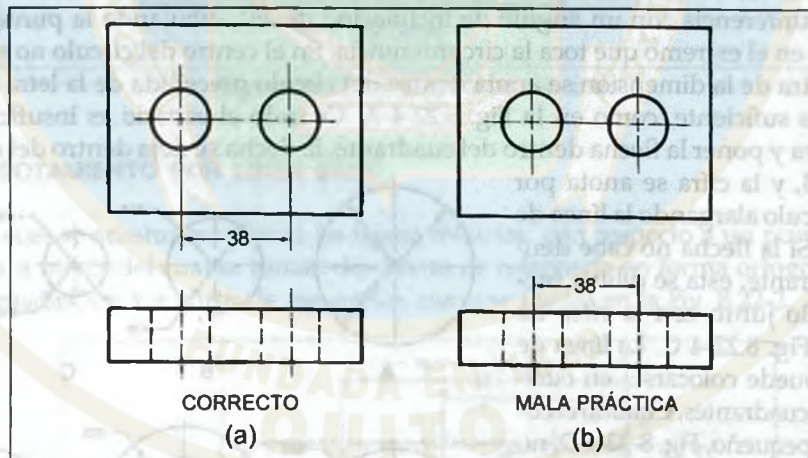


Figura 8.24. Localización de orificios circulares

Cuando varias superficies cilíndricas tienen la misma línea de centro, como se muestra en la Fig. 8.19 (b), no es necesario localizarlas unas con respecto a las otras.

Los orificios igualmente espaciados alrededor de un centro común se pueden dimensionar, Fig. 8.25 (a), dando el diámetro (diagonalmente), del círculo de centros, y anotando «igualmente espaciados» junto con el diámetro de cada hueco y el número de orificios.

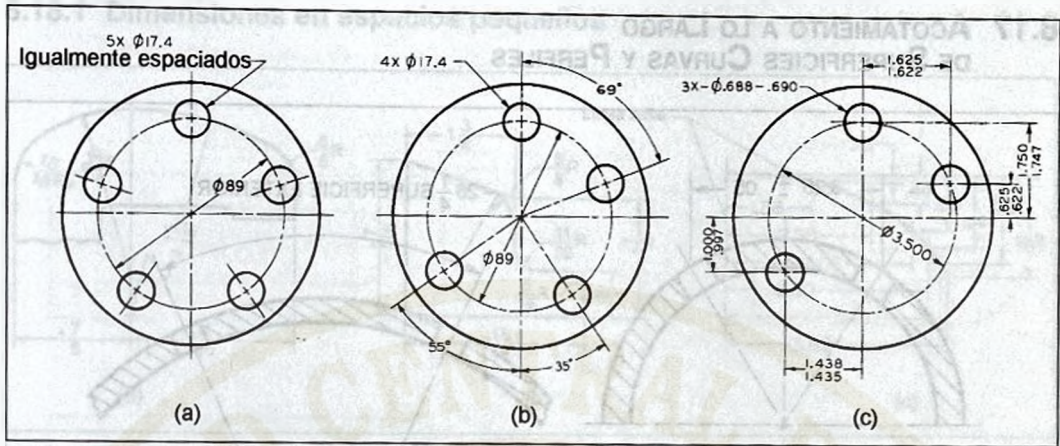


Figura 8.25. Localización de orificios circulares alrededor de un centro

Los orificios espaciados desigualmente se localizan por medio del círculo de centros más las medidas angulares con referencia a sólo una de las líneas de centro, en la forma indicada. Cuando se requiere máxima precisión, se deben dar las coordenadas de los centros en la forma indicada en (c).

En la Fig. 8.26 se dan varios ejemplos de localización de orificios o perforaciones, utilizando el sistema de coordenadas.

Debe estudiarse detalladamente el sistema de localización de remaches en estructuras metálicas, como se muestra en la Fig. 8.26 (d), (e) y (f).

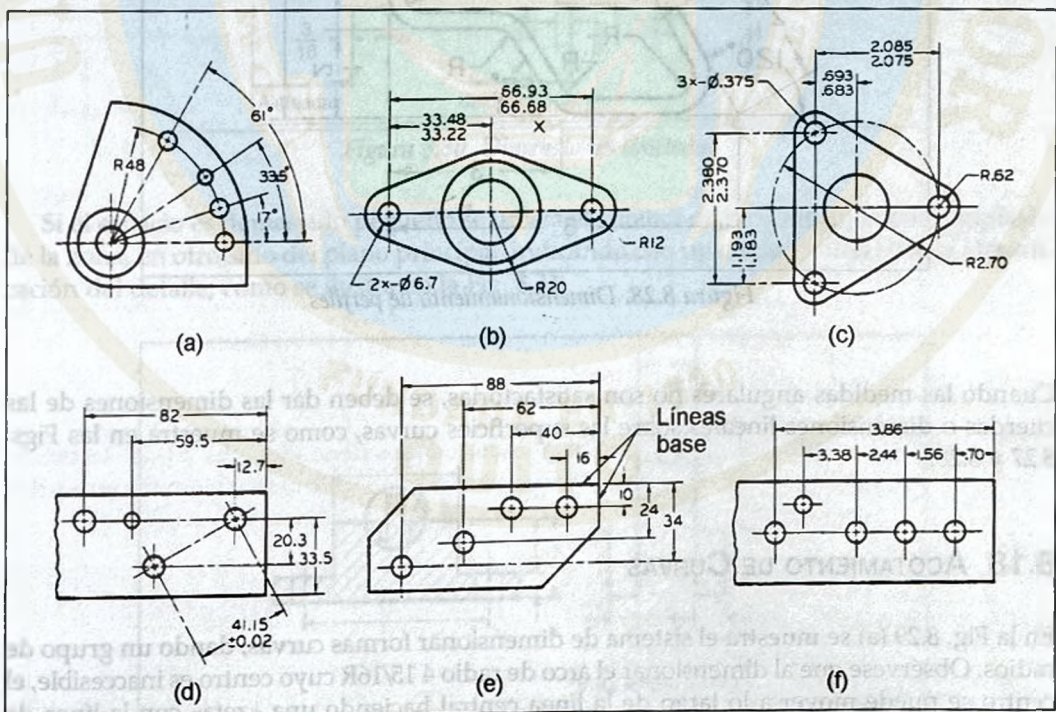


Figura 8.26. Localización de orificios circulares

8.17 ACOTAMIENTO A LO LARGO DE SUPERFICIES CURVAS Y PERFILES

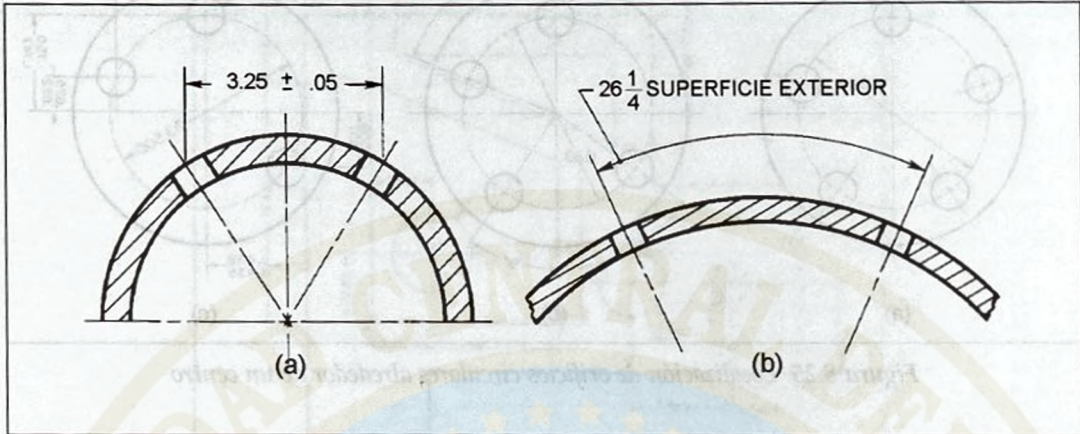


Figura 8.27. Acotamiento de superficies curvas

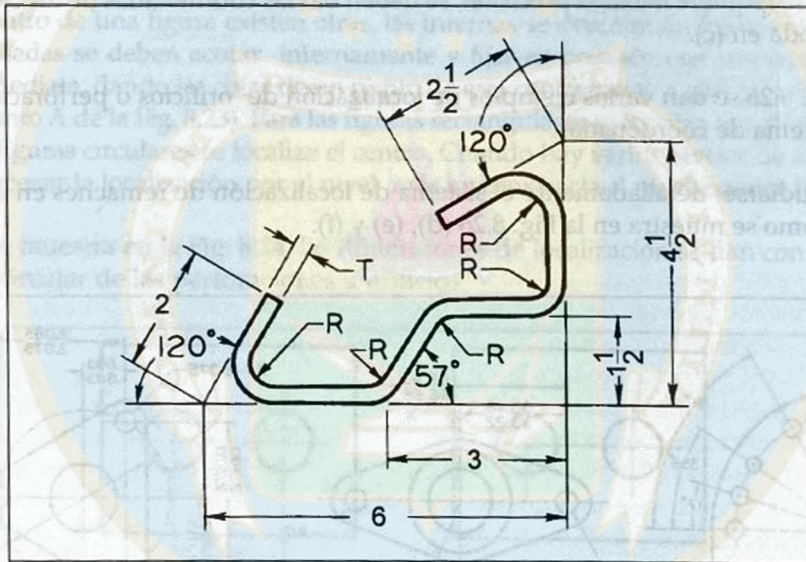


Figura 8.28. Dimensionamiento de perfiles

Cuando las medidas angulares no son satisfactorias, se deben dar las dimensiones de las cuerdas o dimensiones lineales sobre las superficies curvas, como se muestra en las Figs. 8.27 y 8.28.

8.18 ACOTAMIENTO DE CURVAS

En la Fig. 8.29 (a) se muestra el sistema de dimensionar formas curvas, dando un grupo de radios. Obsérvese que al dimensionar el arco de radio $4 \frac{15}{16}R$ cuyo centro es inaccesible, el centro se puede mover a lo largo de la línea central haciendo una «zeta» con la línea de dimensión, denominada *radio quebrado*.

8.18.1 Dimensiones en espacios pequeños

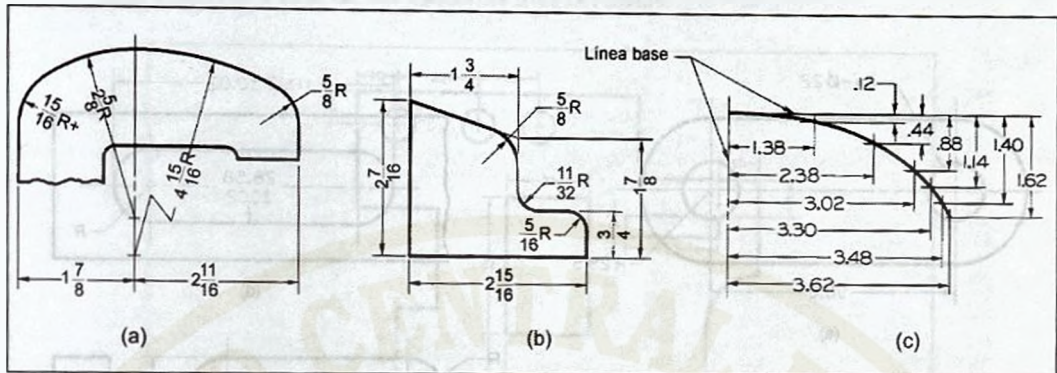


Figura 8.29. Dimensionamiento de curvas

Las dimensiones nunca deben amontonarse en espacios muy pequeños para contenerlas todas. En la Fig. 8.30 se ilustra uno de los métodos utilizados cuando el espacio es limitado. En algunas ocasiones es necesario hacer alguna anotación al respecto.

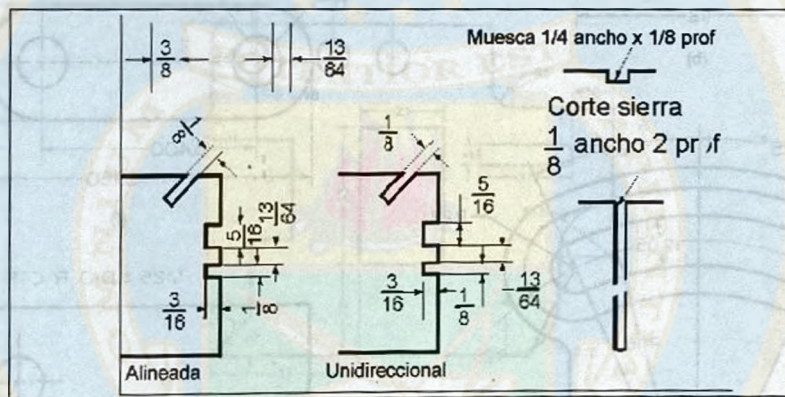


Figura 8.30. Dimensiones limitadas

Si el espacio es demasiado pequeño se utiliza el sistema de mostrar un detalle ampliado de la zona, en otro sitio del plano principal, indicando con un círculo y una letra la identificación del detalle, como se ilustra en la Fig. 8.31.

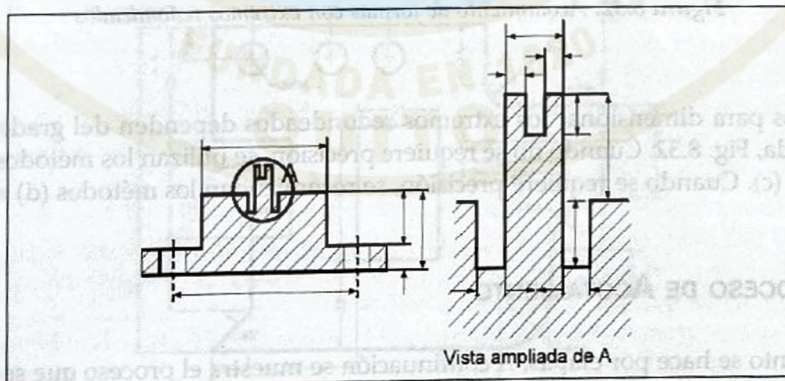


Figura 8.31. Uso de la ampliación

8.19 ACOTAMIENTO DE EXTREMOS REDONDEADOS

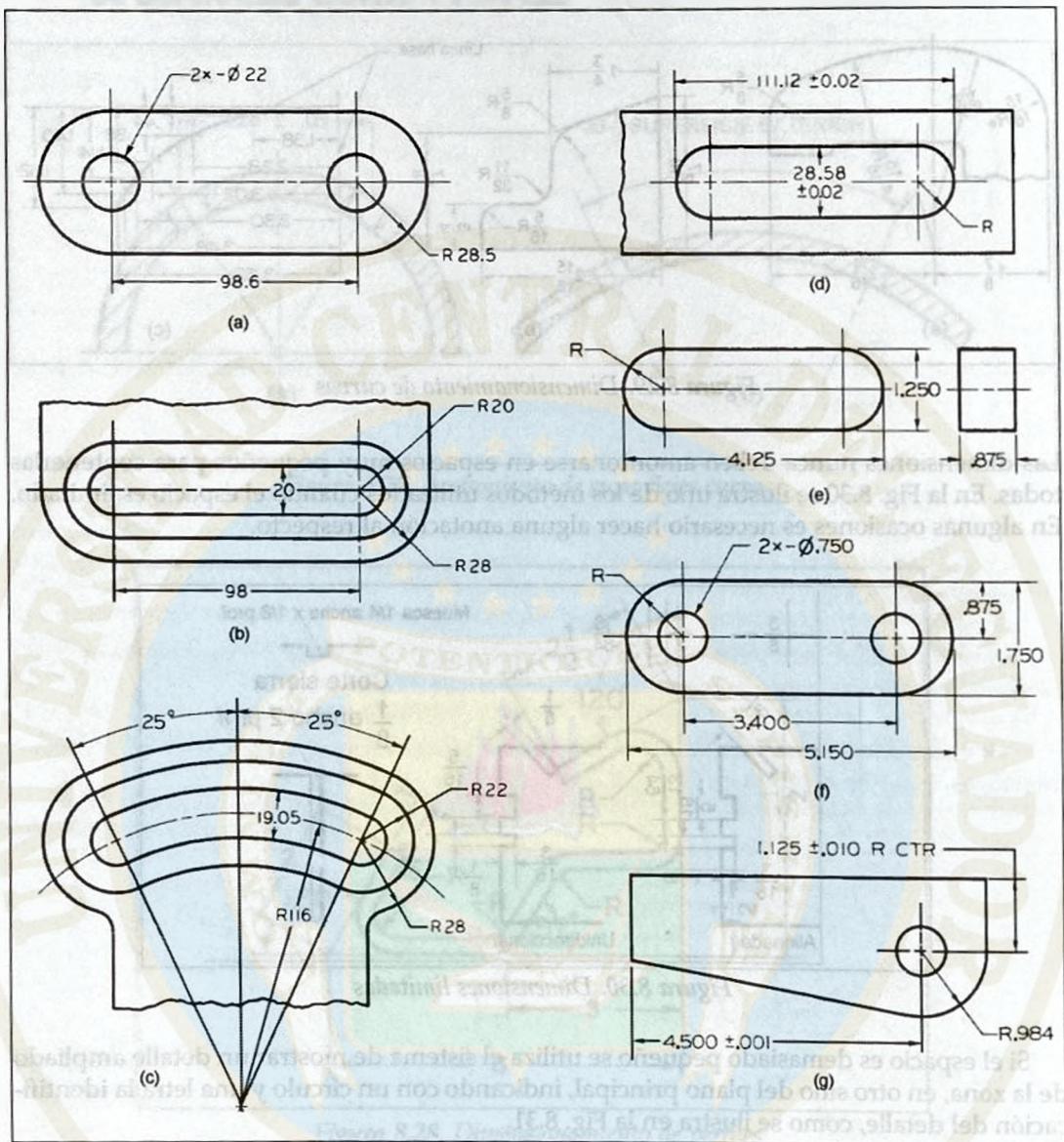
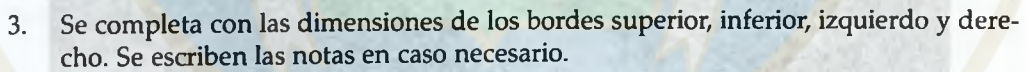
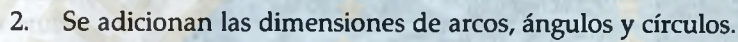


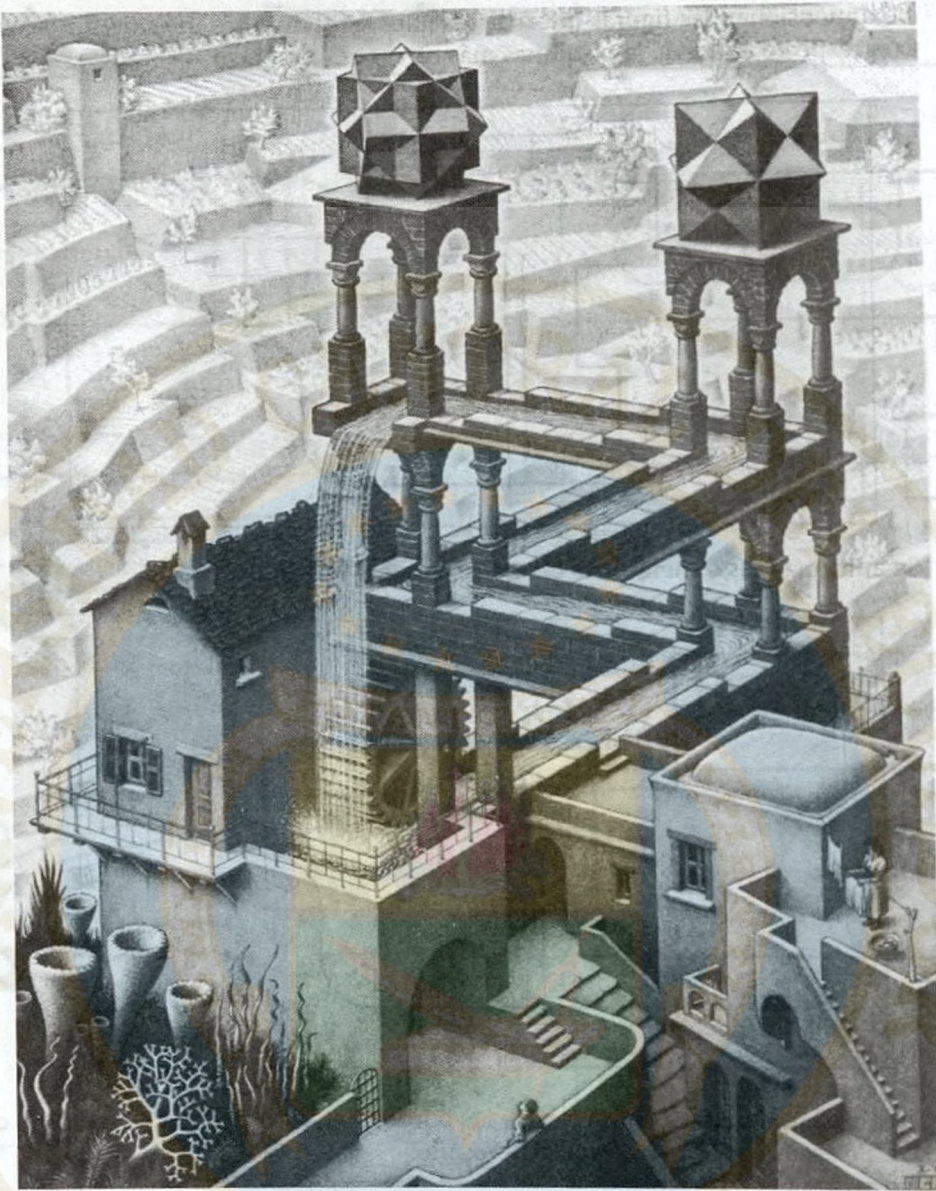
Figura 8.32. Acotamiento de formas con extremos redondeados

Los métodos para dimensionar los extremos redondeados dependen del grado de exactitud requerida, Fig. 8.32. Cuando no se requiere precisión, se utilizan los métodos indicados en (a), (b) y (c). Cuando se requiere precisión, se recomiendan los métodos (d) a (g).

8.20 PROCESO DE ACOTAMIENTO

El acotamiento se hace por etapas. A continuación se muestra el proceso que se sigue para dimensionar la figura adjunta.





M. C. Escher - Cascada (litografía, 1961, 38 x 30 cm)

*"En un artículo de L. S. Penrose y R. Penrose aparecido en el **British Journal of Psicology** en febrero de 1958, publicó R. Penrose un dibujo en perspectiva de una construcción de tres travesaños, que reproducimos arriba. Si nos fijamos atentamente en cada uno de los elementos que componen esta construcción, no descubriremos error alguno. Sin embargo, se trata de un todo imposible, ya que súbitamente aparecen modificaciones en la interpretación de la distancia que separa al espectador del objeto. En la estampa que nos ocupa, fue utilizado este triángulo imposible tres veces. La cascada pone en movimiento una rueda de molino; el agua corre hacia abajo por un canal de dos torres, lentamente y en zig zag, hasta llegar de nuevo al punto en que comienza la cascada. El molinero tiene que echar de vez en vez un cubo de agua para compensar la evaporación. Ambas torres tienen la misma altura, a pesar de que la torre derecha es un piso más baja que la izquierda."*

M.C. Escher

PROYECCIÓN AXONOMÉTRICA 9

9.1 MÉTODOS DE PROYECCIÓN

En la Fig. 9.1 se ilustran los cuatro tipos principales de proyección, y todos ellos, excepto la proyección regular de múltiples vistas, (a), son representaciones pictóricas, puesto que todas muestran varios lados del objeto en una sola vista. En todos los casos, las vistas o proyecciones se forman por incidencia en el plano de proyección de un número infinito de rayos visuales o proyectores.

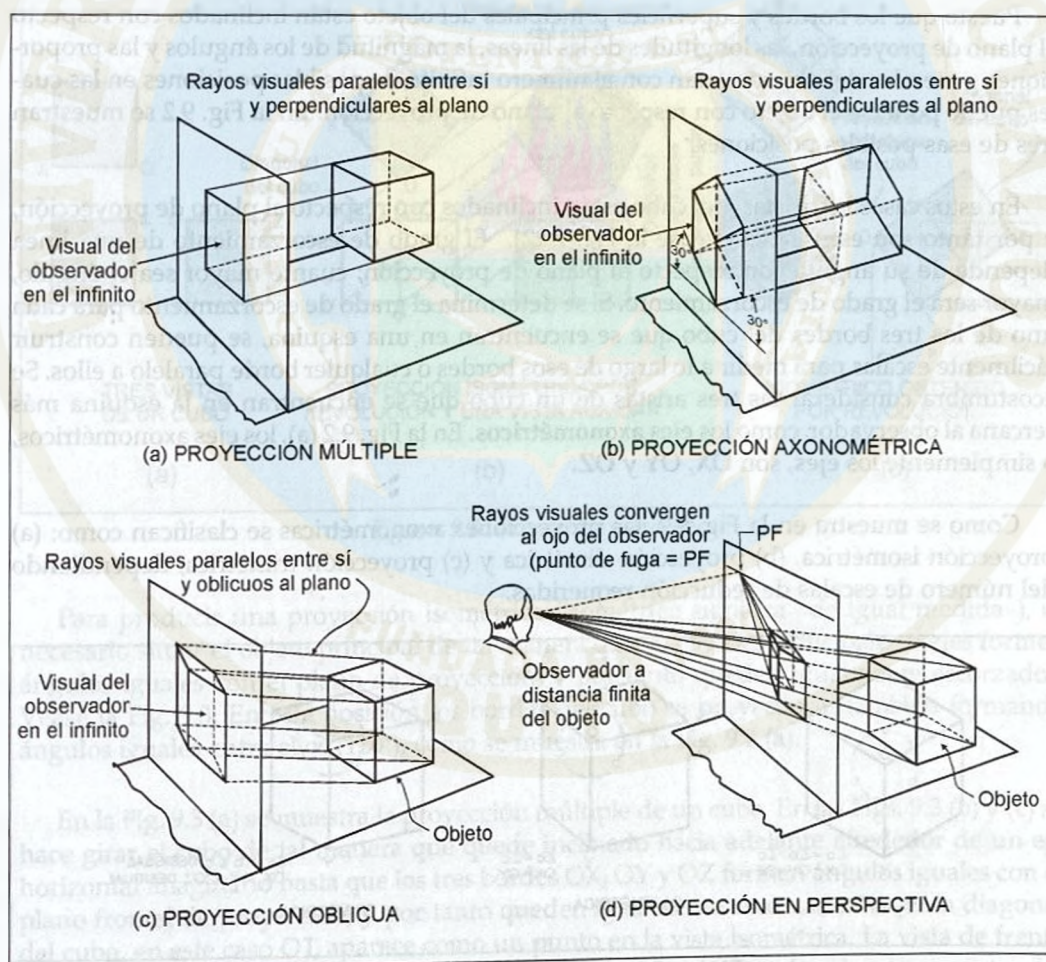


Figura 9.1. Los cuatro tipos de proyección

Tanto en la **proyección de vistas múltiples**, (a), como en la **proyección axonométrica**, (b), se considera que el observador se encuentra en el infinito, y que los rayos visuales son perpendiculares al plano de proyección. Por tanto, ambas se clasifican como *proyecciones ortográficas*.

En la **proyección oblicua**, (c), el observador se considera en el infinito y los rayos visuales son paralelos unos a otros, pero oblicuos con respecto al plano de proyección.

En la **proyección perspectiva**, (d), el observador se considera a distancia finita del objeto y los rayos visuales se extienden desde el ojo del observador, o punto de vista, a todos los puntos del objeto para formar lo que se conoce como el «cono de rayos».

9.2 TIPOS DE PROYECCIÓN AXONOMÉTRICA

La proyección axonométrica es un sistema de representación de cuerpos o figuras del espacio, que consiste en proyectar las superficies sobre tres planos coordinados de referencia, midiendo sus dimensiones sobre los ejes del sistema de coordenadas. La característica distintiva de la proyección axonométrica, comparada con la proyección de vistas múltiples, es la *posición inclinada del objeto con respecto al plano de proyección*.

Puesto que los bordes y superficies principales del objeto están inclinados con respecto al plano de proyección, las longitudes de las líneas, la magnitud de los ángulos y las proporciones generales del objeto varían con el número infinito de posibles posiciones en las cuales puede ponerse el objeto con respecto al plano de proyección. En la Fig. 9.2 se muestran tres de esas posibles posiciones.

En estos casos las aristas del cubo están inclinadas con respecto al plano de proyección, y por tanto son escorzadas (véase la Fig. 7.22). El grado de escorzamiento de una línea depende de su ángulo con respecto al plano de proyección; cuanto mayor sea el ángulo, mayor será el grado de escorzamiento. Si se determina el grado de escorzamiento para cada uno de los tres bordes del cubo que se encuentran en una esquina, se pueden construir fácilmente escalas para medir a lo largo de esos bordes o cualquier borde paralelo a ellos. Se acostumbra considerar las tres aristas de un cubo que se encuentran en la esquina más cercana al observador, como los **ejes axonométricos**. En la Fig. 9.2 (a), los ejes axonométricos, o simplemente los **ejes**, son **OX**, **OY** y **OZ**.

Como se muestra en la Fig. 9.2, las proyecciones axonométricas se clasifican como: (a) proyección isométrica, (b) proyección dimétrica y (c) proyección trimétrica, dependiendo del número de escalas de reducción requeridas.

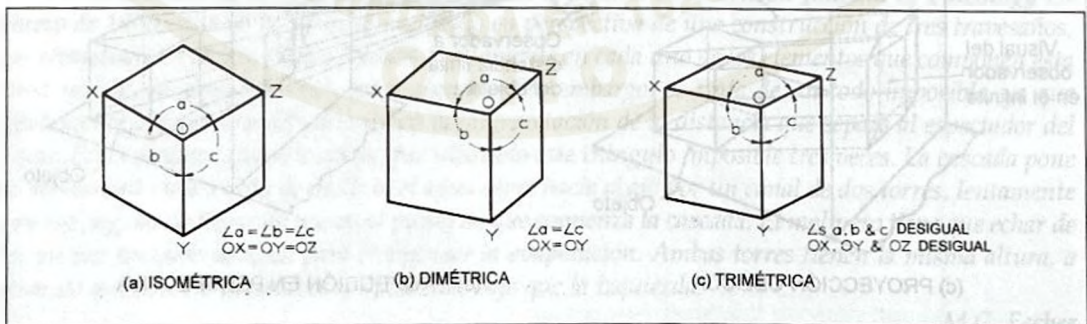


Figura 9.2. Proyecciones axonométricas

9.3 PROYECCIÓN ISOMÉTRICA

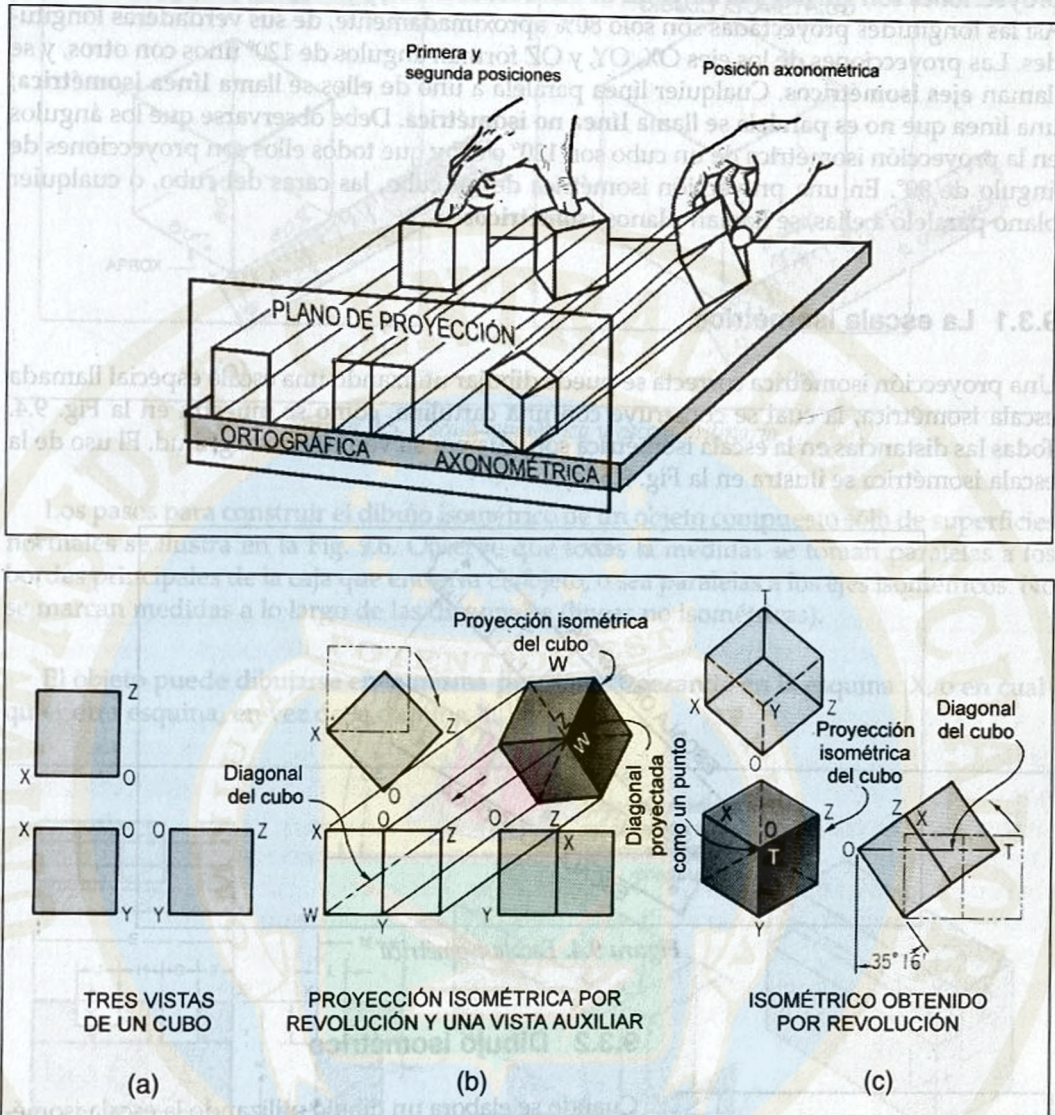


Figura 9.3. Proyección isométrica

Para producir una proyección isométrica (isométrico significa «de igual medida»), es necesario situar el objeto principal de tal manera que sus bordes principales o ejes formen ángulos iguales con el plano de proyección, y por tanto queden igualmente escorizados. Véase la Fig. 9.3. En esta posición los bordes del cubo se proyectarán también formando ángulos iguales entre ellos (120°), como se muestra en la Fig. 9.2 (a).

En la Fig. 9.3 (a) se muestra la proyección múltiple de un cubo. En las Figs. 9.3 (b) y (c) se hace girar el cubo de tal manera que quede inclinado hacia adelante alrededor de un eje horizontal imaginario hasta que los tres bordes OX, OY y OZ formen ángulos iguales con el plano frontal de proyección, y por tanto queden igualmente escorizados. Aquí la diagonal del cubo, en este caso OT, aparece como un punto en la vista isométrica. La vista de frente así obtenida es una **proyección isométrica**. En esta proyección los doce bordes o aristas del

cubo forman ángulos de $35^{\circ} 16'$ con el plano frontal de proyección. Las longitudes de sus proyecciones son iguales a la longitud de sus bordes multiplicada por $\cos(35^{\circ} 16') = 0.816$. Así las longitudes proyectadas son sólo 80% aproximadamente, de sus verdaderas longitudes. Las proyecciones de los ejes OX, OY, y OZ forman ángulos de 120° unos con otros, y se llaman **ejes isométricos**. Cualquier línea paralela a uno de ellos se llama **línea isométrica**; una línea que no es paralela se llama **línea no isométrica**. Debe observarse que los ángulos en la proyección isométrica de un cubo son 120° o 60° y que todos ellos son proyecciones de ángulo de 90° . En una proyección isométrica de un cubo, las caras del cubo, o cualquier plano paralelo a ellas, se llaman **planos isométricos**.

9.3.1 La escala isométrica

Una proyección isométrica correcta se puede dibujar utilizando una escala especial llamada escala isométrica, la cual se construye con una cartulina, como se muestra en la Fig. 9.4. Todas las distancias en la escala isométrica son $\sqrt{2/3}$ por su verdadera magnitud. El uso de la escala isométrica se ilustra en la Fig. 9.5 (a).

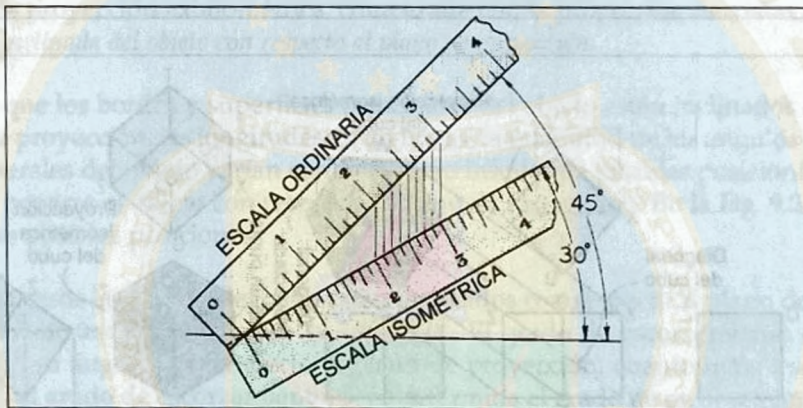
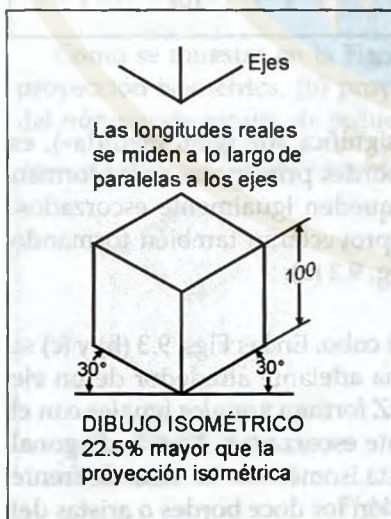


Figura 9.4. Escala isométrica

9.3.2 Dibujo isométrico

Cuando se elabora un dibujo utilizando la escala isométrica, o sea cuando el objeto es proyectado realmente sobre el plano de proyección, se tiene una **proyección isométrica**, como se muestra en la Fig. 9.5 (a). Cuando se elabora utilizando una escala ordinaria, se tiene un **dibujo isométrico**, como se muestra en la Fig. 9.5 (b). El dibujo isométrico es 22.5% más grande que la proyección isométrica, pero su valor pictórico es obviamente el mismo en ambos casos.



Puesto que la proyección isométrica está escorzada y el dibujo isométrico está en verdadera magnitud, se acostumbra elaborar dibujos isométricos en vez de proyecciones isométricas, porque son más fáciles de ejecutar, y para propósitos prácticos son tan correctos como la proyección isométrica misma.

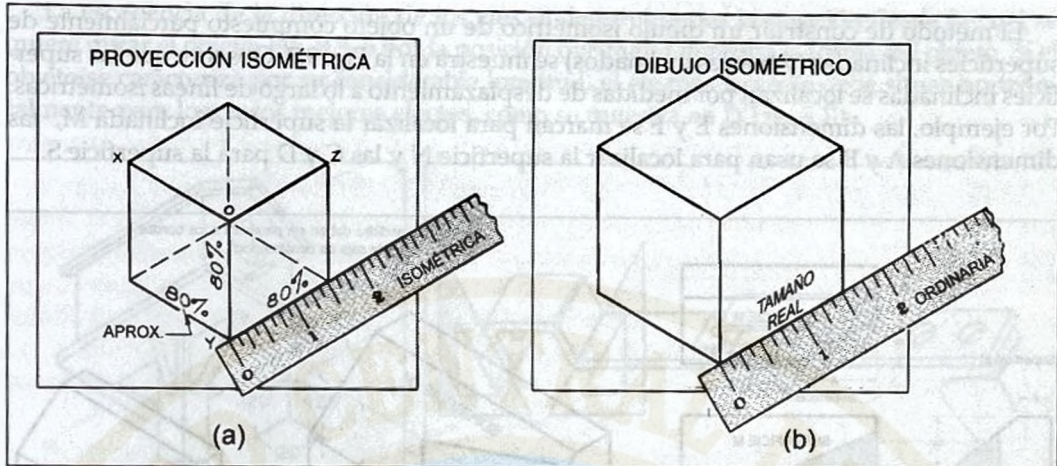


Figura 9.5. Escala isométrica y escala ordinaria

Los pasos para construir el dibujo isométrico de un objeto compuesto sólo de superficies normales se ilustra en la Fig. 9.6. Observe que todas las medidas se toman paralelas a los bordes principales de la caja que encierra el objeto, o sea paralelas a los ejes isométricos. No se marcan medidas a lo largo de las diagonales (líneas no isométricas).

El objeto puede dibujarse en la misma posición empezando en la esquina X, o en cualquier otra esquina, en vez de la esquina X.

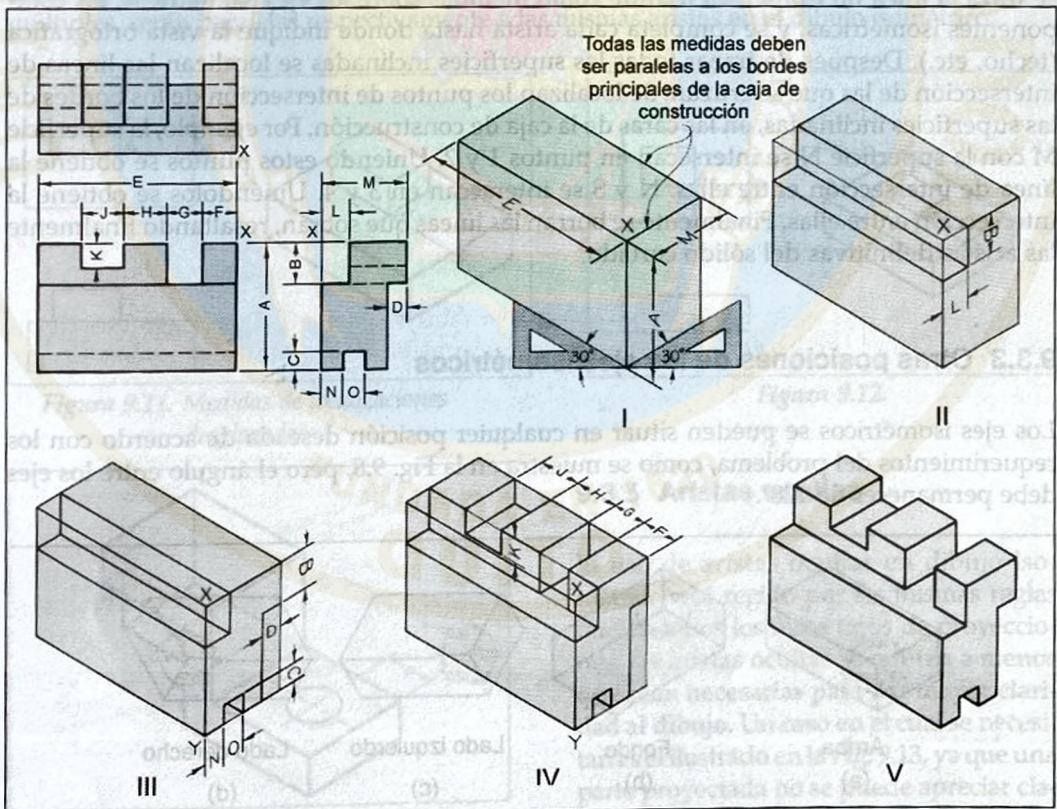


Figura 9.6. Dibujo isométrico de superficies normales

El método de construir un dibujo isométrico de un objeto compuesto parcialmente de superficies inclinadas (y bordes inclinados) se muestra en la Fig. 9.7. Observe que las superficies inclinadas se localizan por medidas de desplazamiento a lo largo de líneas isométricas. Por ejemplo, las dimensiones E y F se marcan para localizar la superficie inclinada M, las dimensiones A y B se usan para localizar la superficie N y las C y D para la superficie S.

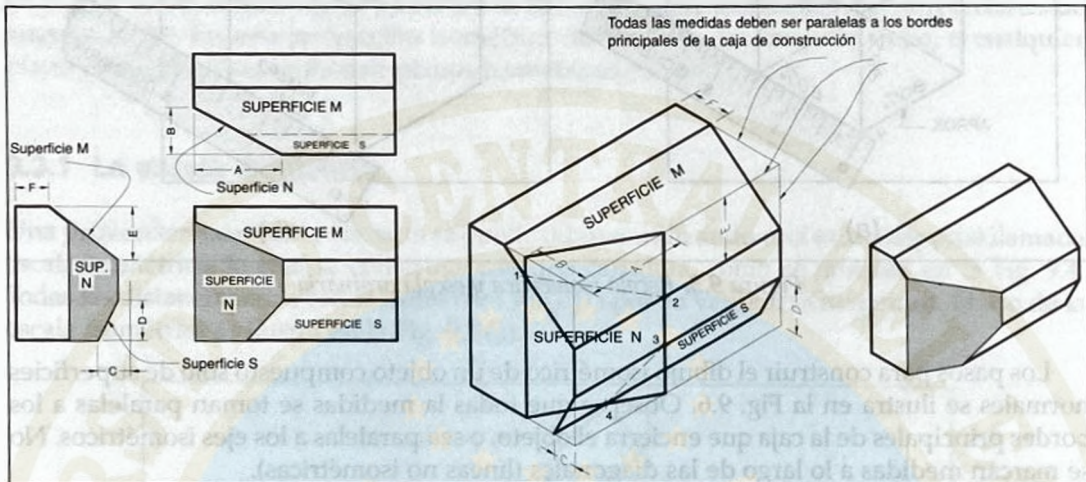


Figura 9.7. Superficies inclinadas en isométrica

Se empieza por la cara donde la superficie inclinada aparece de filo (como una línea) y se traza la línea no isométrica usando como medidas sobre los ejes isométricos, las componentes isométricas, y se completa cada arista hasta donde indique la vista ortográfica (techo, etc.). Después de trazar todas las superficies inclinadas se localizan las líneas de intersección de las que se cruzan. Se localizan los puntos de intersección de los bordes de las superficies inclinadas, en las caras de la caja de construcción. Por ejemplo, la superficie M con la superficie N se intersecan en puntos 1 y 2. Uniendo estos puntos se obtiene la línea de intersección entre ellas. N y S se intersecan en 3 y 4. Uniéndolos se obtiene la intersección entre ellas. Finalmente se borran las líneas que sobran, resaltando finalmente las aristas definitivas del sólido cortado.

9.3.3 Otras posiciones de los ejes isométricos

Los ejes isométricos se pueden situar en cualquier posición deseada de acuerdo con los requerimientos del problema, como se muestra en la Fig. 9.8, pero el ángulo entre los ejes debe permanecer de 120° .

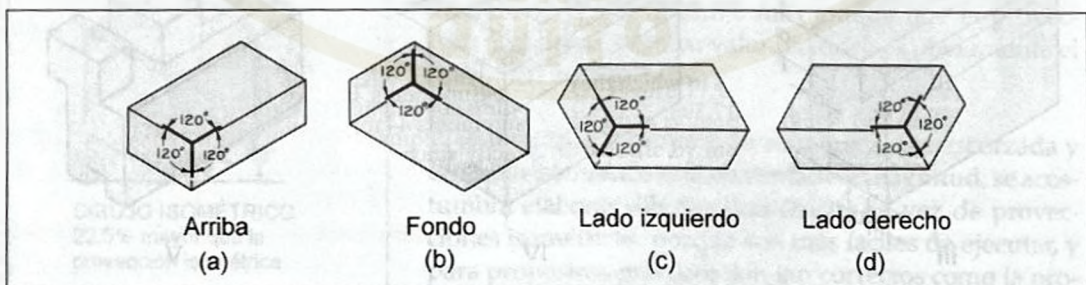


Figura 9.8. Posiciones de los ejes isométricos

La escogencia de la dirección de los ejes se determina por la posición desde la cual se quiere mirar el objeto, Fig. 9.9, o por la posición que mejor describa la forma del objeto. Si el objeto se caracteriza por su considerable longitud, el eje más largo se debe situar horizontalmente para lograr los mejores efectos, como se muestra en la Fig. 9.10.

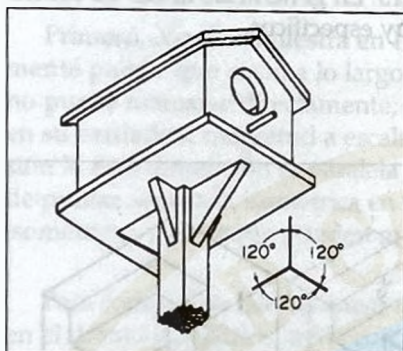


Figura 9.9. Vista por debajo

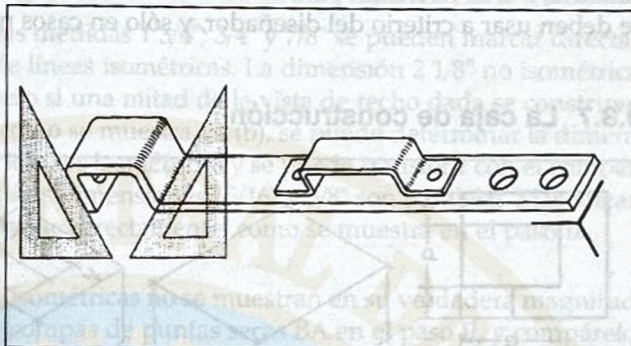


Figura 9.10. Eje longitudinal largo

9.3.4 Localización isométrica de objetos anidados

El método de localizar un objeto anidado con respecto a otro se ilustra en las Figs. 9.11 y 9.12. En cada caso, después de dibujar el bloque principal, las líneas de posición, CA y BA en la vista de techo se dibujan en su verdadera magnitud en el dibujo isométrico, localizando así la esquina A del pequeño bloque rectangular. Estas medidas se llaman **medidas de localización**, y puesto que son paralelas a ciertas aristas del bloque principal en el dibujo de vistas múltiples, serán paralelas respectivamente a las mismas aristas en el dibujo isométrico.

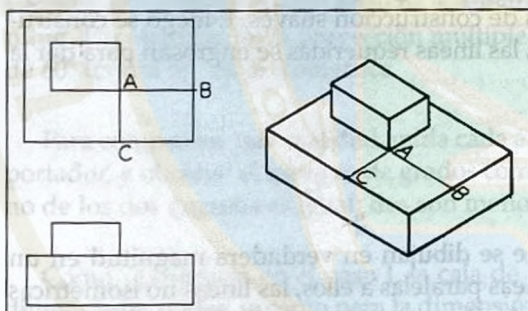


Figura 9.11. Medidas de localizaciones desplazadas

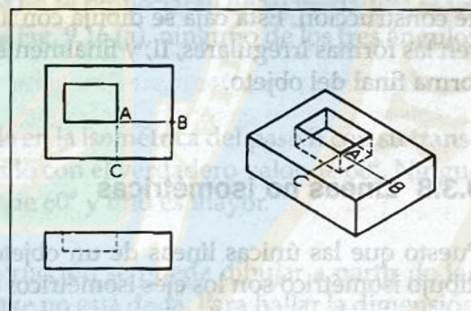


Figura 9.12.

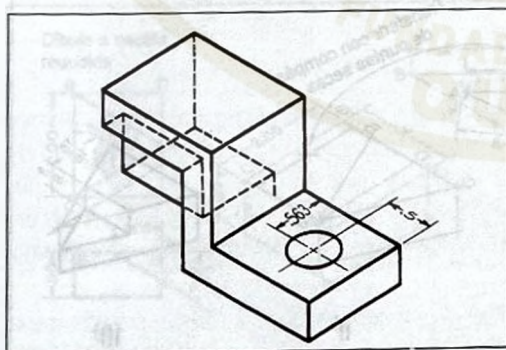


Figura 9.13. Uso de aristas ocultas

9.3.5 Aristas ocultas

El uso de aristas ocultas en dibujo isométrico está regido por las mismas reglas que en todos los otros tipos de proyecciones: **las aristas ocultas se omiten a menos que sean necesarias para dar mayor claridad al dibujo.** Un caso en el cual se necesitan es el ilustrado en la Fig. 9.13, ya que una parte proyectada no se puede apreciar claramente sin ayuda de aristas ocultas.

9.3.6 Líneas de centro

El uso de líneas de centro en dibujo isométrico está gobernado por las mismas reglas del dibujo de vistas múltiples: las líneas de centro se dibujan sólo si son necesarias para indicar simetría, o si se necesitan para dimensionamiento, Fig. 9.13. En general las líneas de centro se deben usar a criterio del diseñador, y sólo en casos muy específicos.

9.3.7 La caja de construcción

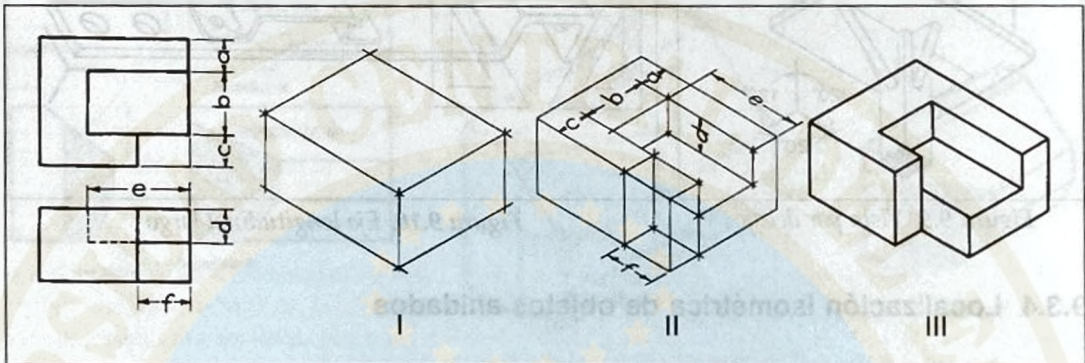


Figura 9.14. La caja de construcción

Los objetos de forma rectangular se pueden dibujar más fácilmente por medio de cajas de construcción, las cuales consisten simplemente en imaginar el objeto encerrado dentro de una caja rectangular cuyos lados coinciden con las caras principales del objeto. Por ejemplo, en la Fig. 9.14 el objeto mostrado en las dos vistas se imagina encerrado dentro de una caja de construcción. Esta caja se dibuja con líneas de construcción suaves, I, luego se construyen las formas irregulares, II, y finalmente, III, las líneas requeridas se engrosan para dar la forma final del objeto.

9.3.8 Líneas no isométricas

Puesto que las únicas líneas de un objeto que se dibujan en verdadera magnitud en un dibujo isométrico son los ejes isométricos o líneas paralelas a ellos, las líneas no isométricas no pueden marcarse directamente con la escala. Por ejemplo, en la Fig. 9.15 (a) las líneas

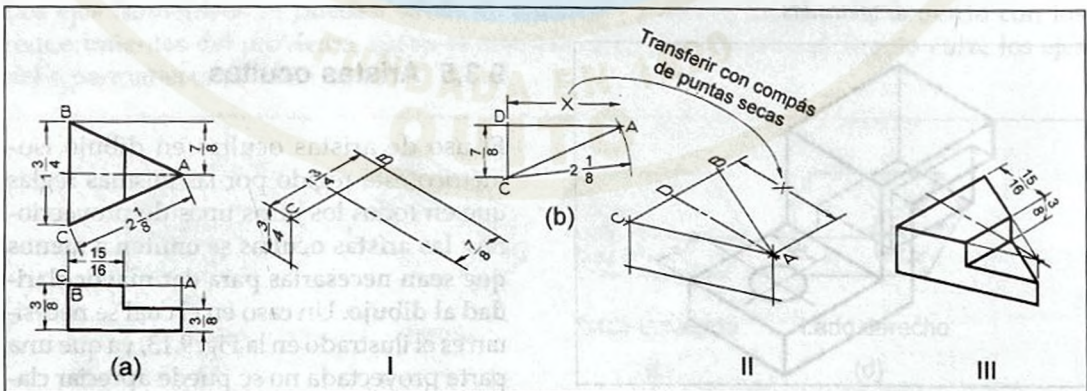


Figura 9.15. Líneas no isométricas

inclinadas BA y CA se muestran en verdadera longitud ($2\frac{1}{8}"$) en la vista de techo, pero puesto que ellas no son paralelas a los ejes isométricos, no se verán en su verdadera magnitud en la figura isométrica. Tales líneas se dibujan en isométrica por medio de cajas de contrucción y medidas desplazadas.

Primero, como se muestra en I, las medidas $1\frac{3}{4}"$, $\frac{3}{4}"$ y $\frac{7}{8}"$ se pueden marcar directamente puesto que están a lo largo de líneas isométricas. La dimensión $2\frac{1}{8}"$ no isométrica no puede marcarse directamente, pero si una mitad de la vista de techo dada se construye en su verdadera magnitud a escala como se muestra en (b), se puede determinar la dimensión X. Esta dimensión es paralela a los ejes isométricos y se puede transferir con el compás de puntas secas a la isométrica en II. Las dimensiones $15/16"$ y $3/8"$ son paralelas a las líneas isométricas y por tanto pueden marcarse directamente, como se muestra en el paso II.

Para comprobar que las líneas no isométricas no se muestran en su verdadera magnitud en el dibujo isométrico, mida con el compás de puntas secas BA en el paso II, y compárelo con BA en la vista de techo dada. Haga lo mismo para la línea CA. Se verá que BA es más corto y CA será más largo en la isométrica que las correspondientes líneas en las vistas dadas.

9.3.9 Ángulos en isométrica

Los ángulos se proyectan en su verdadera magnitud solamente cuando el plano del ángulo es paralelo al plano de proyección. Un ángulo puede proyectarse más pequeño o más grande que su verdadera magnitud, dependiendo de su posición. Puesto que en isométrica las diferentes superficies del objeto usualmente están inclinadas con respecto al plano de proyección, se concluye que los ángulos generalmente no se proyectarán en su verdadera magnitud. Por ejemplo, en la proyección múltiple de la Fig. 9.16 (a), ninguno de los tres ángulos de 60° tendrá 60° en la isométrica.

Para comprobar esta realidad, mida cada ángulo en la isométrica del paso II con su transportador, y observe el número de grados comparado con el verdadero valor de 60° . Ninguno de los dos ángulos es igual; dos son menores que 60° y uno es mayor.

Como se muestra en el paso I, la caja de construcción se puede dibujar a partir de las dimensiones dadas, excepto para la dimensión X que no está dada. Para hallar la dimensión X, dibuje el triángulo BDA a partir de la verdadera magnitud de la vista de techo, como se

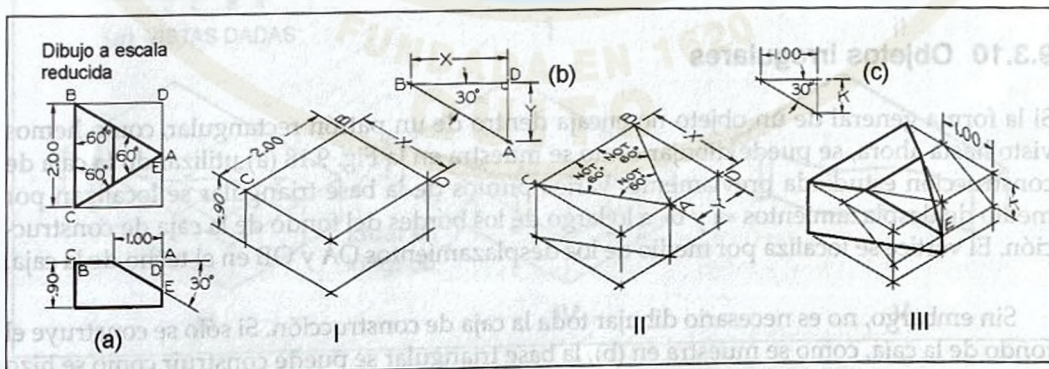


Figura 9.16. Ángulos en isométrica

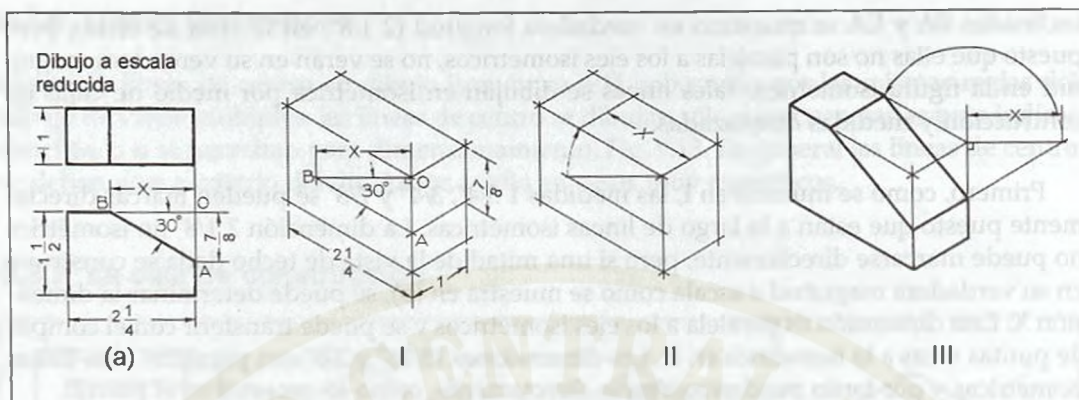


Figura 9.17. Ángulos en isométrica

muestra en (b). Transfiera la dimensión X a la isométrica en el paso I, para completar la caja de construcción.

Para localizar el punto A en el paso II se debe usar la dimensión Y , la cual no está dada en la vista de techo en (a). La dimensión Y se encuentra por la misma construcción en (b), y luego transferida a la isométrica, como se indica. La isométrica completa se muestra en III, donde el punto E se localiza usando la dimensión K , como se indica.

Por tanto, para marcar ángulos en isométrica no se puede usar el transportador normal. Las medidas angulares deben convertirse a medidas lineales a lo largo de líneas isométricas.

En la Fig. 9.17 (a) hay dos vistas de un objeto para dibujar en isométrica. El punto A puede localizarse fácilmente en la isométrica, paso I, midiendo $7/8"$ hacia abajo a partir del punto O. Sin embargo, en el dibujo dado en (a) la localización del punto B depende del ángulo de 30° , y para localizar B en la isométrica se debe conocer la dimensión lineal X . Esta distancia se puede encontrar gráficamente dibujando el triángulo rectángulo BOA, unido a la isométrica, como se muestra. La distancia X se transfiere a la isométrica con el compás de puntas secas, como se muestra en II. En realidad, el triángulo se puede unir en varias posiciones diferentes. Una de ellas se muestra en el paso III.

Cuando los ángulos se dan en grados, es necesario convertir las medidas angulares en medidas lineales. Esto se hace mejor dibujando el triángulo rectángulo separadamente, como se muestra en la Fig. 9.16 (b), o unido a la isométrica como en la Fig. 9.17.

9.3.10 Objetos irregulares

Si la forma general de un objeto no encaja dentro de un patrón rectangular, como hemos visto hasta ahora, se puede dibujar como se muestra en la Fig. 9.18 (a) utilizando la caja de construcción estudiada previamente. Varios puntos de la base triangular se localizan por medio de desplazamientos «a y b» a lo largo de los bordes del fondo de la caja de construcción. El vértice se localiza por medio de los desplazamientos OA y OB en el techo de la caja.

Sin embargo, no es necesario dibujar toda la caja de construcción. Si sólo se construye el fondo de la caja, como se muestra en (b), la base triangular se puede construir como se hizo anteriormente. La proyección ortográfica del vértice O' en la base se puede localizar por los

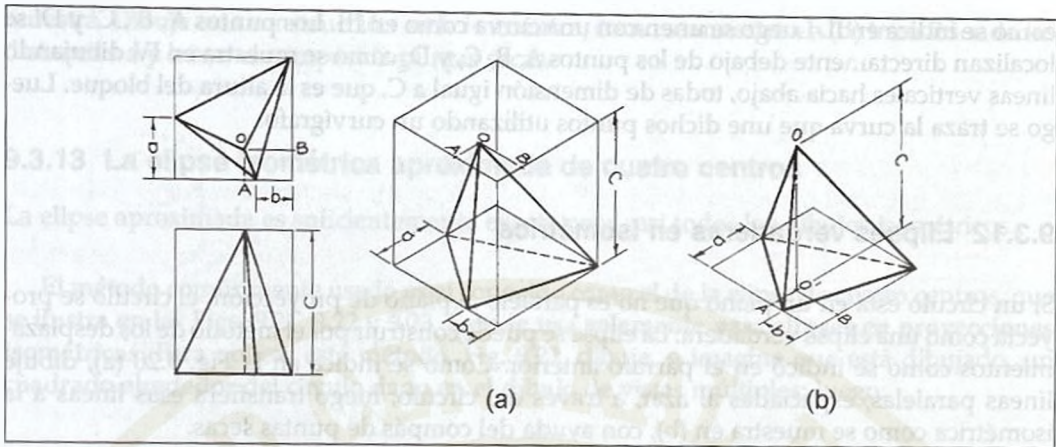


Figura 9.18. Objetos irregulares en isométrica

desplazamientos $O'A$ y $O'B$, como se indica, y desde este punto se puede levantar la línea vertical $O'O$, usando la medida C .

9.3.11 Curvas en isométrica

Las curvas se pueden dibujar en isométrica por medio de una serie de medidas de desplazamiento. En la Fig. 9.19, cualquier número de puntos deseados, como A, B, C , etc., se seleccionan al azar a lo largo de la curva en la vista de techo dada en (a). Luego se dibuja una cuadrícula de líneas de desplazamiento a partir de cada punto, paralelas a los ejes isométricos.

Como se muestra en I, las medidas de desplazamiento a y b se marcan en la isométrica para localizar el punto A en la curva. Los puntos B, C, D se localizan de manera similar

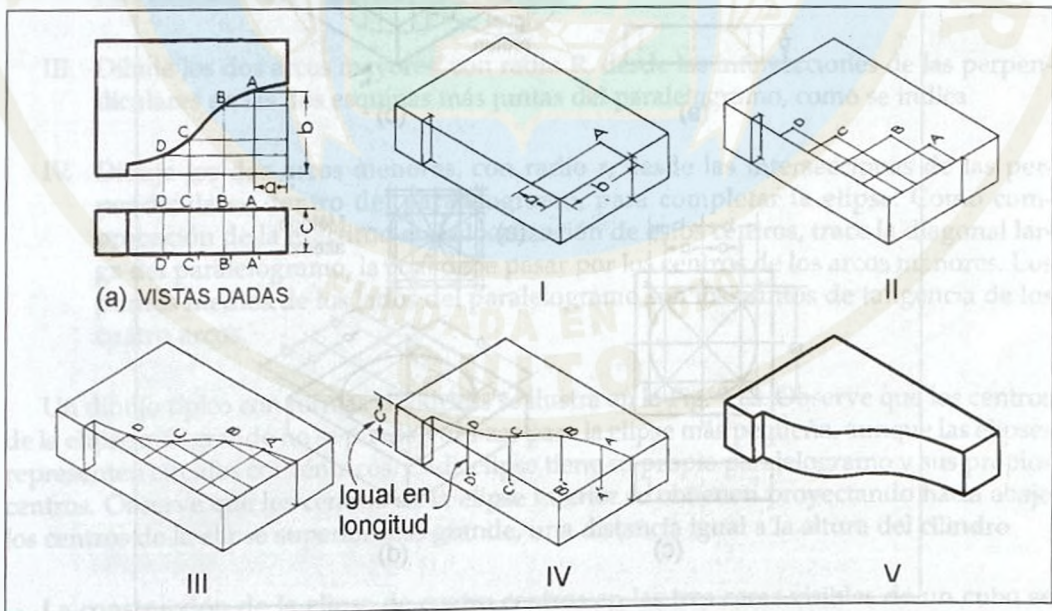


Figura 9.19. Curvas en isométrica

como se indica en II. Luego se unen con una curva como en III. Los puntos A', B', C' y D' se localizan directamente debajo de los puntos A, B, C, y D, como se muestra en IV, dibujando líneas verticales hacia abajo, todas de dimensión igual a C, que es la altura del bloque. Luego se traza la curva que une dichos puntos utilizando un curvógrafo.

9.3.12 Elipses verdaderas en isométrica

Si un círculo está en un plano que no es paralelo al plano de proyección, el círculo se proyecta como una elipse verdadera. La elipse se puede construir por el método de los desplazamientos como se indicó en el párrafo anterior. Como se indica en la Fig. 9.20 (a), dibuje líneas paralelas, espaciadas al azar, a través del círculo; luego transfiera esas líneas a la isométrica como se muestra en (b), con ayuda del compás de puntas secas.

Para localizar los puntos de la parte inferior de la elipse, baje los puntos de la elipse superior una distancia igual a la altura d del bloque y dibuje la elipse, parte de la cual estará escondida. Complete la elipse con el curvógrafo. Una variación del método de los desplazamientos, el cual proporciona ocho puntos de la elipse, se ilustra en (c) y (d). Como se muestra en (c), dibuje un cuadrado alrededor del círculo dado, y dibuje sus diagonales. Por los puntos de intersección de las diagonales y el círculo, dibuje otro cuadrado, como se

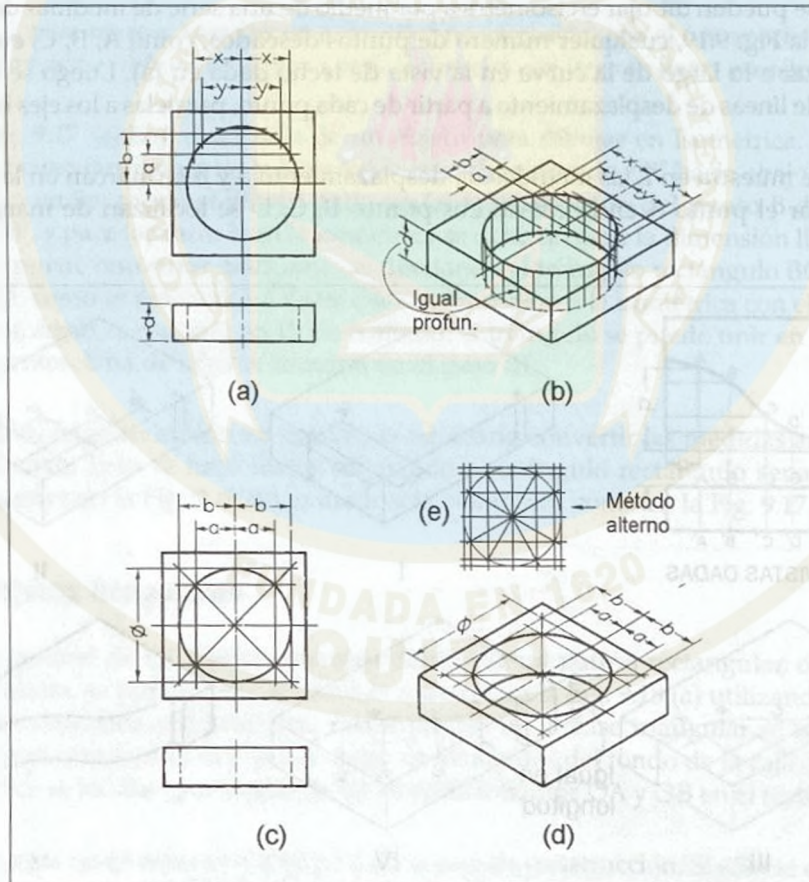


Figura 9.20. Construcción de la elipse verdadera en isométrica

muestra. Dibuje esta construcción en la isométrica, como se muestra en (d) transfiriendo las distancias a y b con el compás de puntas secas.

9.3.13 La elipse isométrica aproximada de cuatro centros

La elipse aproximada es suficientemente exacta para casi todos los dibujos isométricos.

El método comúnmente usado es el conocido como el de la elipse de cuatro centros, que se ilustra en las Figs. 9.21, 9.22 y 9.23. Éste se usa solamente para elipses en proyecciones isométricas. Para aplicar este método, Fig. 9.21, dibuje, o imagine que está dibujado, un cuadrado alrededor del círculo dado en el dibujo de vistas múltiples; luego:

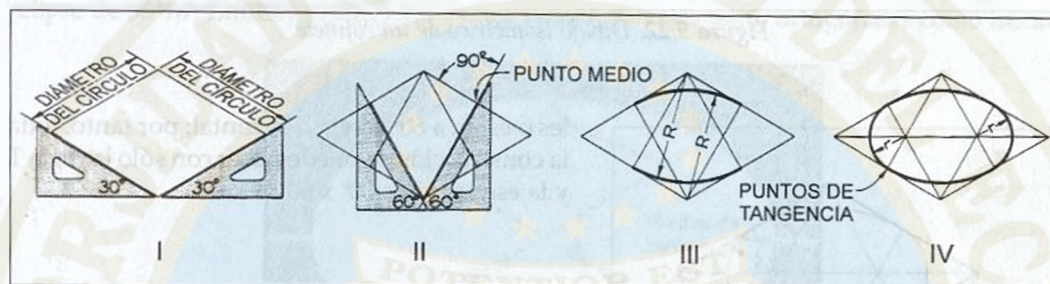


Figura 9.21. Dibujo de la elipse de cuatro centros

- I. Dibuje la isométrica del cuadrado, la cual es un paralelogramo equilátero cuyos lados son iguales al diámetro del círculo.
- II. Levante bisectores perpendiculares a cada lado, usando la escuadra de $30^\circ \times 60^\circ$ en la forma indicada. Estas perpendiculares se intersecan en cuatro puntos que serán los centros de los cuatro arcos de círculo.
- III. Dibuje los dos arcos mayores, con radio R , desde las intersecciones de las perpendiculares en las dos esquinas más juntas del paralelogramo, como se indica.
- IV. Dibuje los dos arcos menores, con radio r , desde las intersecciones de las perpendiculares dentro del paralelogramo, para completar la elipse. Como comprobación de la exactitud en la localización de estos centros, trace la diagonal larga del paralelogramo, la cual debe pasar por los centros de los arcos menores. Los puntos medios de los lados del paralelogramo son los puntos de tangencia de los cuatro arcos.

Un dibujo típico con formas cilíndricas se ilustra en la Fig. 9.22. Observe que los centros de la elipse más grande no se pueden utilizar para la elipse más pequeña, aunque las elipses representen círculos concéntricos. Cada elipse tiene su propio paralelogramo y sus propios centros. Observe que los centros de la elipse inferior se obtienen proyectando hacia abajo los centros de la elipse superior más grande, una distancia igual a la altura del cilindro.

La construcción de la elipse de cuatro centros en las tres caras visibles de un cubo se muestra en la Fig. 9.23, un análisis del cual muestra que todas las diagonales son horizonta-

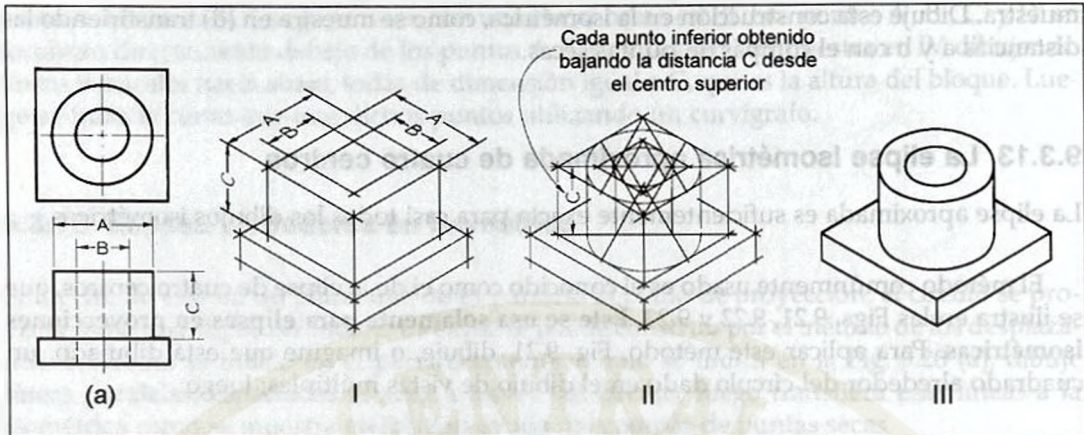


Figura 9.22. Dibujo isométrico de un cojinete

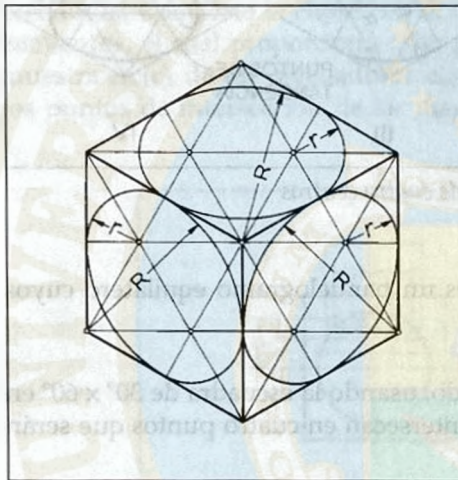


Figura 9.23. Elipses de cuatro centros

les o están a 60° con la horizontal; por tanto, toda la construcción se puede hacer con sólo la regla T y la escuadra de $30^\circ \times 60^\circ$.

9.3.14 Arcos en isométrica

La construcción de la elipse de cuatro centros se usa para dibujar arcos en isométrica, como se indica en la Fig. 9.24. En (a) se muestra la construcción completa.

Sin embargo, no es necesario dibujar la construcción completa para los arcos, como se muestra en (b) y (c). En cada caso el radio R se marca en la esquina de construcción; luego, en cada

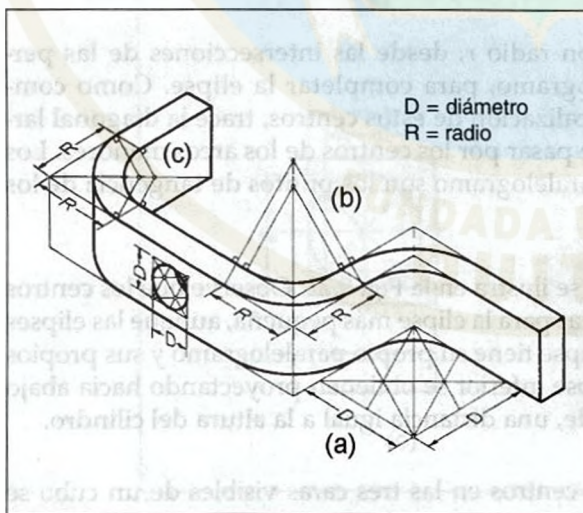


Figura 9.24. Arcos en isométrica

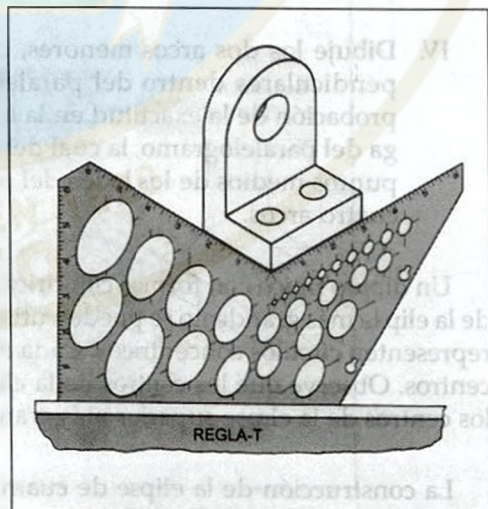


Figura 9.25. Plantilla isométrica

punto, se levantan perpendiculares a las líneas, cuya intersección es el centro del arco. Observe que las distancias R son iguales en ambos casos (b) y (c), pero los radios verdaderos son completamente diferentes.

La Figura 9.27 muestra la construcción de esquinas redondeadas en dibujo isométrico, siguiendo el sistema anteriormente descrito. La Fig. 9.28 muestra la aplicación práctica de estos principios a la proyección, con ejes isométricos invertidos, de una repisa con soporte diseñado con arcos en sus extremos.

9.3.15 Plantilla de elipses isométricas

Para agilizar el trazado de elipses se utilizan plantillas de elipses isométricas (ángulo de elipse de $35^{\circ}16'$; Em:EM = 1:1.7), las cuales vienen con ejes tanto ortogonales como isomé-

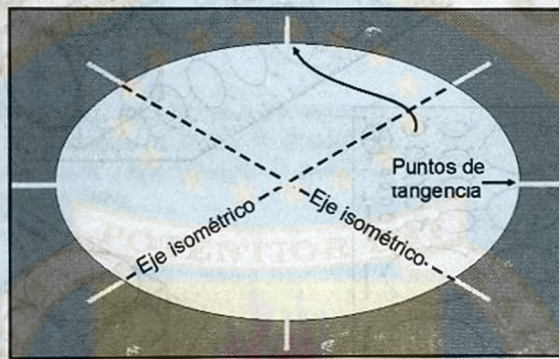


Figura 9.26. La elipse isométrica

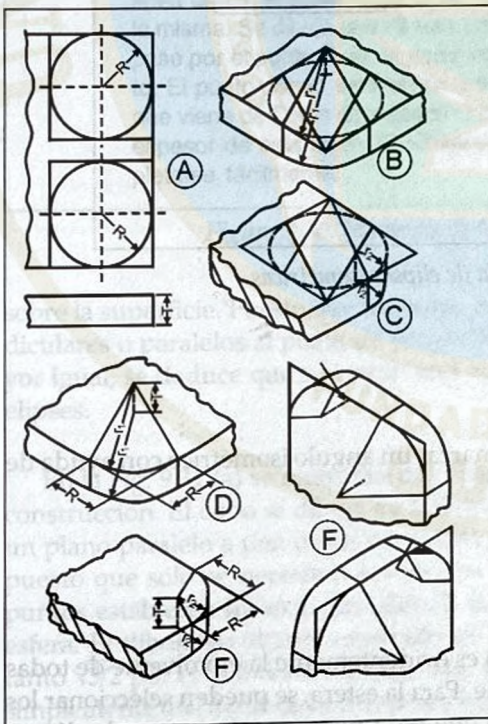


Figura 9.27. Cuartos de círculo

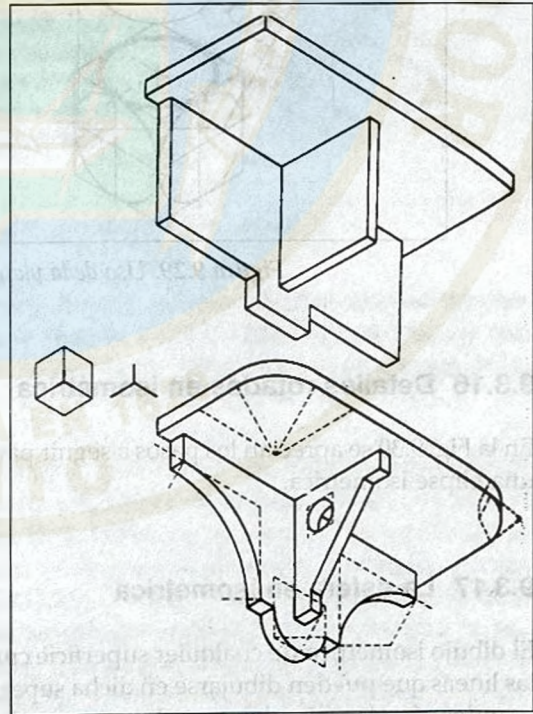


Figura 9.28. Isométrica con ejes invertidos

tricos. Estos últimos se identifican fácilmente porque están inclinados 30° con respecto a los ejes normales, lo cual permite colocar la plantilla correctamente haciendo coincidir los ejes isométricos del dibujo con los ejes isométricos de la elipse de tamaño apropiado. En la Fig. 9.29 se indica la forma de utilizar la plantilla de elipses isométricas en las tres posiciones correspondientes a las tres caras visibles del cubo isométrico. Cuando el tamaño de la elipse del dibujo no corresponde exactamente a uno de los de la plantilla, se utiliza el método explicado en el numeral 5.2.5.

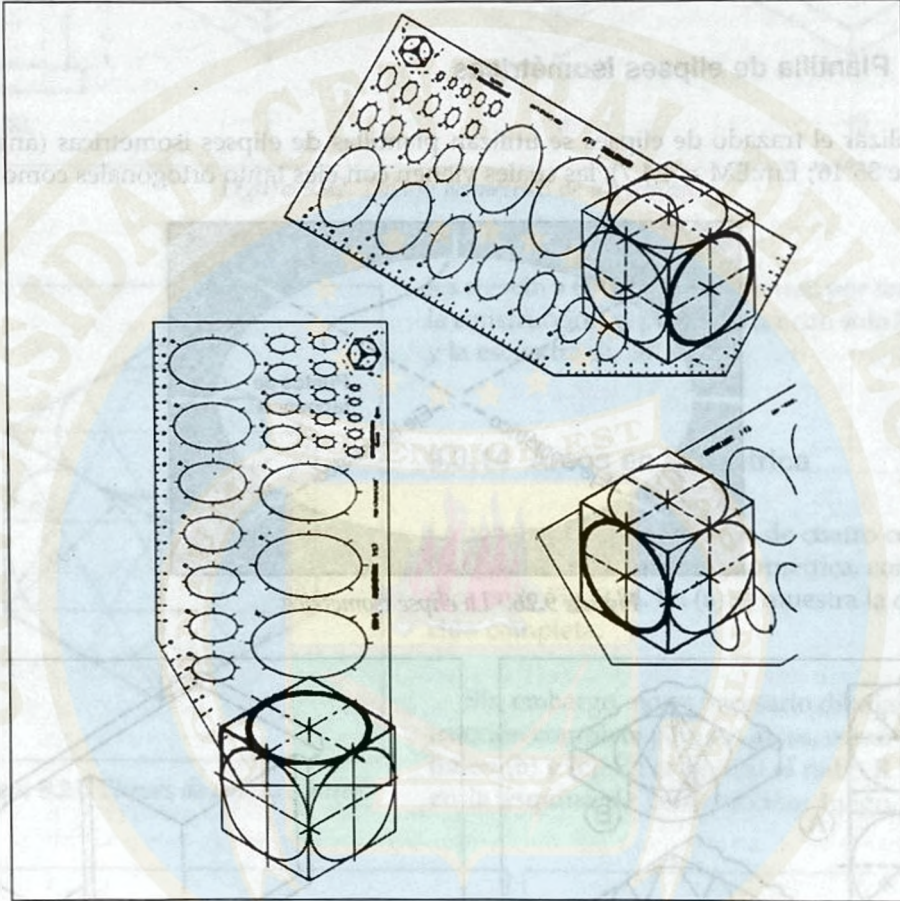


Figura 9.29. Uso de la plantilla de elipses isométricas

9.3.16 Detalles rotados en isométrica

En la Fig. 9.30 se aprecian los pasos a seguir para marcar un ángulo isométrico con ayuda de una elipse isométrica.

9.3.17 La esfera en isométrica

El dibujo isométrico de cualquier superficie curva es evidentemente la envolvente de todas las líneas que pueden dibujarse en dicha superficie. Para la esfera, se pueden seleccionar los grandes círculos (círculos cortados por un plano que pasa por su centro) como las líneas

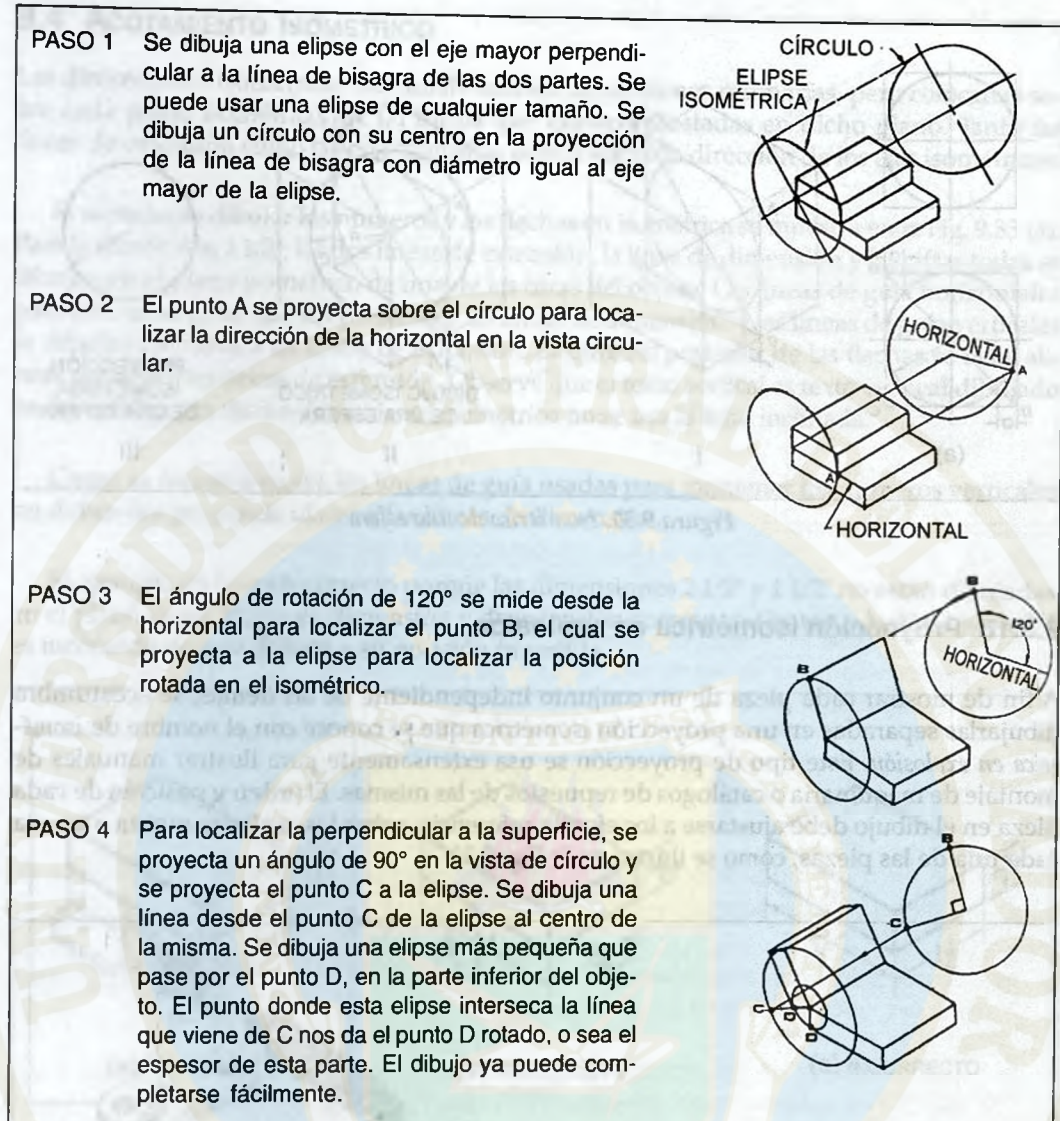


Figura 9.30. Medición de ángulos con una plantilla isométrica

sobre la superficie. Puesto que todos los grandes círculos, excepto aquellos que son perpendiculares o paralelos al plano de proyección, se muestran como elipses que tienen eje mayor igual, se deduce que su envolvente es un círculo cuyo diámetro es el eje mayor de las elipses.

En la Fig. 9.31 (a) se muestran dos vistas de una esfera encerrada dentro de un cubo de construcción. El cubo se dibuja en I, junto con la isométrica de un gran círculo que está en un plano paralelo a una de las caras del cubo. En realidad, no se necesita dibujar la elipse, puesto que sólo se necesitan los puntos sobre la diagonal localizados midiendo a . Estos puntos establecen los extremos del eje mayor desde el cual se determina el radio R de la esfera. El dibujo resultante mostrado en II es un dibujo isométrico, y su diámetro es por tanto $\sqrt{3}/2$ por el diámetro verdadero de la esfera. La proyección isométrica de la esfera es simplemente un círculo cuyo diámetro es el diámetro verdadero de la esfera, como se muestra en la Fig. 9.31 (III).

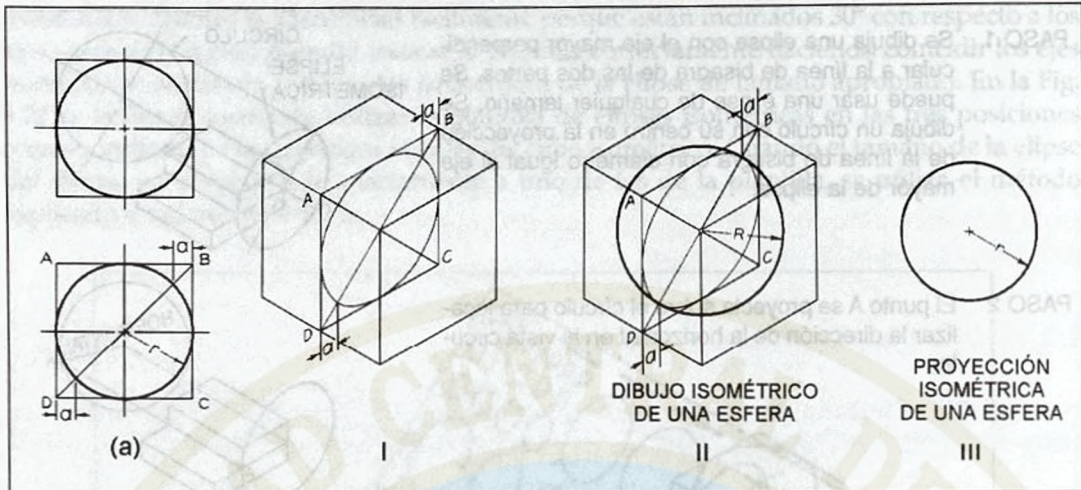


Figura 9.31. Isométrica de una esfera

9.3.18 Proyección isométrica en explosión

A fin de mostrar cada pieza de un conjunto independiente de las demás, se acostumbra dibujarlas separadas en una proyección isométrica que se conoce con el nombre de *isométrica en explosión*. Este tipo de proyección se usa extensamente para ilustrar manuales de montaje de maquinaria o catálogos de repuestos de las mismas. El orden y posición de cada pieza en el dibujo debe ajustarse a los ejes de referencia, sobre los cuales se monta o encaja cada una de las piezas, como se ilustra en la Fig. 9.32.

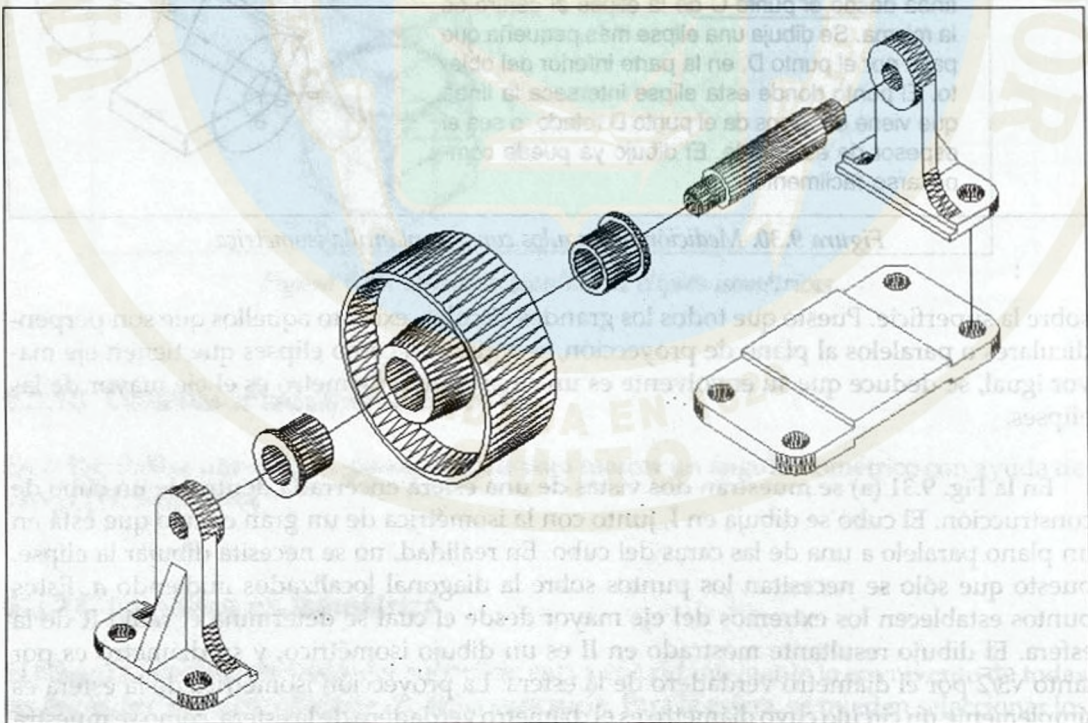


Figura 9.32. Soporte para rodillo (isométrica en explosión)

9.4 ACOTAMIENTO ISOMÉTRICO

Las dimensiones isométricas son similares a las dimensiones ordinarias, pero colocadas sobre cada plano isométrico, de tal forma que queden acostadas en dicho plano. Tanto las líneas de extensión como las de dimensión deben seguir la dirección de los ejes isométricos.

El método de dibujar los números y las flechas en isométrica se muestra en la Fig. 9.33 (a). Para la dimensión $2\frac{1}{2}"$, las dos líneas de extensión, la línea de dimensión y las cifras todas se dibujan en el plano isométrico de una de las caras del objeto. Las líneas de guía horizontales para los números se dibujan paralelas a las líneas de dimensión, y las líneas de guía verticales se dibujan paralelas a las líneas de extensión. El extremo posterior de las flechas se debe alinear paralelo a las líneas de extensión. Observe que el texto vertical es **texto vertical dibujado en isométrica**. En dimensionamiento isométrico no se usa la letra inclinada.

Como se muestra en (b), las líneas de guía usadas para mantener los números verticales no deben ser perpendiculares a las líneas de dimensión.

El ejemplo en (c) es incorrecto porque las dimensiones $2\frac{1}{2}"$ y $1\frac{1}{2}"$ no están dibujadas en el plano de las líneas de dimensión y de extensión correspondientes, y la dimensión $\frac{3}{4}"$ es incómoda de leer debido a su posición invertida.

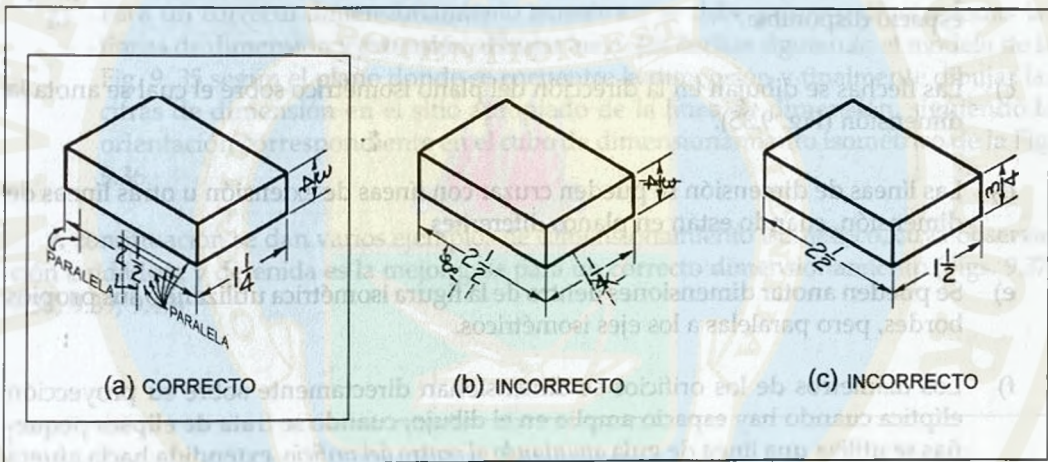


Figura 9.33. Números y flechas en isométrica

Las prácticas correctas e incorrectas de dimensionamiento isométrico se ilustran en la Fig. 9.34. En (b) la dimensión $\frac{3}{8}"$ se encuentra en una línea de extensión equivocada a la derecha, y consecuentemente la dimensión no está en un plano isométrico. Cerca del lado izquierdo, un número de líneas se entrecruzan unas con otras innecesariamente y terminan en líneas equivocadas. La dimensión $\frac{1}{2}"$ del orificio superior está localizada desde el borde del cilindro, cuando se debe dimensionar desde su línea de centro. Estudie cuidadosamente estas dos figuras y descubra errores adicionales en (b).

En resumen, se deben tener en cuenta las siguientes observaciones al dimensionar isométricamente:

- Todas las líneas tanto de extensión como de dimensión se dibujan paralelas a los ejes isométricos.

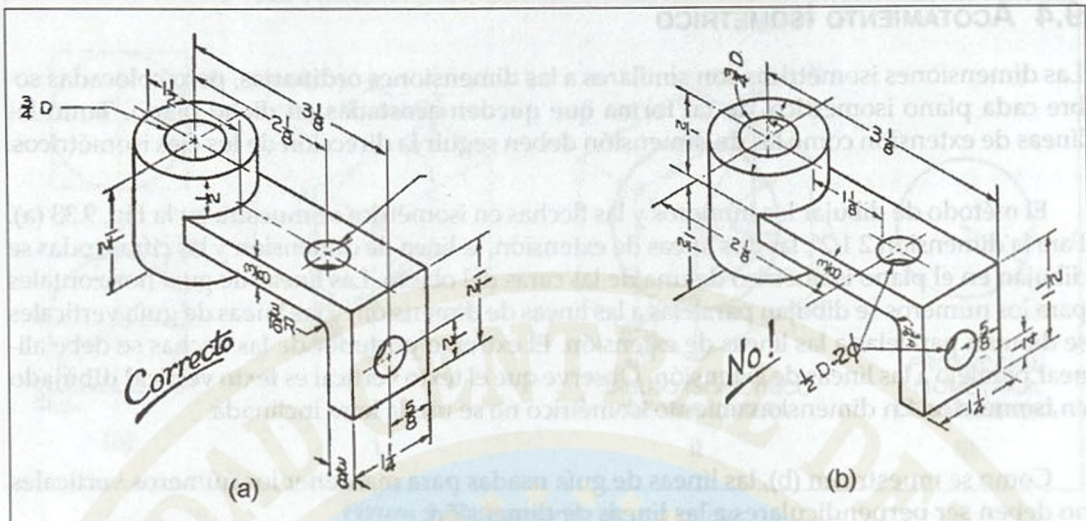


Figura 9.34. Dimensionamiento isométrico

- b) Los cifras se escriben en la dirección de las líneas de extensión (Fig. 9.30), y se pueden anotar en el centro de la línea de dimensión o a un lado en donde haya espacio disponible.
- c) Las flechas se dibujan en la dirección del plano isométrico sobre el cual se anota la dimensión (Fig. 9.35).
- d) Las líneas de dimensión se pueden cruzar con líneas de extensión u otras líneas de dimensión, cuando están en planos diferentes.
- e) Se pueden anotar dimensiones dentro de la figura isométrica utilizando sus propios bordes, pero paralelos a los ejes isométricos.
- f) Los diámetros de los orificios se dimensionan directamente sobre su proyección elíptica cuando hay espacio amplio en el dibujo; cuando se trata de elipses pequeñas se utiliza una línea de guía *apuntando al centro del orificio*, extendida hacia afuera de la figura en cualquier dirección. El sentido de las cifras puede ser horizontal o en dirección de los ejes isométricos.

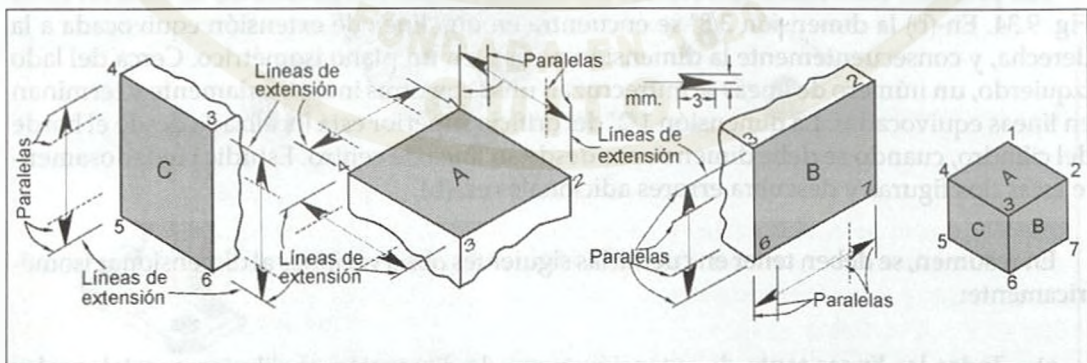


Figura 9.35. Dibujo de las flechas en planos isométricos

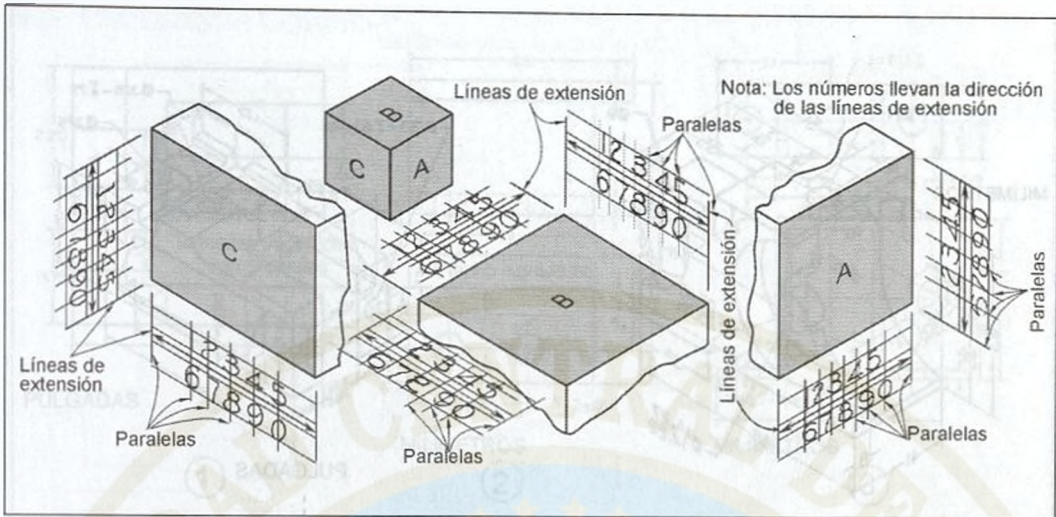


Figura 9.36. Cubo de dimensionamiento isométrico

- g) Para un correcto dimensionamiento isométrico se debe primero dibujar todas las líneas de dimensión y extensión, dibujar luego las flechas siguiendo el modelo de la Fig. 9.35 según el plano donde se encuentre la dimensión y finalmente dibujar las cifras de dimensión en el sitio apropiado de la línea de dimensión, siguiendo la orientación correspondiente en el cubo de dimensionamiento isométrico de la Fig. 9.36.

A continuación se dan varios ejemplos de dimensionamiento isométrico, cuya observación cuidadosa y detenida es la mejor guía para un correcto dimensionamiento (Figs. 9.37, 9.38, 9.39, 9.40).

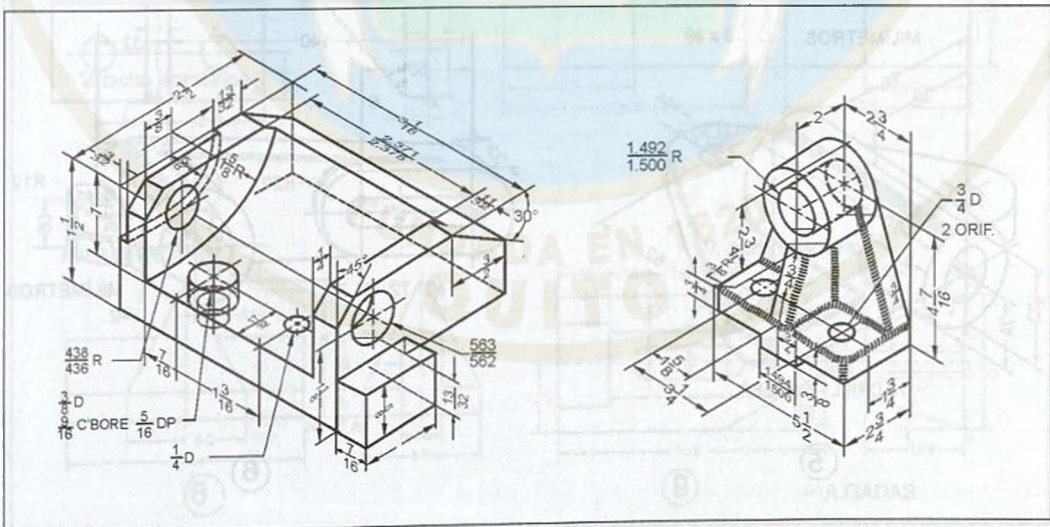


Figura 9.37. Ejemplos de dimensionamiento isométrico I

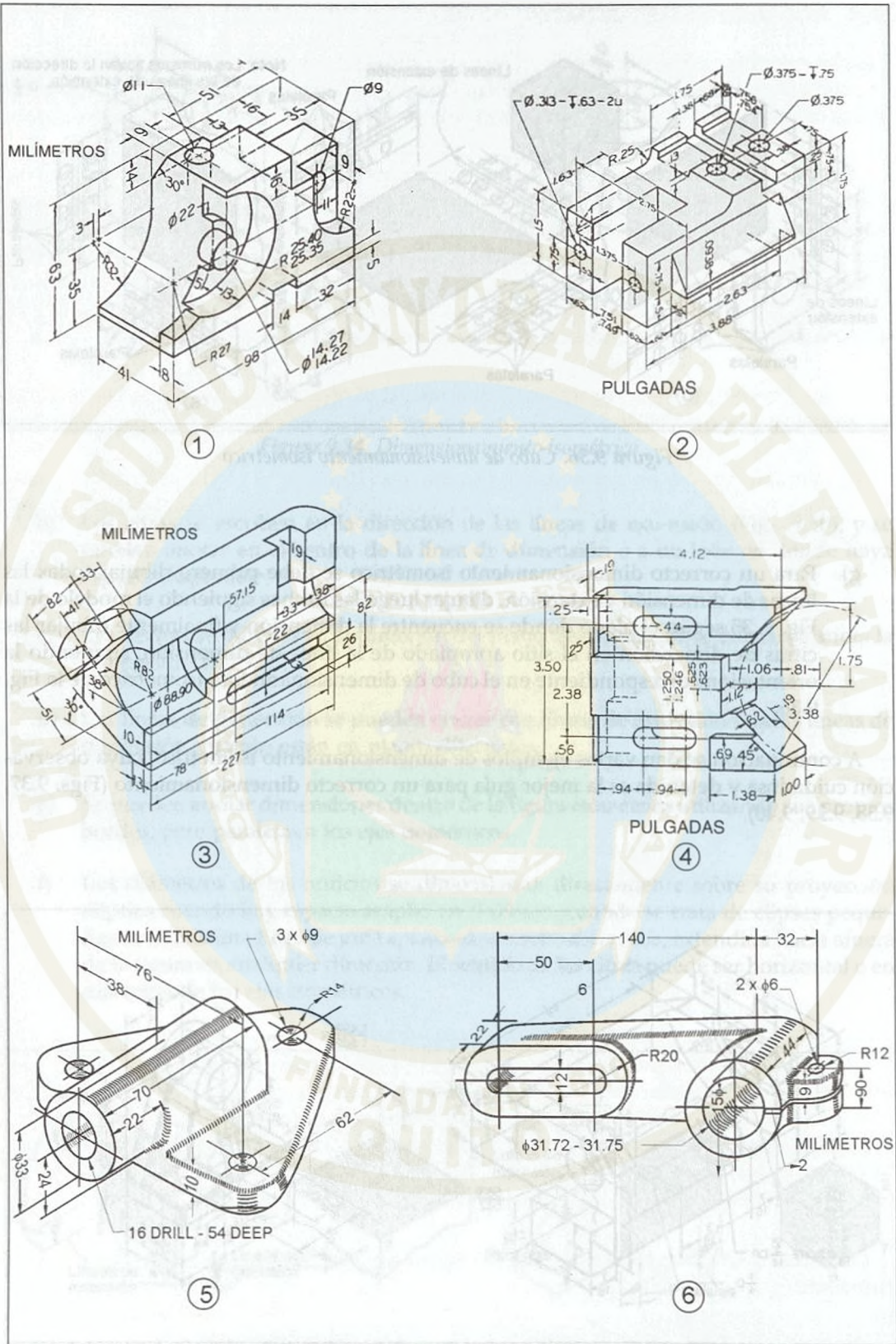


Figura 9.38. Ejemplos de dimensionamiento isométrico II

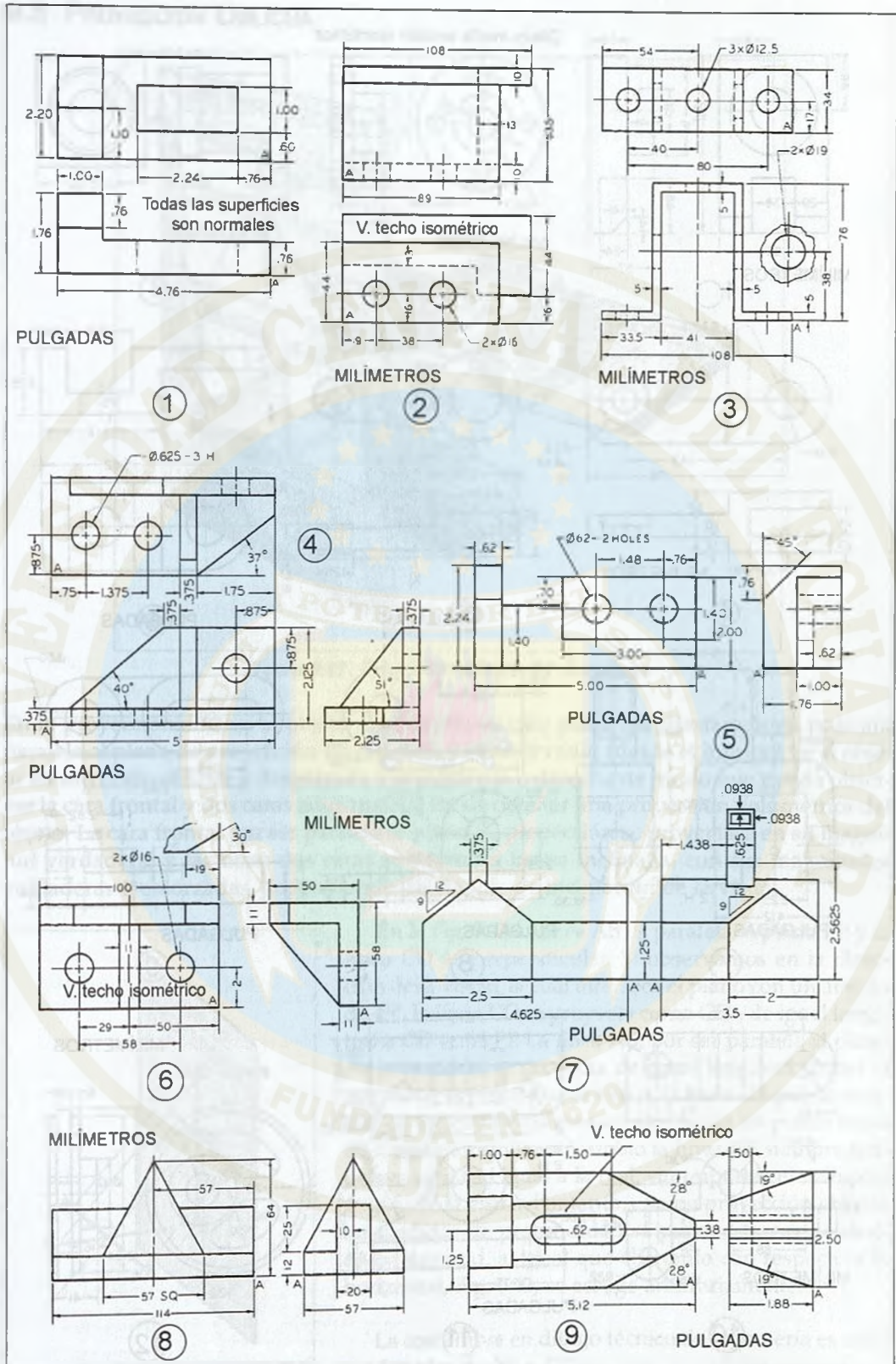


Figura 9.39. Ejercicios de proyecciones isométricas I

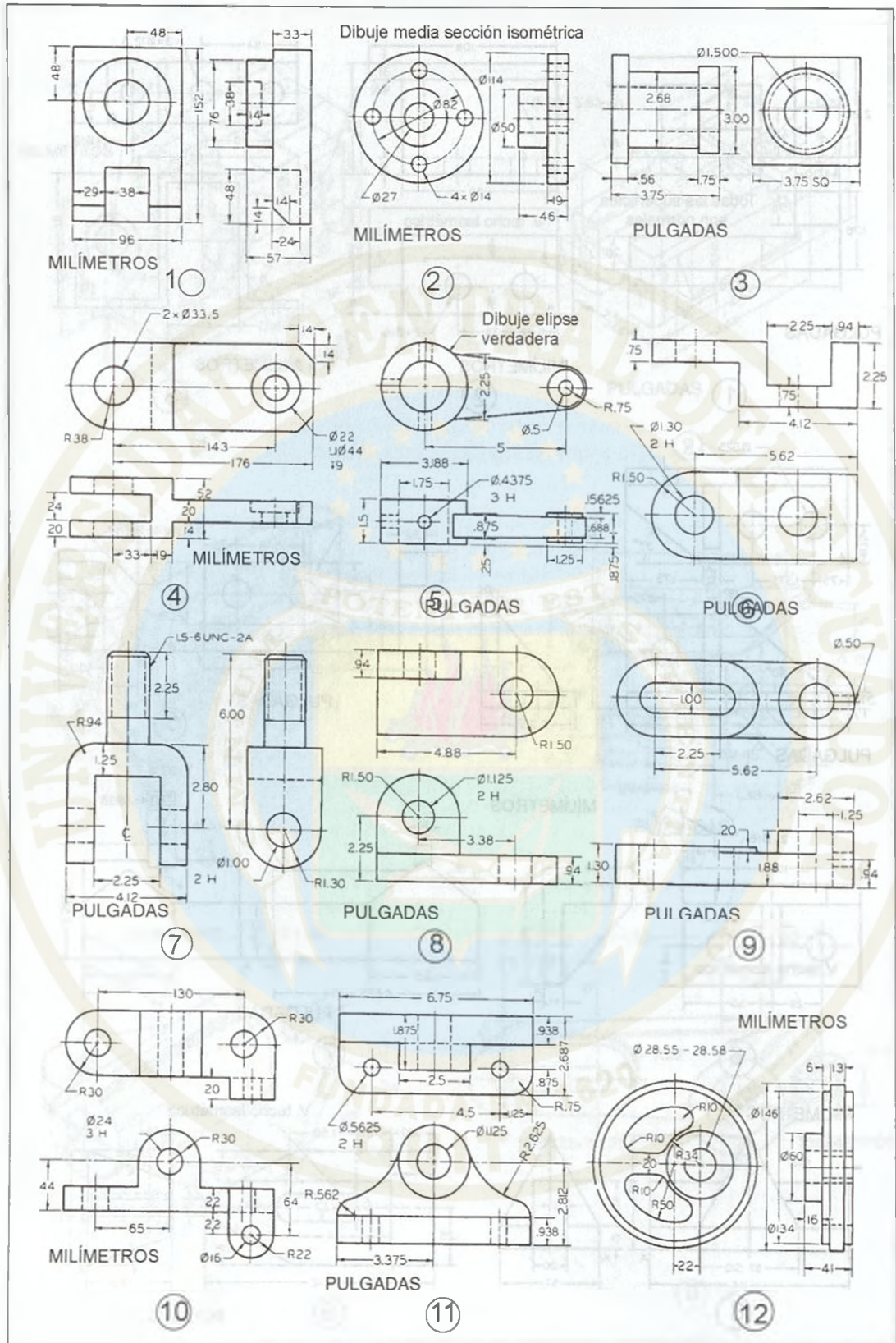


Figura 9.40. Ejercicios de proyecciones isométricas II

9.5 PROYECCIÓN OBLICUA

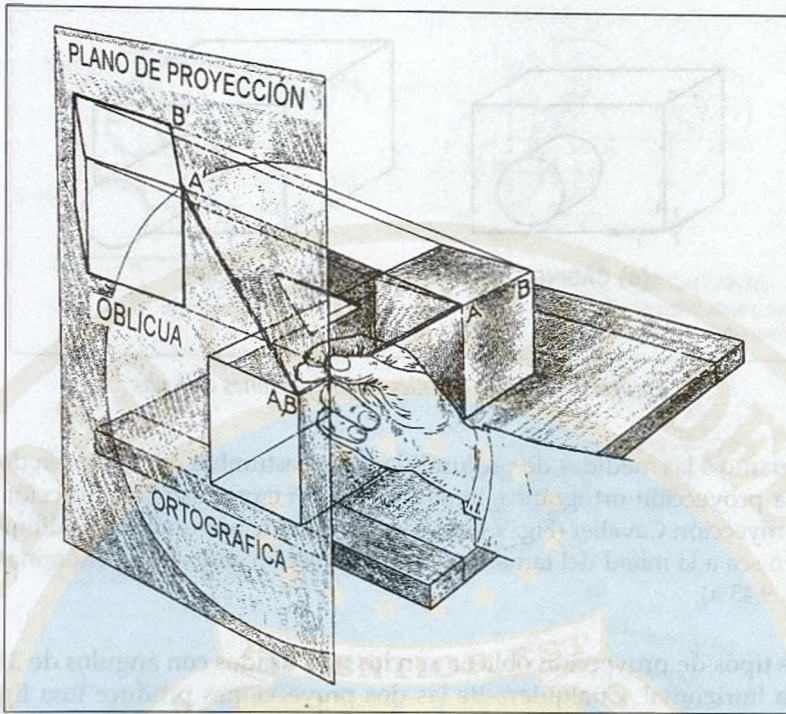


Figura 9.41. Proyección oblicua del observador

En la proyección oblicua el objeto se sitúa con su cara plana más destacada en posición paralela al plano de proyección PP, Fig. 9.41, y el observador (desde el infinito) ve el objeto en dirección oblicua y desplazada a la izquierda o derecha de modo que pueda observar la cara frontal y dos caras adicionales a fin de obtener una proyección volumétrica del objeto. La cara frontal por ser paralela al plano de proyección se proyectará en su magnitud verdadera, y las otras dos caras se verán en forma inclinada, con sus magnitudes verdaderas o escorizadas, dependiendo del ángulo de inclinación de la visual.

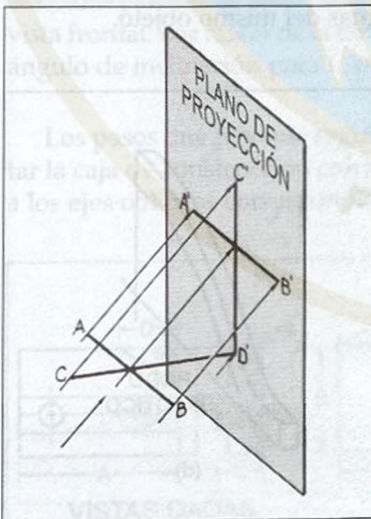


Figura 9.42. Proyección en sentido oblicuo

En la Fig. 9.42 la línea AB es paralela al plano PP y la línea CD es perpendicular. Si observamos en la dirección de la visual, la cual interseca el plano con un ángulo de 45° , la línea CD se proyecta como CD' , de igual longitud a CD en el PP. La línea AB, por ser paralela al plano de proyección se proyecta de igual longitud. Como el ángulo de la visual puede variar, la línea CD puede cambiar de longitud en la proyección, desde un punto hasta de longitud infinita; en cambio la línea AB siempre tendrá su longitud igual a la real, sin importar el valor del ángulo de la visual. Por tanto, en una proyección oblicua las medidas de profundidad se pueden trazar de cualquier longitud, al igual que el ángulo con respecto a la horizontal, Fig. 9.43, se escoge arbitrariamente.

La costumbre en dibujo técnico de ingeniería es utilizar ángulos de 30° o 45° con respecto a la horizontal por la facilidad de utilizar las escuadras normales de 45° o de

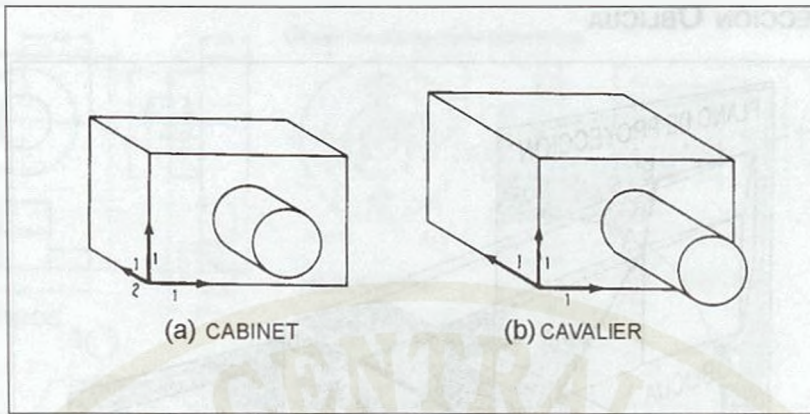


Figura 9.43. Tipos usuales de proyecciones oblicuas

$30^\circ/60^\circ$. En cuanto a las medidas de profundidad, se acostumbra dibujarlas en dos tamaños: igual al de la proyección ortográfica, longitud real, en cuyo caso la proyección oblicua se denomina proyección Cavalier (Fig. 9.43 b). Si la medida de profundidad se dibuja a la mitad de la escala, o sea a la mitad del tamaño real, la proyección oblicua se denomina proyección Cabinet (Fig. 9.43 a).

Estos dos tipos de proyección oblicua son los más usados con ángulos de 30° o 45° con respecto a la horizontal. Cualquiera de las dos proyecciones produce una figura distorsionada; sin embargo, a fin de disminuir el efecto de distorsión, el proyectista puede variar a voluntad tanto los ángulos como la profundidad para lograr una proyección estéticamente agradable a la vista, o sea escoger proyección Cavalier o Cabinet según la forma del objeto.

Lo primero a tener en cuenta es escoger la cara del objeto que presente los contornos esenciales del objeto, especialmente donde se encuentren detalles circulares o curvas irregulares, para colocarla de preferencia paralela al plano de proyección. Esta cara se proyectará en su magnitud verdadera, igual a la proyección ortográfica, en donde los círculos se proyectan como círculos y no como elipses. Véase en la la Fig. 9.44 , el efecto visual que representa poner en el plano de proyección dos caras distintas del mismo objeto.

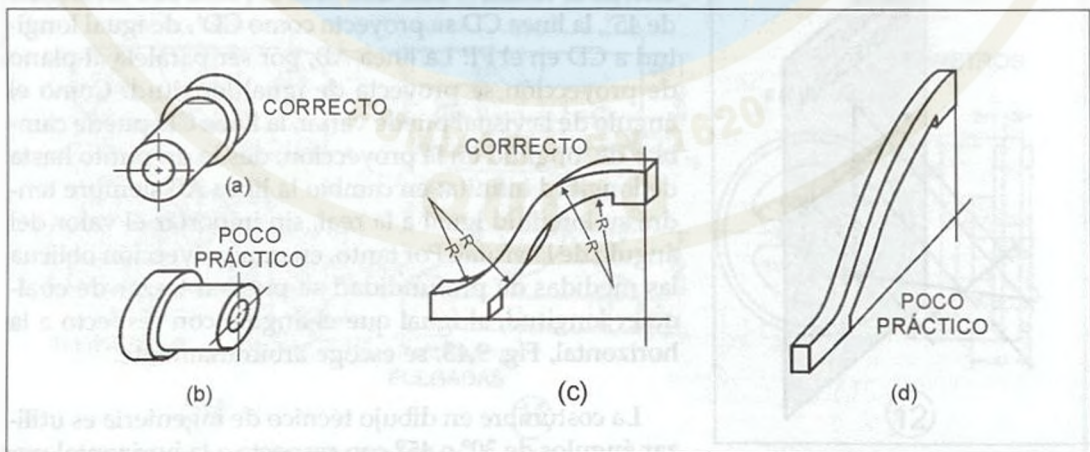


Figura 9.44. Selección del tipo de proyección oblicua

9.5.1 Pasos para dibujar una proyección oblicua

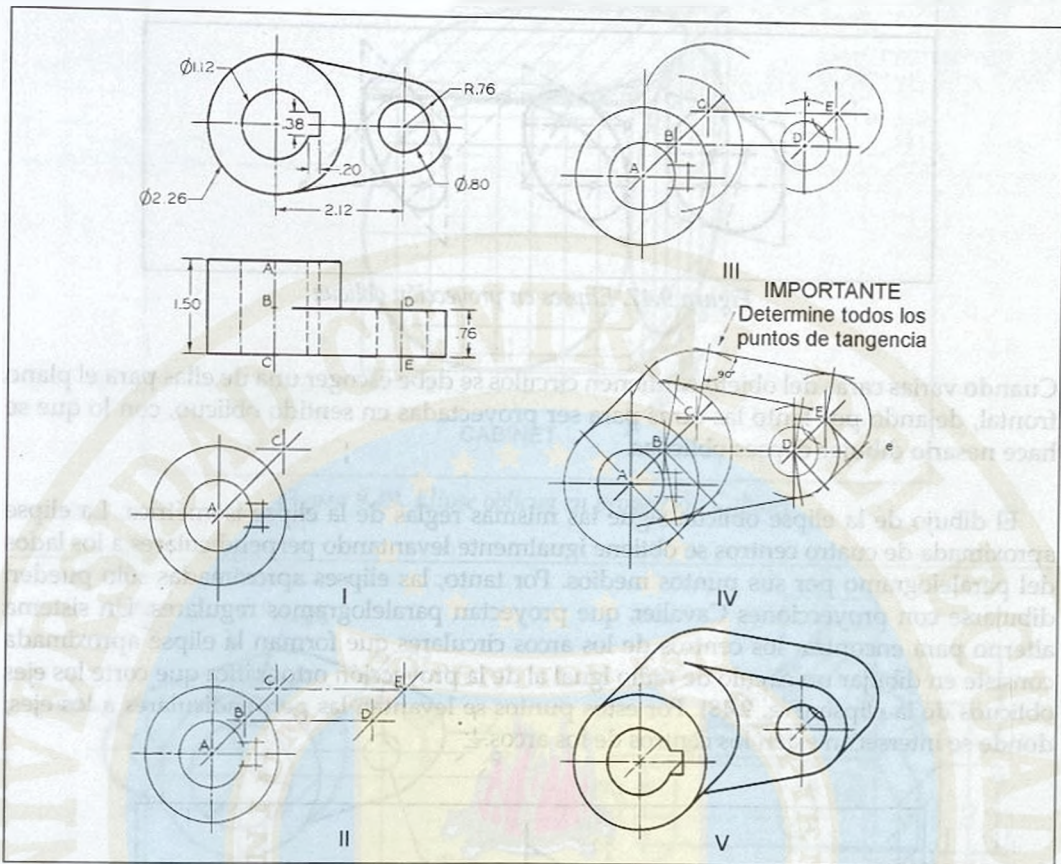


Figura 9.45. Proceso de dibujo de una proyección oblicua 1

En las Figs. 9.45 y 9.46 se ilustran gráficamente los pasos para dibujar una proyección oblicua formada de superficies planas normales. Observe que se escogió la vista de techo para colocarla paralela al plano de proyección, a fin de que los círculos se vean como tales en la vista frontal. Por razón de la forma alargada del objeto se escogió la proyección Cavalier con ángulo de inclinación para la profundidad de 45° .

Los pasos que hay que seguir son los mismos de la proyección isométrica, o sea: proyectar la caja de construcción con las dimensiones máximas del sólido y transferir las medidas a los ejes oblicuos correspondientes por su magnitud verdadera (proyección Cavalier).

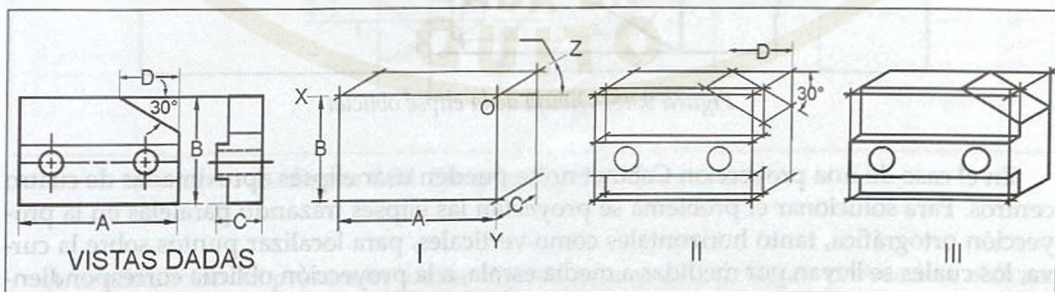


Figura 9.46. Proceso de dibujo de una proyección oblicua 2

9.5.2 Elipses en proyección oblicua

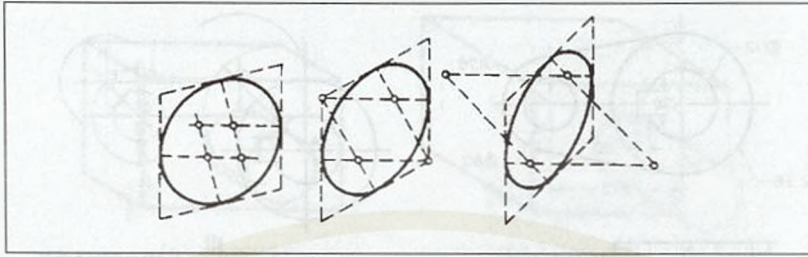


Figura 9.47. Elipses en proyección oblicua

Cuando varias caras del objeto contienen círculos se debe escoger una de ellas para el plano frontal, dejando por tanto las otras para ser proyectadas en sentido oblicuo, con lo que se hace necesario dibujar elipses oblicuas.

El dibujo de la elipse oblicua sigue las mismas reglas de la elipse isométrica. La elipse aproximada de cuatro centros se obtiene igualmente levantando perpendiculares a los lados del paralelogramo por sus puntos medios. Por tanto, las elipses aproximadas sólo pueden dibujarse con proyecciones Cavalier, que proyectan paralelogramos regulares. Un sistema alterno para encontrar los centros de los arcos circulares que forman la elipse aproximada consiste en dibujar un círculo de radio igual al de la proyección ortográfica que corte los ejes oblicuos de la elipse (Fig. 9.48). Por estos puntos se levantan las perpendiculares a los ejes; donde se intersecan están los centros de los arcos.

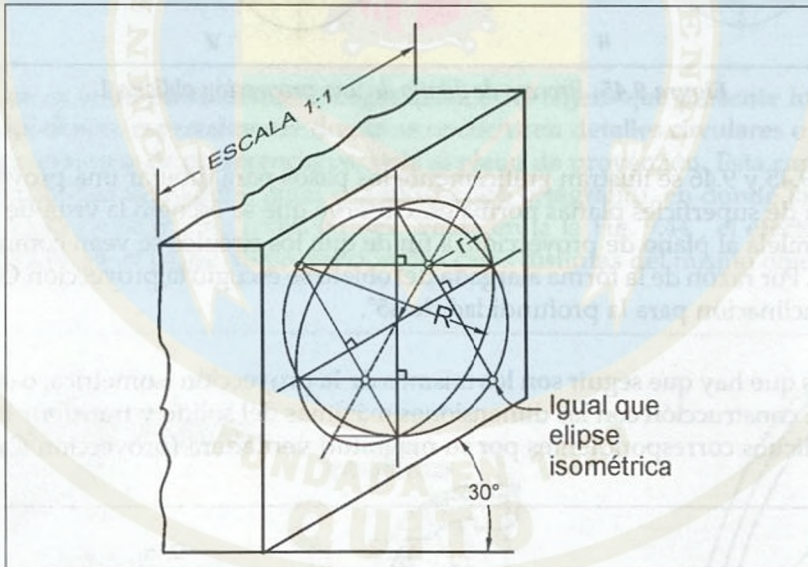


Figura 9.48. Dibujo de la elipse oblicua

En el caso de una proyección Cabinet no se pueden usar elipses aproximadas de cuatro centros. Para solucionar el problema se proyectan las elipses trazando paralelas en la proyección ortográfica, tanto horizontales como verticales, para localizar puntos sobre la curva, los cuales se llevan por medidas a media escala, a la proyección oblicua correspondiente. Por medio de un curvógrafo se unen los puntos para formar la elipse (Fig. 9.49).

A continuación se presentan varios objetos para proyectarlos en proyección oblicua. Escoja la cara más representativa para utilizarla como plano frontal.

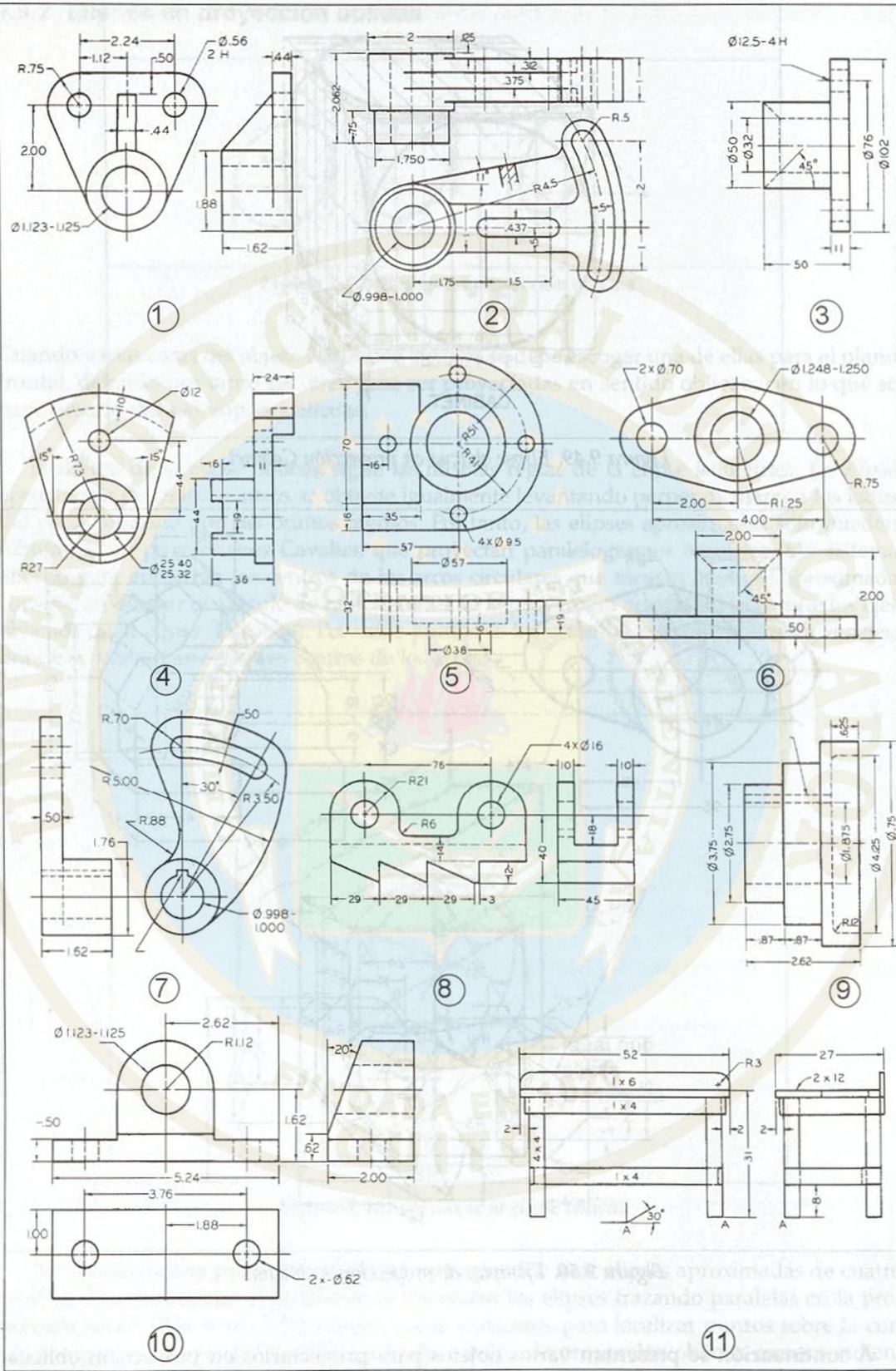


Figura 9.51. Ejercicios de proyecciones oblicuas

SECCIONES TRANSVERSALES 10

10.1 PROPÓSITO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES

La proyección ortográfica de vistas múltiples (vista frontal, de techo y lateral) para representar un objeto, no siempre da claridad en cuanto a las partes interiores del mismo indicadas por líneas ocultas; más bien tratándose de proyectos complejos este tipo de dibujo muestra gran confusión, por lo que su correcta interpretación presenta gran dificultad tanto para el fabricante como para el ingeniero.

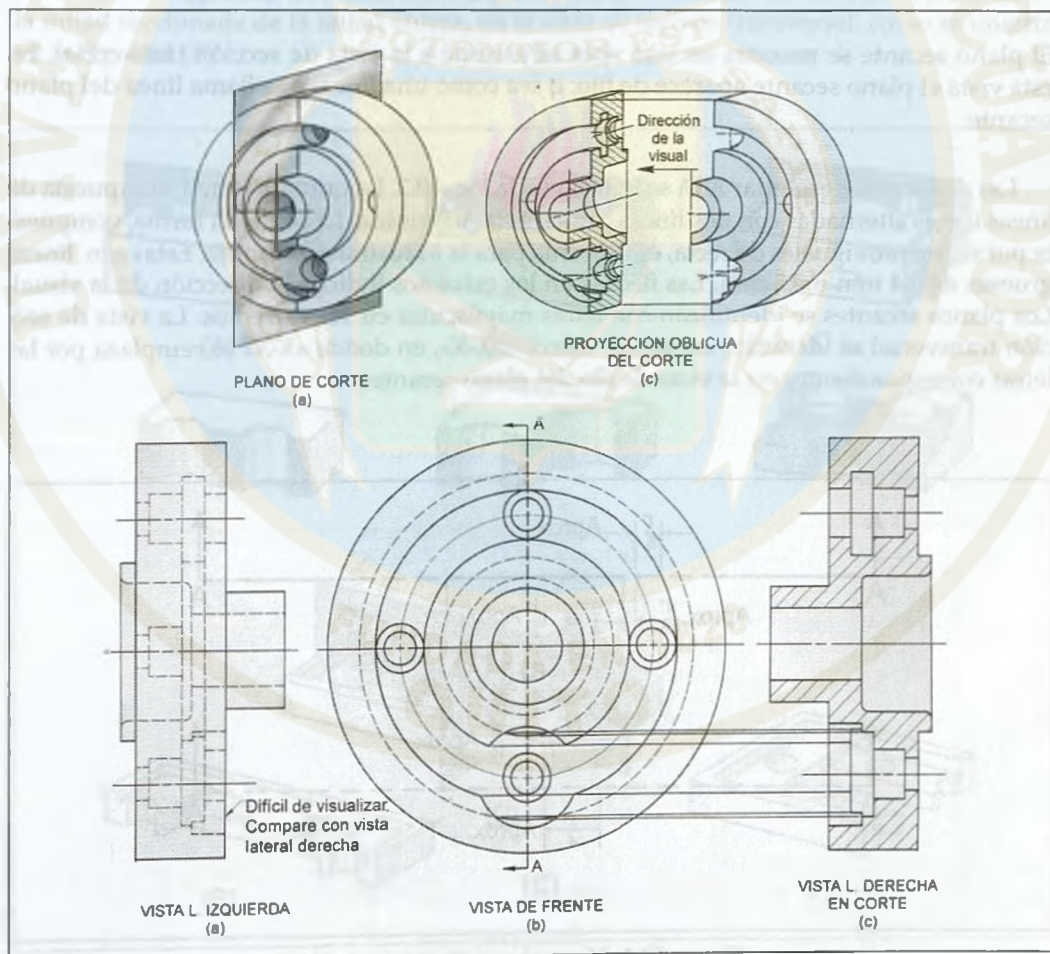


Figura 10.1. La sección transversal

Para obviar este problema se utilizan las secciones transversales (o simplemente secciones o cortes), que no son otra cosa que planos secantes que cortan el sólido en un determinado sentido para mostrar sus partes internas, separándolo en dos secciones y mostrando en primer plano la superficie de corte, que se convierte por tanto en una superficie visible.

En la Fig. 10.1, en la vista de frente (b), el plano secante A-A corta totalmente el volante a lo largo de su diámetro vertical, separándolo en dos mitades. En (c) se muestra la vista lateral derecha con líneas segmentadas, mientras que en (a) se muestra la sección transversal izquierda, en primer plano (líneas llenas), lo cual permite visualizar con más claridad la conformación de las partes internas del volante.

En la sección transversal, las áreas que se dibujan con líneas llenas son las que realmente están en contacto con el plano secante. Éstas se hachuran (rayado transversal) con líneas paralelas delgadas inclinadas a 45° , espaciadas a ojo aproximadamente a 2 mm. Adicionalmente las partes visibles detrás del plano secante se muestran con líneas llenas pero sus áreas no se hachuran.

10.2 REPRESENTACIÓN DEL PLANO SECANTE (PLANO CORTANTE)

El plano secante se muestra en una vista adyacente a la vista de sección transversal. En esta vista el plano secante aparece de filo, o sea como una línea, y se llama línea del plano secante.

Las dos formas estándar ASA se indican en la Fig. 10.2. La primera forma, compuesta de líneas largas alternadas con dos líneas cortas, es la más usada. La segunda forma, compuesta por segmentos iguales de recta, es la norma para la industria automotriz. Estas son líneas gruesas de 0,4 mm o 0,5 mm. Las flechas en los extremos indican la dirección de la visual. Los planos secantes se identifican con letras mayúsculas en sus extremos. La vista de sección transversal se identifica anotando «Sección X-X», en donde «X-X» se remplaza por las letras correspondientes en la vista de filo del plano secante.

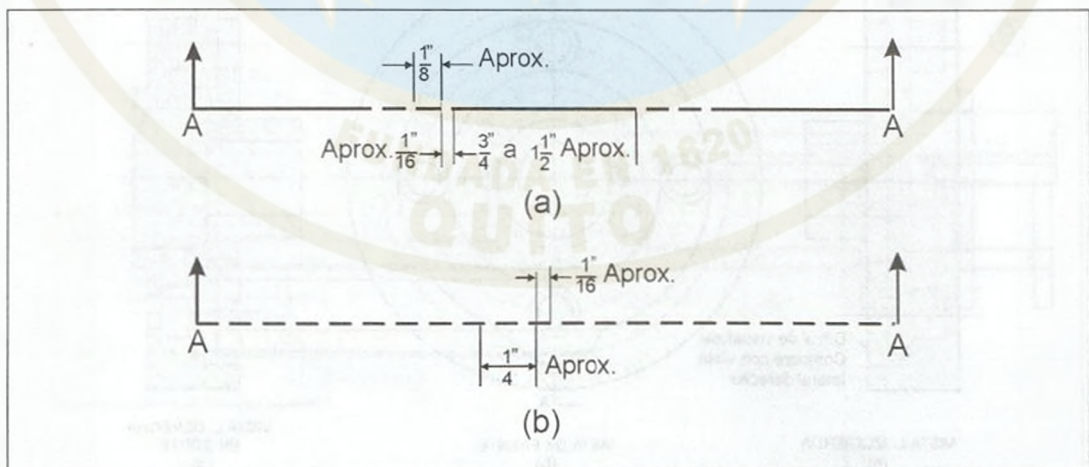


Figura 10.2. Líneas de sección transversal

10.3 TIPOS DE SECCIONES

Diferentes tipos de secciones se usan en ingeniería para aclarar las partes internas de un diseño. Veamos las más comunes:

- a) **Sección transversal completa.** Es aquella en la que el plano secante corta el sólido en su totalidad, como el la Fig. 10.3 (A). El plano puede cortarlo en línea recta como en (A) o escalonado como en (B), cambiando la dirección hacia adelante o hacia atrás, o pasar a través de ciertos puntos cuyo corte deseamos destacar como en (C).

Algunas veces es necesario mostrar dos secciones transversales en una misma vista, como en (D), Fig. 10.3, en cuyo caso cada vista se considera por separado, como si la otra no existiese, en la forma ilustrada en la Fig. 10.3 (E) y (F).

- b) **Semi-sección transversal.** Esta es una vista que se usa con frecuencia en figuras simétricas en las que el plano secante sólo corta media figura, para mostrar el interior de esa parte, dejando la otra mitad como vista exterior, Fig. 10.4.

En general, se deben omitir las líneas ocultas en ambas mitades de una semi- sección transversal. Según ASA, se recomienda que se dibuje una línea central visible para dividir la mitad seccionada de la mitad entera, en la vista de sección transversal, como se muestra en la Fig. 10.4 (B).

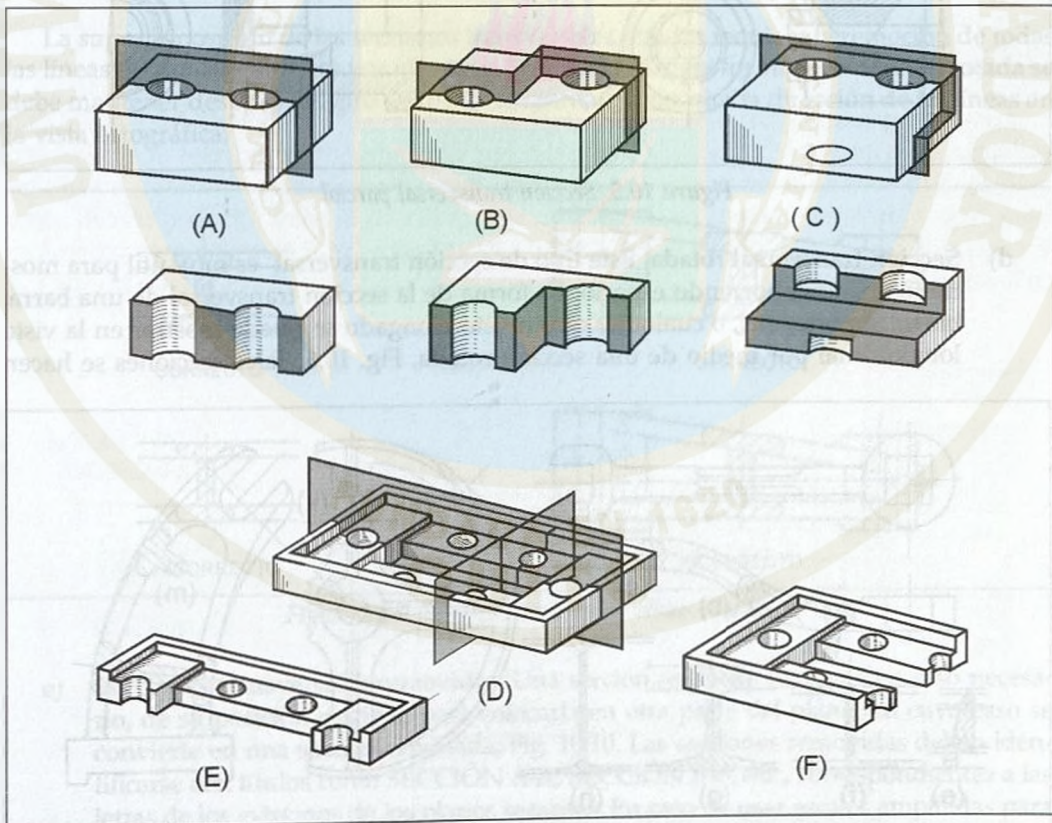


Figura 10.3. Planos secantes - Sección transversal completa

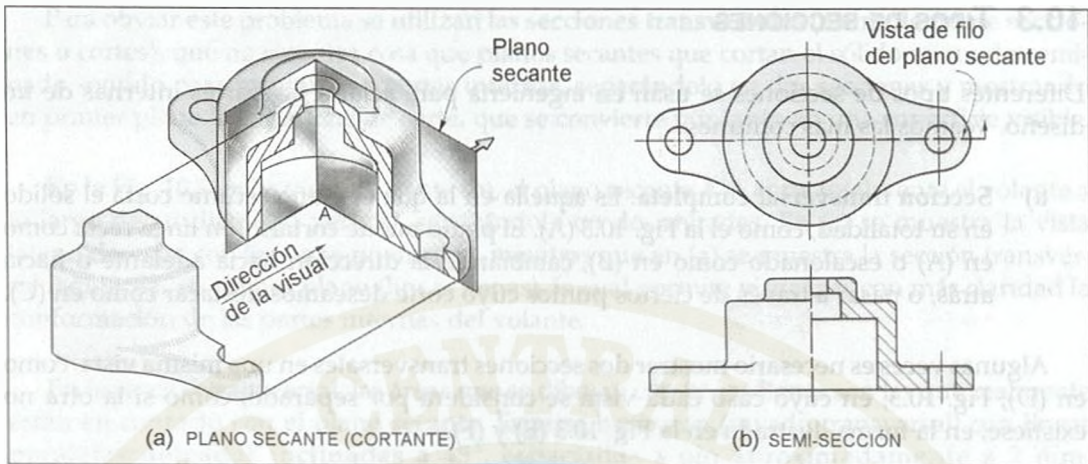


Figura 10.4. Semi-sección transversal

- c) **Sección transversal parcial.** Cuando sólo se necesita exponer la parte interior de una sección parcial, ésta se limita por medio de un plano de corte irregular, generado por una línea llamada «línea de rotura», y la sección se llama *sección transversal parcial*.

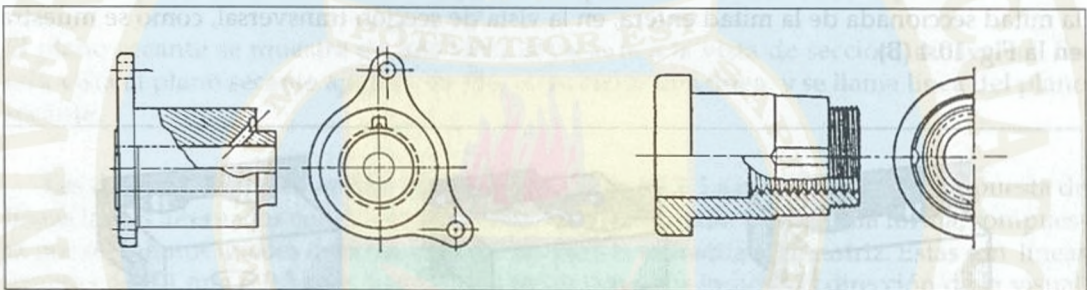


Figura 10.5. Sección transversal parcial

- d) **Sección transversal rotada.** Este tipo de sección transversal es muy útil para mostrar secciones ahorrando espacio. La forma de la sección transversal de una barra, brazo, soporte, etc., o cualquier otro objeto elongado se puede mostrar en la vista longitudinal por medio de una sección rotada, Fig. 10.6. Tales secciones se hacen

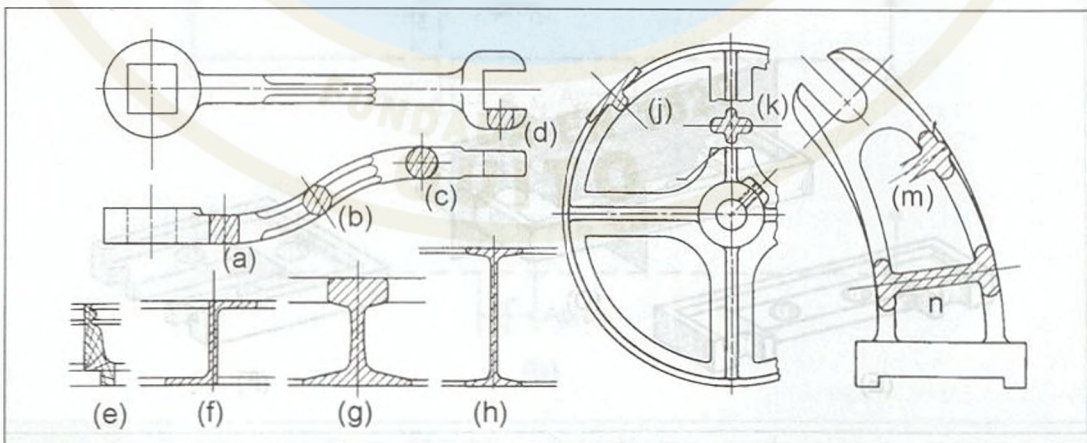


Figura 10.6. Figuras rotadas

asumiendo un plano perpendicular a la línea central o eje de la barra u objeto, como se muestra en la Fig. 10.7, girando luego el plano 90° alrededor de la línea central en ángulo recto con el eje, como se muestra en (b) y (c).

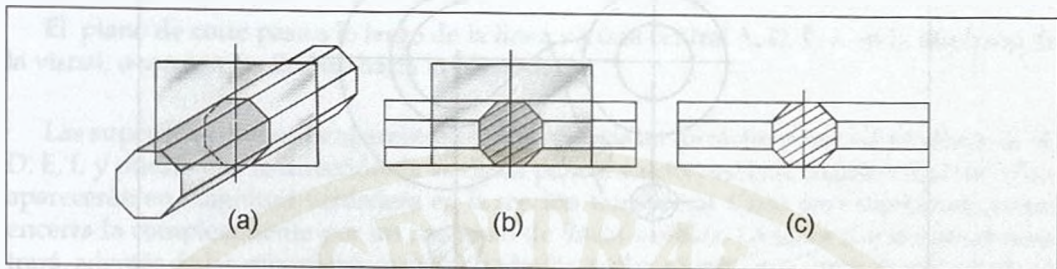


Figura 10.7. Plano secante en secciones rotadas

Las líneas visibles adyacentes a la sección rotada se pueden romper, si se desea, en la forma mostrada en la Fig. 10.8.

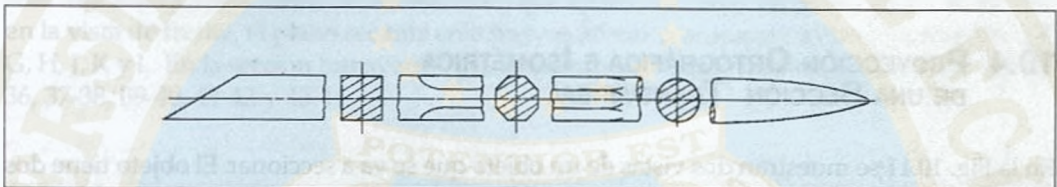


Figura 10.8. Roturas convencionales en secciones rotadas

La superimposición de las secciones transversales rotadas requiere la remoción de todas las líneas originales cubiertas por ellas, Fig. 10.9. La verdadera forma de la sección rotada se debe mantener después del giro del plano secante, sin importar la dirección de las líneas en la vista ortográfica.

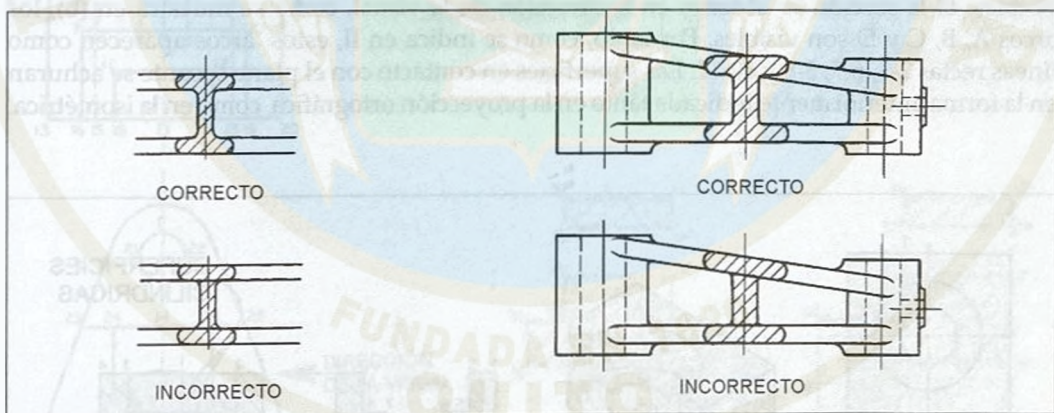


Figura 10.9. Errores comunes en vistas rotadas

- e) **Secciones transversales removidas.** Una sección se puede remover, en caso necesario, de su posición original, para colocarla en otra parte del plano, en cuyo caso se convierte en una sección removida, Fig. 10.10. Las secciones removidas deben identificarse con títulos como SECCIÓN A-A, SECCIÓN B-B, etc., correspondientes a las letras de los extremos de los planos secantes. En caso de usar escalas ampliadas para la sección transversal, éstas deben anotarse debajo del título de la sección.

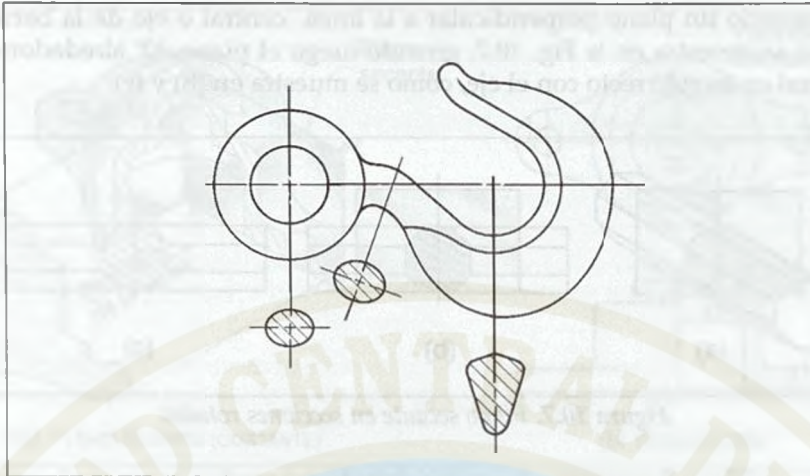


Figura 10.10. Secciones removidas

10.4 PROYECCIÓN ORTOGRÁFICA E ISOMÉTRICA DE UNA SECCIÓN TRANSVERSAL

En la Fig. 10.11 se muestran dos vistas de un objeto que se va a seccionar. El objeto tiene dos perforaciones cilíndricas concéntricas a las profundidades indicadas en la figura. El plano secante se asume a lo largo de la línea central horizontal en la vista de techo, imaginándonos removida la mitad frontal del objeto. En (b) se muestra la proyección isométrica de la sección transversal.

Las dos superficies cortadas por el plano secante son 1-2-5-6-10-9 y 3-4-12-11-7-8. Sin embargo, en la parte I se muestra la sección incompleta porque faltan ciertas líneas que son visibles. Si la sección se observa en la dirección de la visual, como se muestra en (b), los arcos A, B, C y D son visibles. Por tanto, como se indica en II, estos arcos aparecen como líneas rectas 2-3, 6-7, 5-8 y 10-11. Las superficies en contacto con el plano secante se achuran en la forma anteriormente indicada tanto en la proyección ortográfica como en la isométrica.

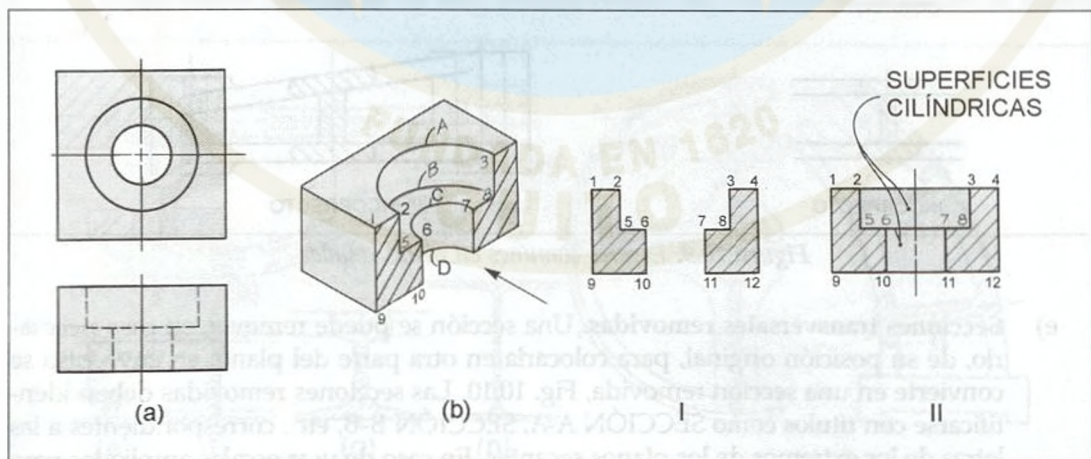


Figura 10.11. Proyección de una sección transversal

En la Fig. 10.12 se muestran las vistas de frente y de techo de un collarín, y se desea proyectar la sección transversal en la vista lateral derecha y su correspondiente proyección isométrica.

El plano de corte pasa a lo largo de la línea vertical central A, D, E, L en la dirección de la visual, o sea con las flechas hacia la izquierda.

Las superficies cortantes aparecerán de filo en la vista de techo y frontal a lo largo de A, D, E, L y puesto que la dirección de la visual para la sección está en ángulo recto con ellas, aparecerán en magnitud verdadera en la sección transversal. Cada área seccionada estará encerrada completamente por un contorno de líneas visibles. La sección transversal mostrará, además de las superficies cortadas, todas las partes visibles que están detrás del plano de corte. No se muestran líneas ocultas.

Siempre que una superficie de un objeto (plana o cilíndrica) aparece como una línea en una vista, y es intersecada por un plano secante que también aparece como una línea, se crea una nueva arista (línea de intersección) que aparecerá como un punto en esa vista. Así, en la vista de frente, el plano secante crea nuevas aristas que aparecen como puntos en E, F, G, H, J, K y L. En la sección transversal, (b), éstas son las líneas horizontales 31-32, 33-34, 35-36, 37-38, 39-40, 41-42 y 43-44.

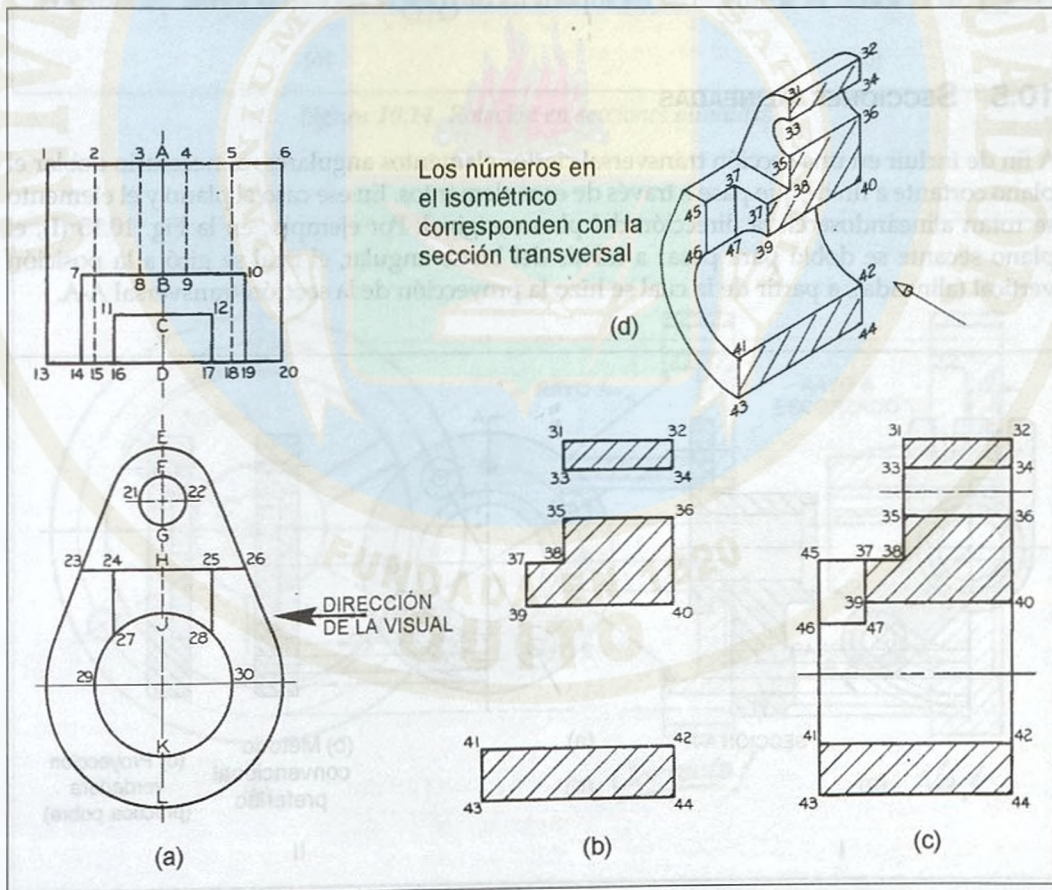


Figura 10.12. Dibujo de una sección transversal completa

Siempre que una superficie de un objeto aparece como superficie (o sea, no como línea), y es cortada por un plano secante que aparece como una línea, se crea una nueva arista que aparecerá como una línea en esa vista, coincidiendo con el plano secante, y como una línea en la sección transversal.

En la vista de techo, D es la vista de punto de la línea vertical KL en la vista frontal y 41-43 en la sección en (b). El punto C es la vista de punto de la línea vertical HJ en la vista de frente y 37-39 en la sección. El punto B es la vista de punto de dos líneas verticales EF y GH en la vista de frente y 31-33 y 35-38 en la sección. El punto A es la vista de punto de tres líneas verticales EF, GJ, KL en la vista de frente, y 32-34, 36-40 y 42-44 en la sección. Esto completa los límites de las tres áreas seccionadas 31-32-34-33, 35-36-40-39-37-38 y 41-42-44-43. Sólo resta agregar las líneas visibles detrás del plano secante.

El semi-cilindro izquierdo F-21-G de la perforación pequeña en la vista de frente se verá como un rectángulo en las secciones en 33-34-36-35, como se muestra en (c). Los dos arcos semicirculares aparecerán como líneas rectas en la sección en 33-35 y 34-36. La superficie 24-27, que aparece como una línea en la vista de frente, aparece como la línea 11-16 en la vista de techo, y como la superficie 45-37-47-46, en verdadera magnitud en la sección transversal en (c).

La superficie cilíndrica J-29-K, que aparece como un arco en la vista de frente, aparece en la vista de techo como 2-A-C-11-16-15, y en la sección como 46-47-39-40-42-41. Así, el arco 27-29-K (vista de frente) aparece en la sección (c) como la línea recta 46-41; y el arco J-29-K aparece como la línea recta 40-42. El achurado de las superficies de corte se hace en la forma ya indicada.

10.5 SECCIONES ALINEADAS

A fin de incluir en una sección transversal ciertos elementos angulares, es necesario doblar el plano cortante a fin de que pase a través de esos elementos. En ese caso el plano y el elemento se rotan alineándose en la dirección del plano original. Por ejemplo, en la Fig. 10.13 (I), el plano secante se dobló para pasar a través del brazo angular, el cual se giró a la posición vertical (alineada), a partir de la cual se hizo la proyección de la sección transversal A-A.

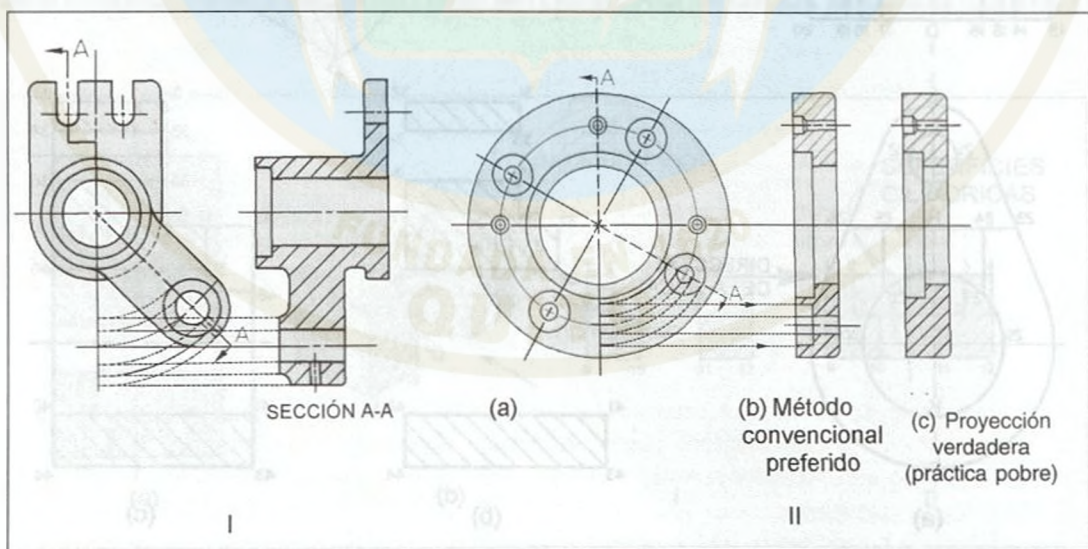


Figura 10.13. Secciones alineadas

En la Fig. 10.13 (II), el plano secante se dobló para incluir una de las perforaciones en la sección transversal. La sección correcta en (b) da más claridad y una descripción más completa que en (c), la cual se tomó a lo largo de la línea vertical central de la vista de frente, o sea, sin doblar el plano secante. En estos casos el ángulo de rotación debe ser siempre menor que 90° .

Las agarraderas, nervaduras (costillas) y los rayos son los elementos más utilizados en las secciones alineadas. Éstas pueden observarse en las Figs. 10.14 y 10.15. Analice el sentido de la rotación y las proyecciones correspondientes.

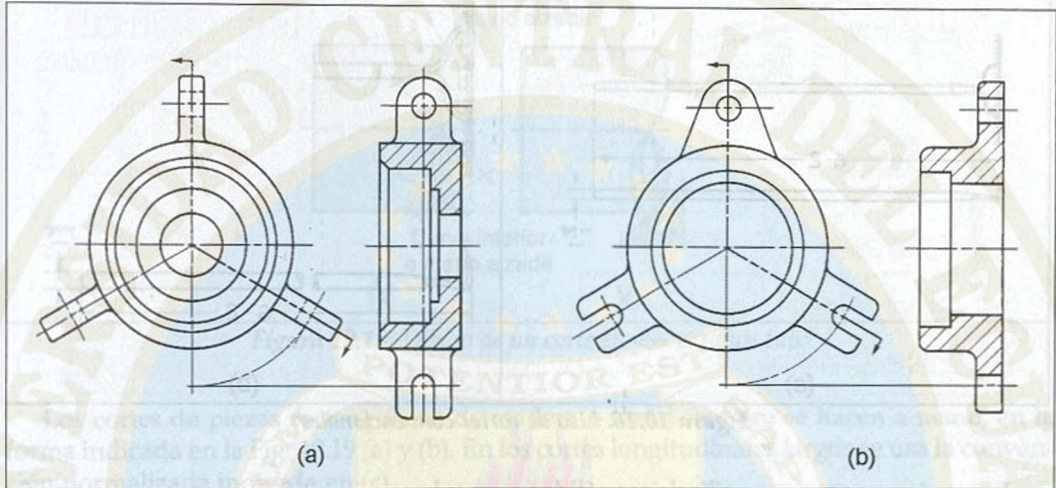


Figura 10.14. Rotación en secciones alineadas

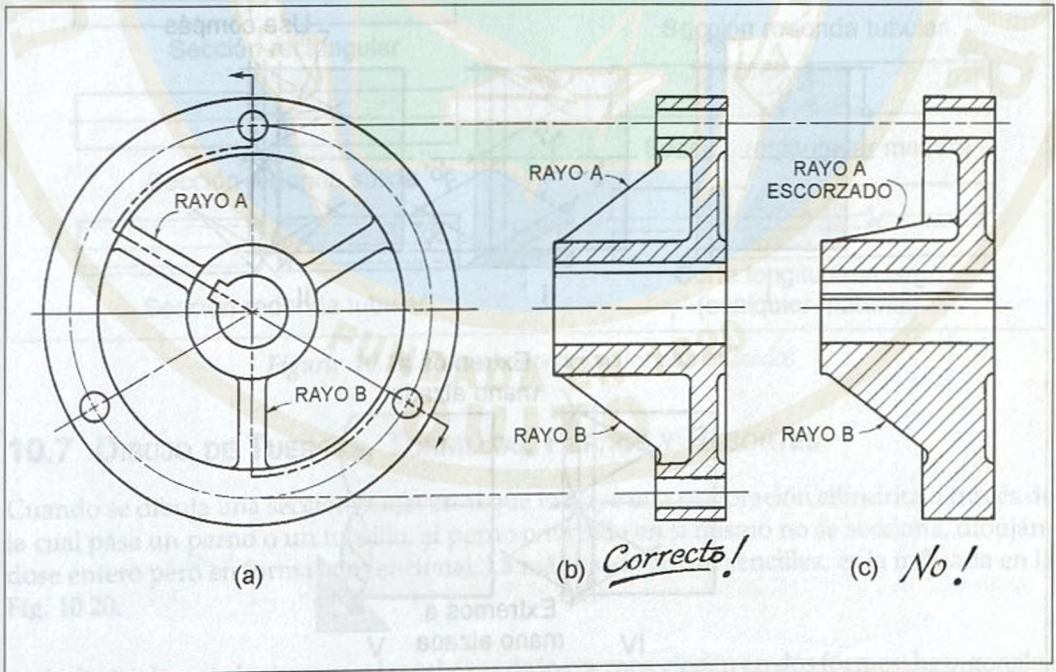


Figura 10.15. Simetría de los rayos de un volante

10.6 CORTES CONVENCIONALES

Cuando hay elementos de sección transversal uniforme y gran longitud, a fin de no ocupar demasiado espacio en el plano del dibujo se acostumbra cortar dichos elementos, dividiéndolos en dos secciones, en la forma indicada en la Fig. 10.16. Esto permite utilizar una escala mayor en el dibujo del elemento, para darle más claridad, trazando la línea de dimensión, sin corte alguno, y anotando la cifra de dimensión correspondiente a su longitud verdadera.

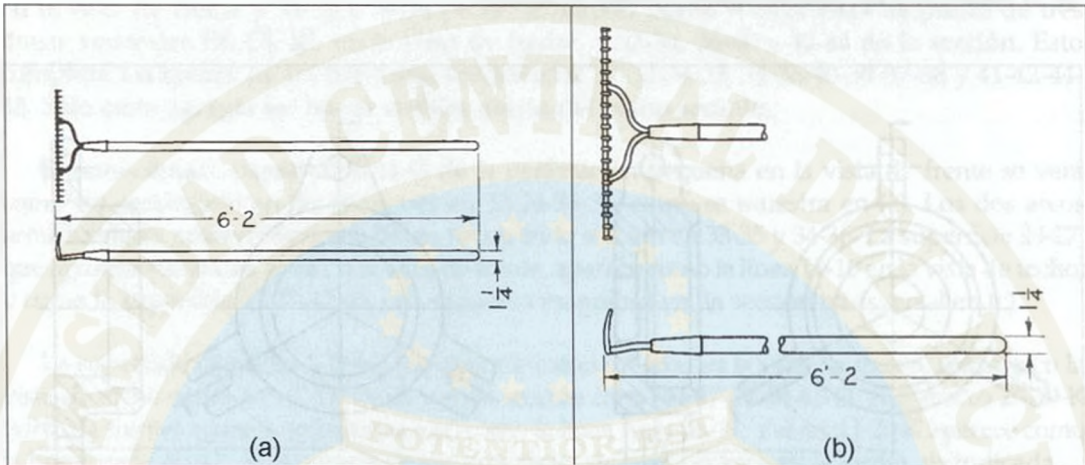


Figura 10.16. Uso de cortes convencionales

Los cortes en secciones cilíndricas sólidas o en tubos se identifican como cortes en «S». En la Fig. 10.17 se muestra la forma de hacer un corte en sección cilíndrica sólida y en la Fig. 10.18 se muestra el procedimiento para la sección cilíndrica tubular.

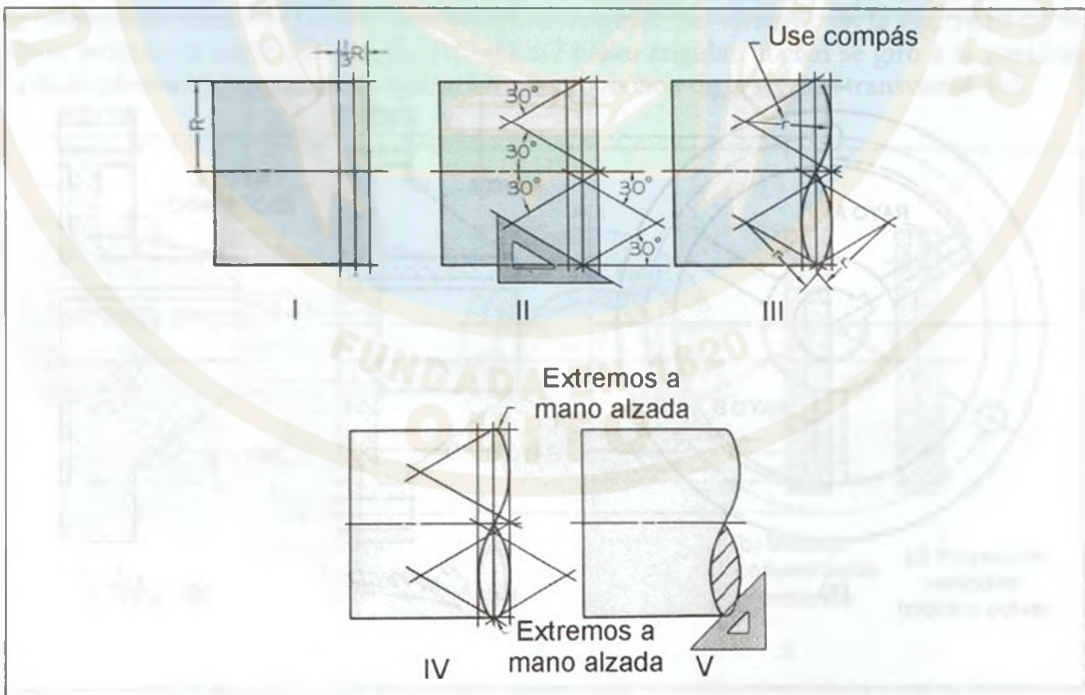


Figura 10.17. Dibujo de un corte en «S» para cilindro sólido

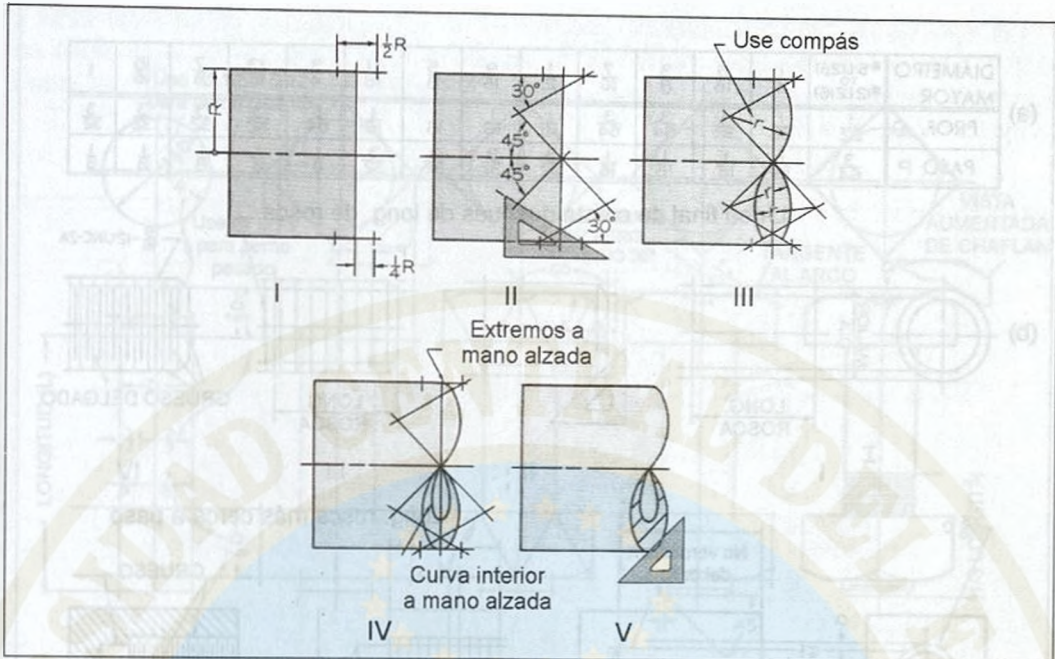


Figura 10.18. Dibujo de un corte en «S» para un tubo

Los cortes de piezas rectangulares de madera o metal siempre se hacen a mano, en la forma indicada en la Fig. 10.19 (a) y (b). En los cortes longitudinales largos se usa la convención normalizada indicada en (c).

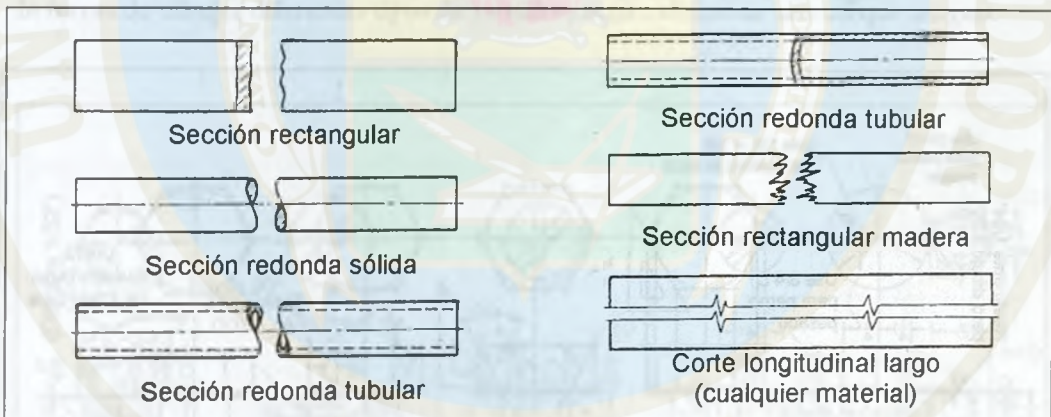


Figura 10.19. Cortes convencionales normalizados

10.7 DIBUJO DE TUERCAS, TORNILLOS, PERNOS Y RESORTES

Cuando se dibuja una sección transversal que incluye una perforación cilíndrica a través de la cual pasa un perno o un tornillo, el perno o tornillo en sí mismo no se secciona, dibujándose entero pero en forma convencional. La más usada por su sencillez, es la indicada en la Fig. 10.20.

Industrialmente las tuercas y las cabezas de los pernos vienen en dos formas: hexagonales y cuadradas. El dibujo de cada una de ellas se indica en las Figs. 10.21 y 10.22.

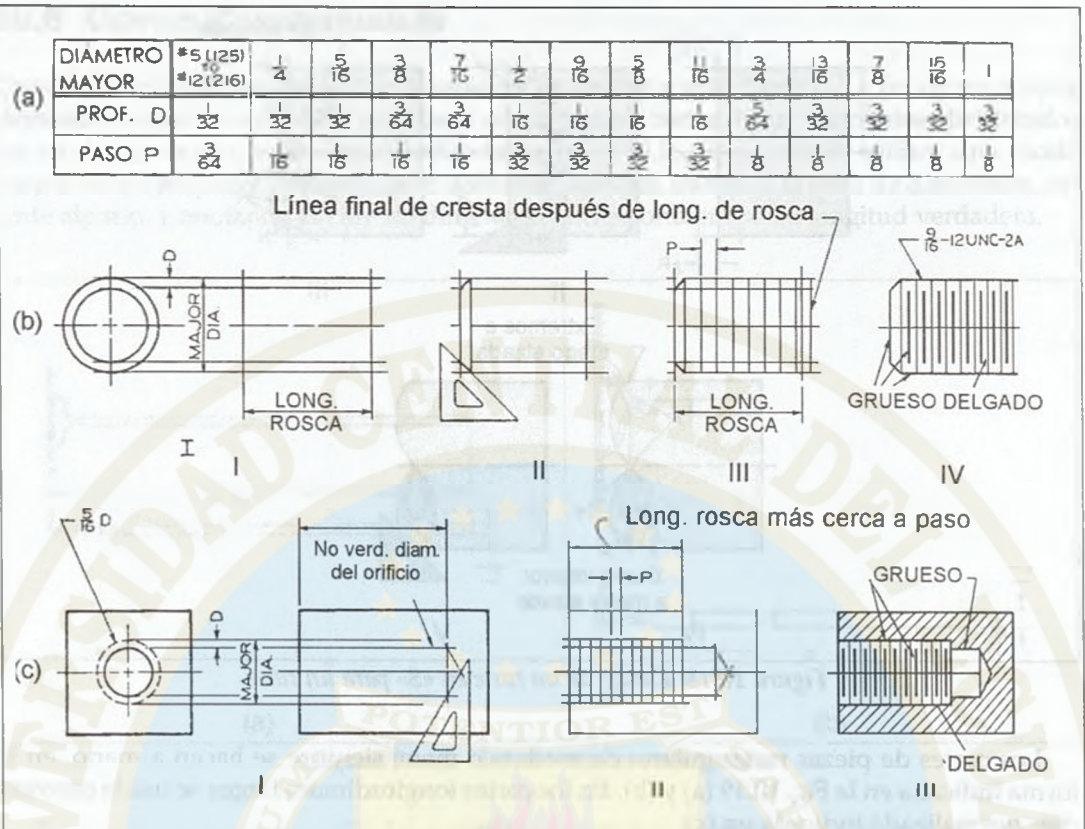


Figura 10.20. Dibujo esquemático de la rosca de un tornillo o perno

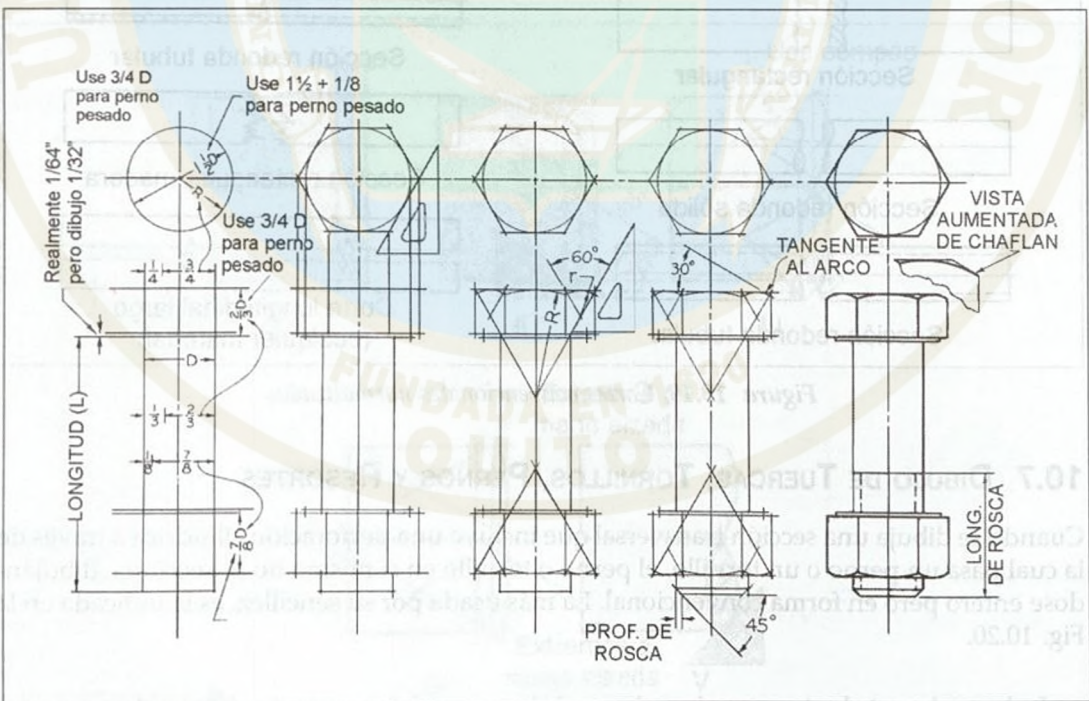


Figura 10.21. Dibujo de perno y tuerca de cabeza hexagonal

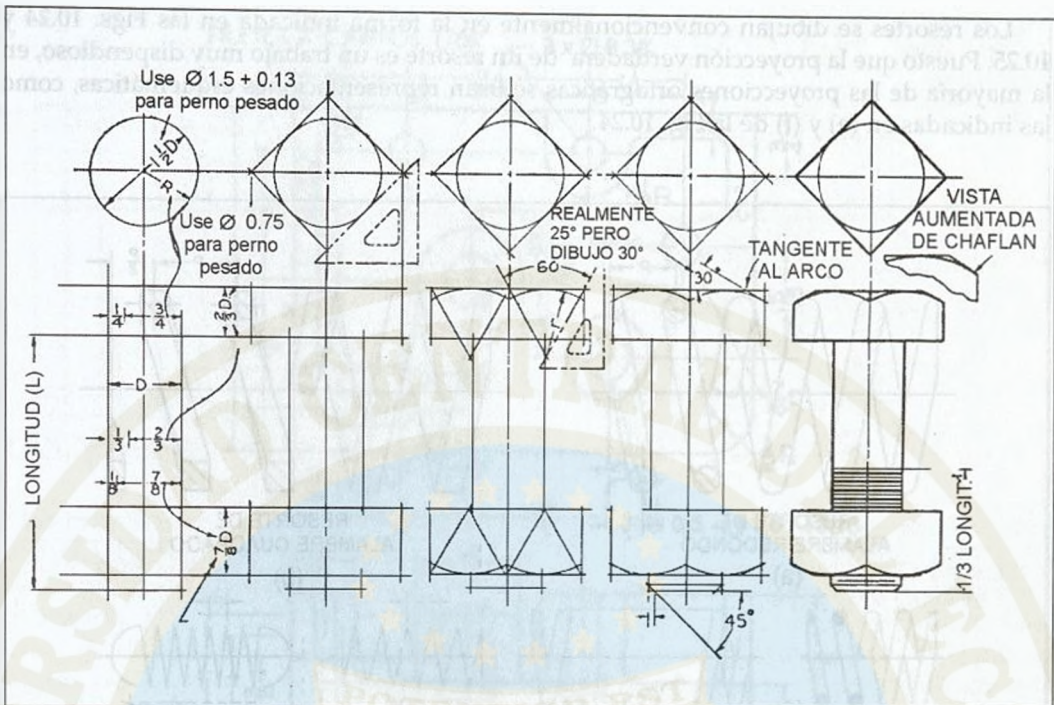


Figura 10.22. Dibujo de perno y tuerca de cabeza cuadrada

Los tornillos vienen de diferentes diámetros y formas de cabeza. En la Fig. 10.23 se muestra la forma de dibujar diferentes tipos de tornillos, según el tipo de cabeza que tengan.

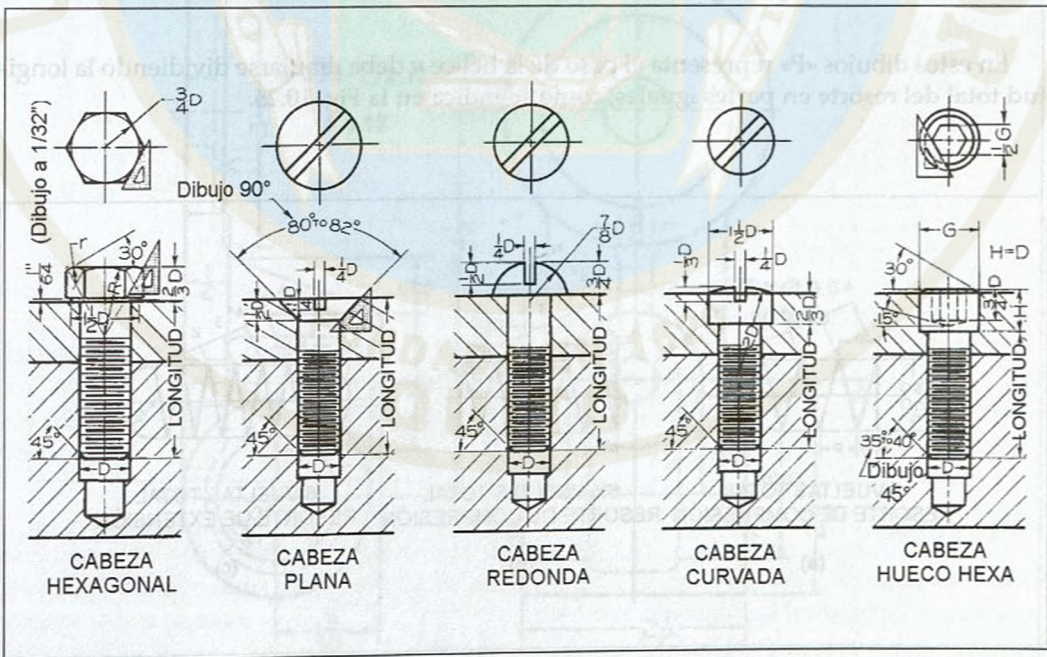


Figura 10.23. Tornillos americanos estándar

Los resortes se dibujan convencionalmente en la forma indicada en las Figs. 10.24 y 10.25. Puesto que la proyección verdadera de un resorte es un trabajo muy dispendioso, en la mayoría de las proyecciones ortográficas se usan representaciones esquemáticas, como las indicadas en (e) y (f) de la Fig. 10.24.

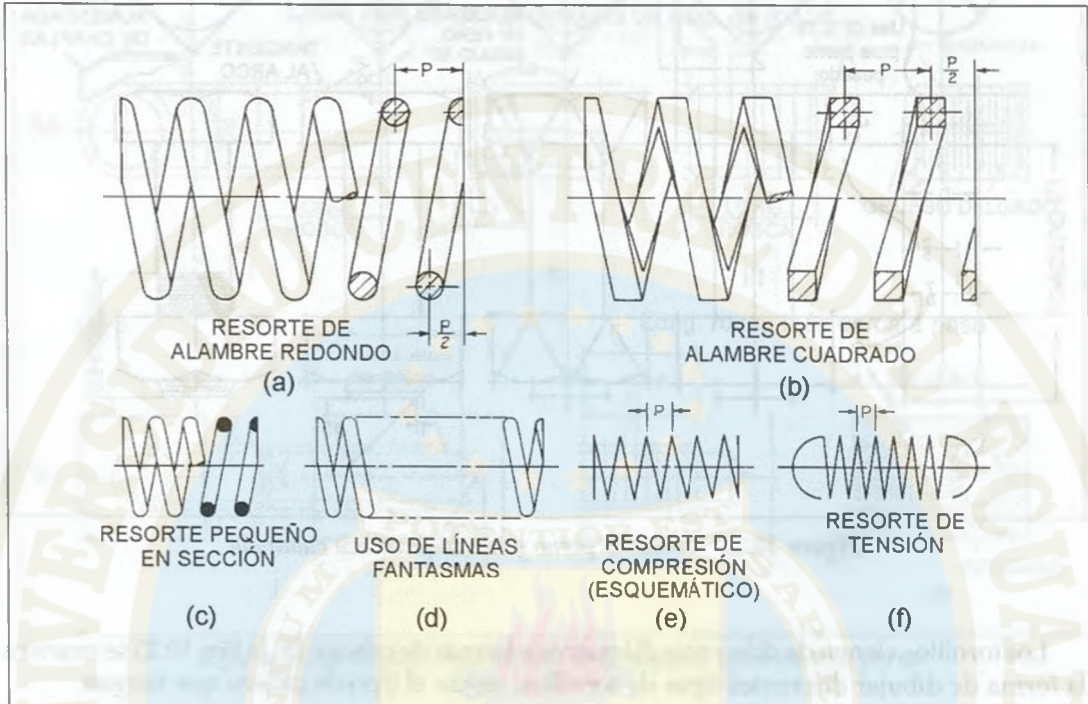


Figura 10.24. Resortes helicoidales

En estos dibujos «P» representa el paso de la hélice y debe dibujarse dividiendo la longitud total del resorte en partes iguales, como se indica en la Fig. 10.25.

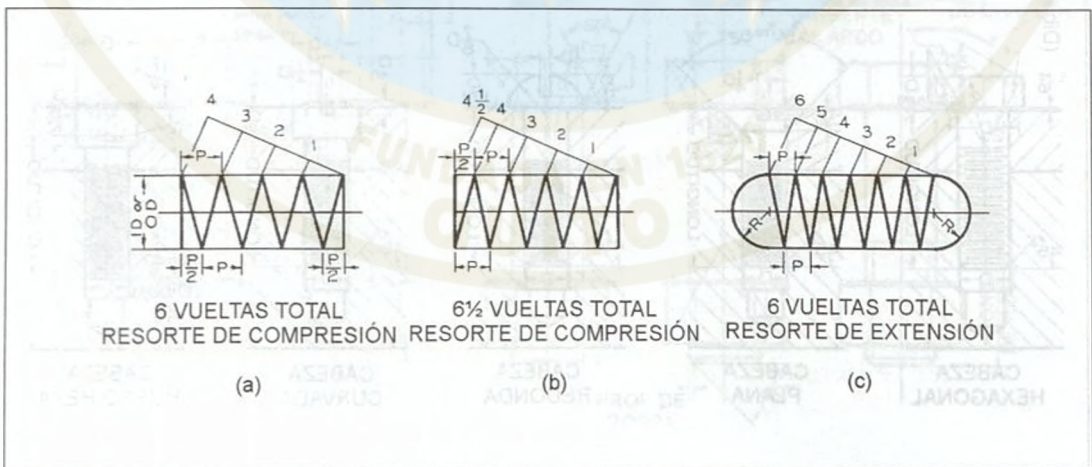


Figura 10.25. Representación esquemática de un resorte

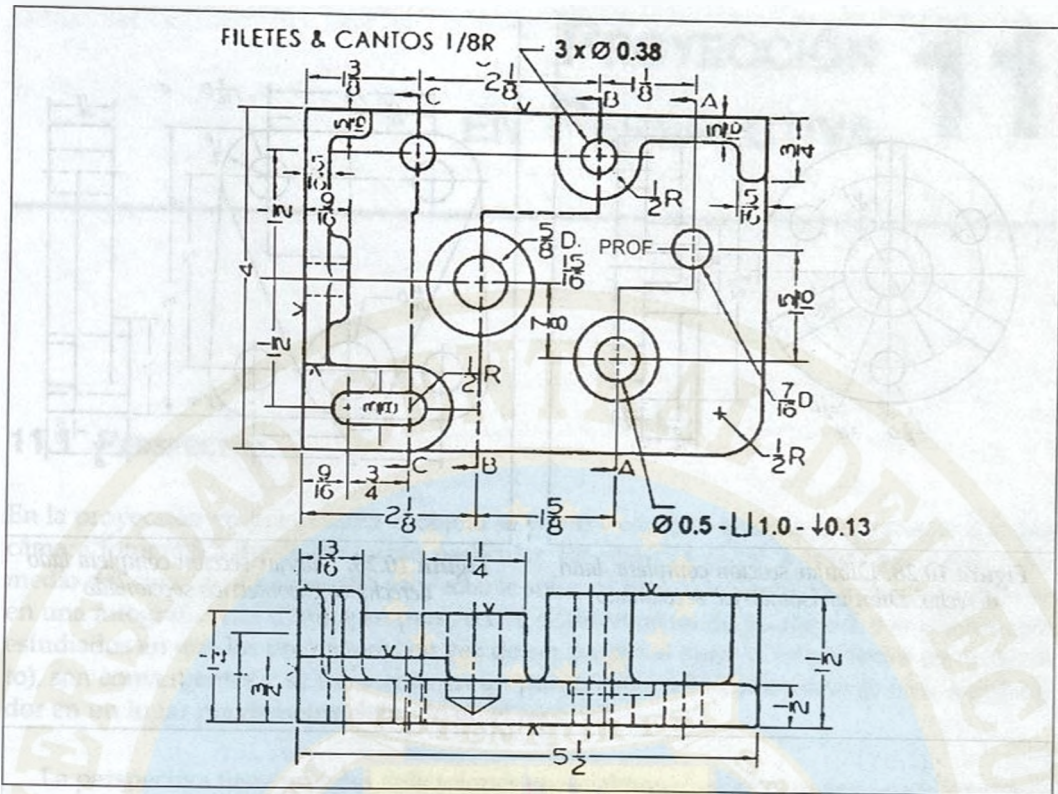


Figura 10.26. Dibujar las secciones A-A, B-B y C-C

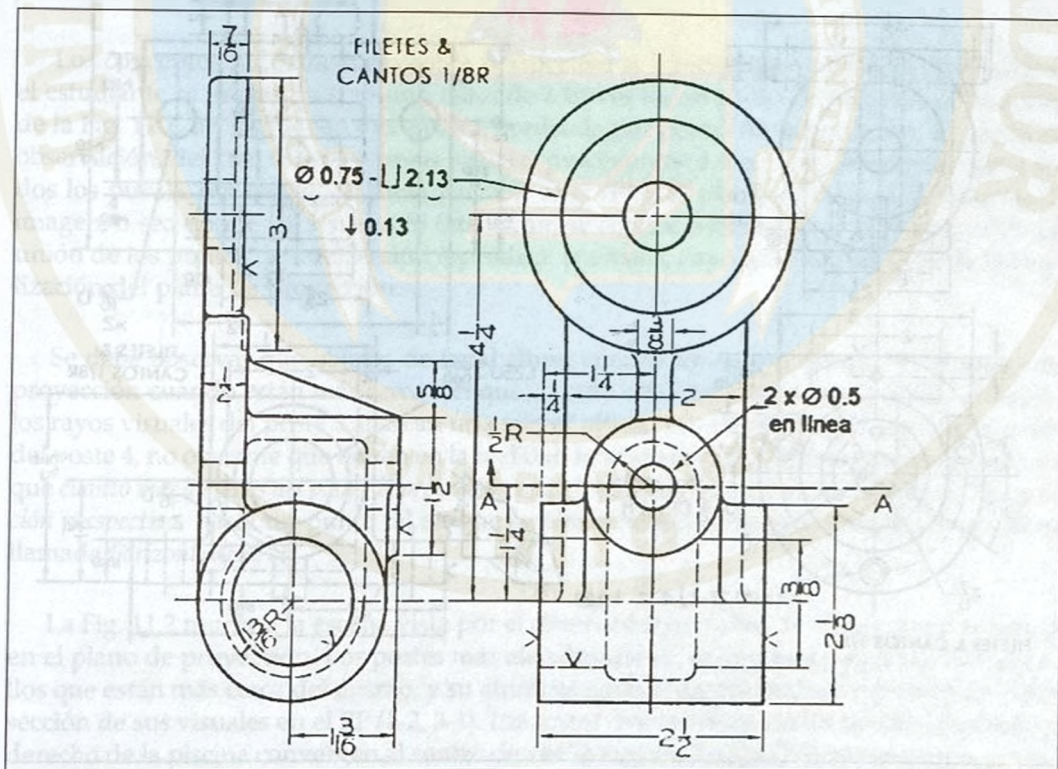


Figura 10.27. Dibujar la sección A-A y sección lado derecho completa

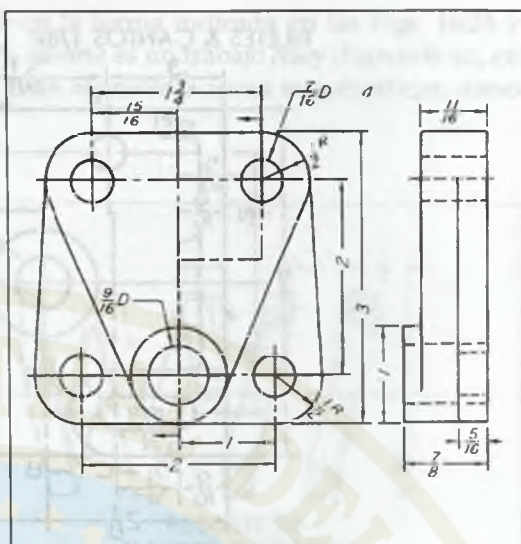


Figura 10.29. Dibujar sección completa lado derecho con isométrico seccionado



PROYECCIÓN EN PERSPECTIVA 11

11.1 PERSPECTIVA

En la proyección en perspectiva el objeto se ve tal y como lo aprecia el ojo humano o una cámara fotográfica desde un punto particular. En realidad es un método geométrico por medio del cual un objeto puede proyectarse sobre el plano de proyección tal y como se ve en una fotografía. Los dibujos en perspectiva se diferencian de los métodos anteriormente estudiados en que los proyectores en vez de ser paralelos entre sí (observador en el infinito), son convergentes y se intersecan en un punto común llamado *punto de vista* (observador en un lugar previamente definido en el espacio).

La perspectiva tiene grandes aplicaciones especialmente en arquitectura para la presentación de proyectos de viviendas, edificios o conjuntos residenciales, fábricas, conjuntos urbanísticos, etc.

Los conceptos fundamentales sobre perspectiva se pueden aprender más fácilmente si el estudiante se imagina a sí mismo mirando a través de un plano de proyección la escena de la Fig. 11.1, un jardín con una piscina bordeada por postes de iluminación. El punto de observación, del cual salen los rayos visuales procedentes del ojo del observador hacia todos los puntos del objeto, se llama *punto de vista* (PV). El plano sobre el cual se forma la imagen, o sea donde las visuales lo intersecan, se conoce como *plano de proyección* (PP). La unión de los puntos de intersección reproduce la escena, cuyo tamaño depende de la localización del plano de proyección.

Se debe observar que objetos de igual altura ocupan un mayor espacio en el plano de proyección cuando están más cerca a él que cuando están más alejados de él. Por ejemplo, los rayos visuales del poste 2 abarcan una mayor altura, 1-2, en el PP, que los rayos visuales del poste 4, no obstante que tienen en la realidad la misma altura. De este hecho se concluye que *cuanto más alejados del plano de proyección estén los objetos, más pequeños se verán en la proyección perspectiva*, hasta un punto tal en que su altura será cero, lo cual sucede en una línea llamada *horizonte* (Horz).

La Fig. 11.2 muestra la escena vista por el observador de la Fig. 11.1 tal y como se forma en el plano de proyección. Los postes más alejados del PP se ven más pequeños que aquellos que están más cerca del mismo, y su altura es igual al espacio entre los puntos de intersección de sus visuales en el PP (1-2, 3-4). Las líneas que representan los bordes izquierdo y derecho de la piscina convergen al centro de visión o *punto de fuga* (PF), el cual está localizado directamente frente al observador en el horizonte.

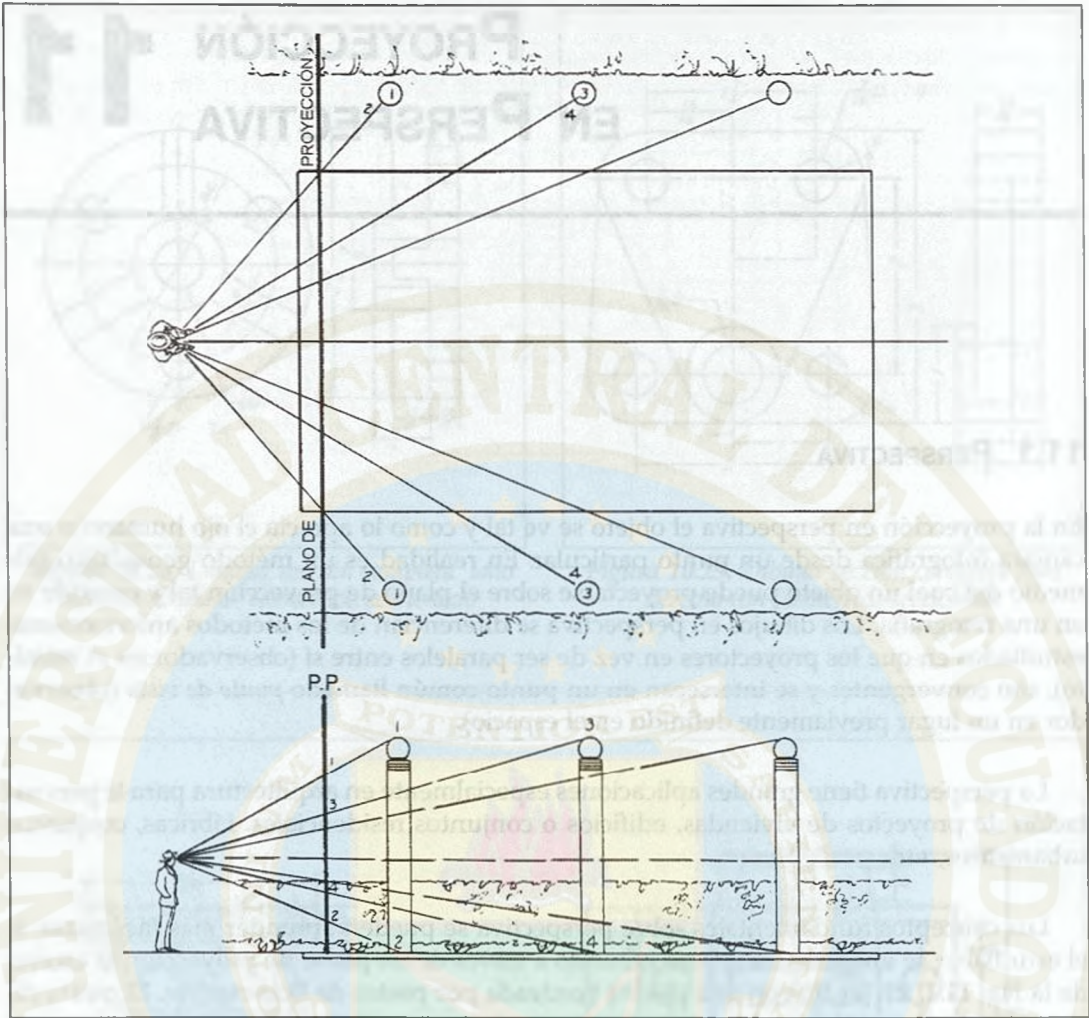


Figura 11.1. Vistas del plano de proyección

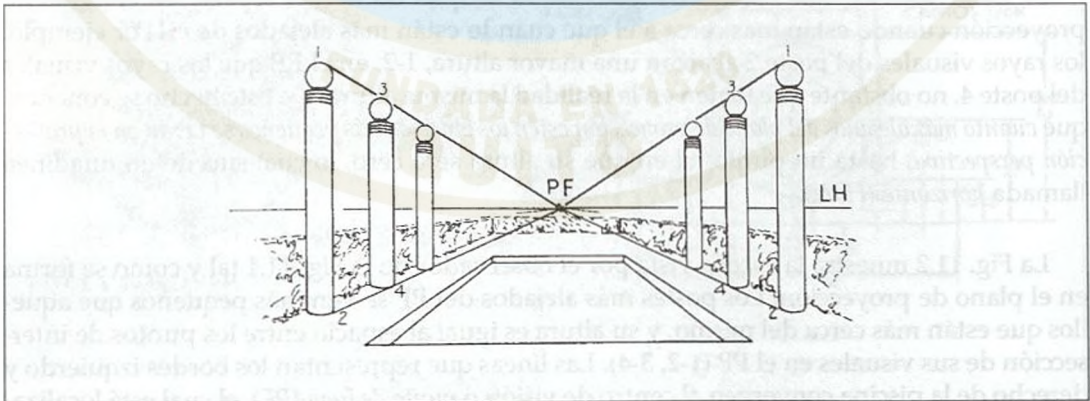


Figura 11.2. Perspectiva

11.2 NOMENCLATURA USADA EN PERSPECTIVA

La Fig. 11.3 ilustra gráficamente la nomenclatura comúnmente utilizada en dibujo de perspectivas. La *línea de horizonte* es la línea de intersección del plano horizontal que pasa por el punto de observación –ojo del observador– y el plano de proyección.

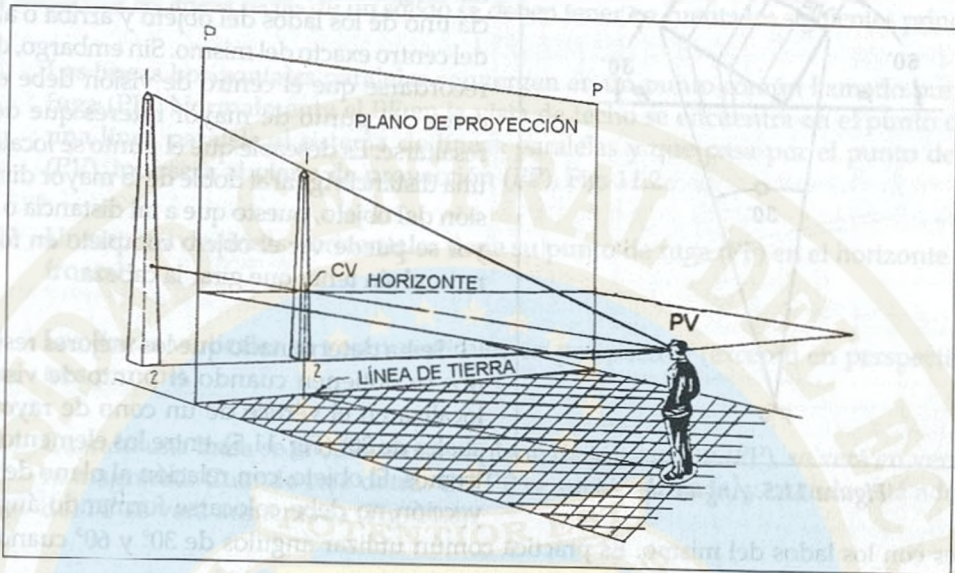


Figura 11.3. Nomenclatura

Este plano horizontal se conoce con el nombre de *plano del horizonte*. La *línea de tierra* es la línea de intersección del plano de tierra con el plano de proyección. El punto CV es el *centro de visión del observador*. Se localiza directamente frente al ojo del observador en el plano del horizonte, y sobre la línea de horizonte.

11.3 LOCALIZACIÓN DEL PLANO DE PROYECCIÓN

El plano de proyección (Fig. 11.4) generalmente se sitúa entre el objeto y el observador (punto de vista, PV).

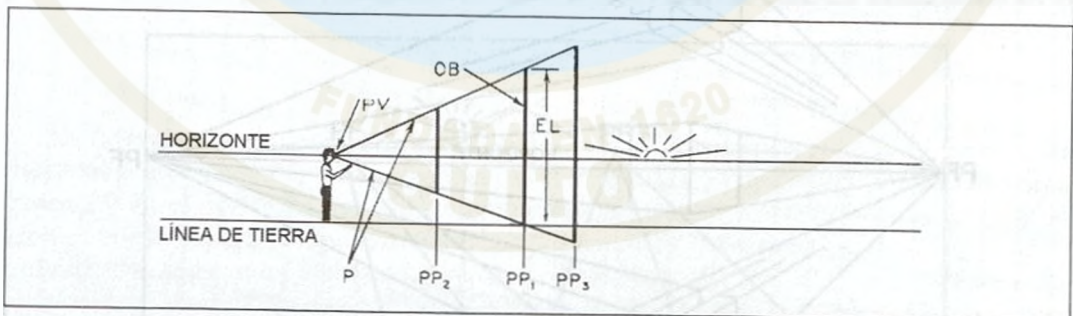


Figura 11.4. Localización del plano de proyección

En perspectiva paralela (véase la Sec. 11.10) preferiblemente se debe localizar en una cara del objeto a fin de mostrar su magnitud y forma verdaderas.

11.4 LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE VISTA

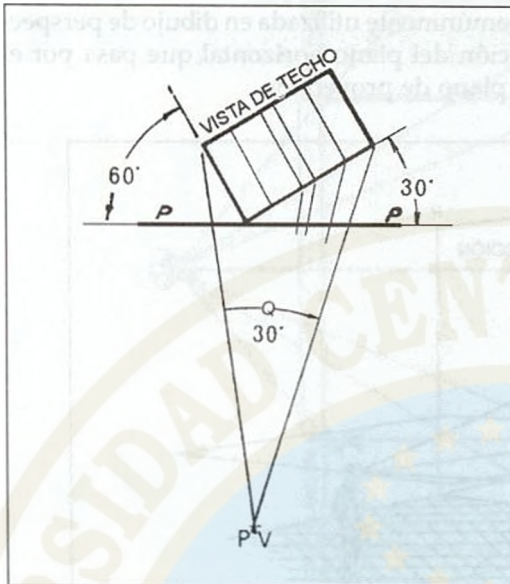


Figura 11.5. Ángulo de visión

La localización del punto de vista debe hacerse con mucho cuidado, puesto que de ello depende la apariencia final de la perspectiva dibujada. En general, debe localizarse desplazado hacia uno de los lados del objeto y arriba o abajo del centro exacto del mismo. Sin embargo, debe recordarse que el centro de visión debe estar cerca del punto de mayor interés que desee resaltarse. Es deseable que el punto se localice a una distancia igual al doble de la mayor dimensión del objeto, puesto que a tal distancia o mayor se puede ver el objeto completo en forma natural sin tener que girar la cabeza.

Se ha determinado que los mejores resultados se obtienen cuando el punto de vista se localiza en el vértice de un cono de rayos visuales de 30° (Fig. 11.5), entre los elementos extremos. El objeto, con relación al plano de proyección no debe colocarse formando ángulos

iguales con los lados del mismo. Es práctica común utilizar ángulos de 30° y 60° cuando se trata de objetos rectangulares.

11.5 POSICIÓN DEL OBJETO CON RESPECTO AL HORIZONTE

Cuando se trata de un objeto alto, como un edificio de muchos pisos, el horizonte se localiza a la altura del ojo de un observador normal desde el piso, o aproximadamente 1.60 m.

Para los objetos pequeños se acostumbra situarlos arriba o abajo del horizonte (nivel del ojo del observador), dependiendo de la vista que se desee destacar. Si el objeto se sitúa

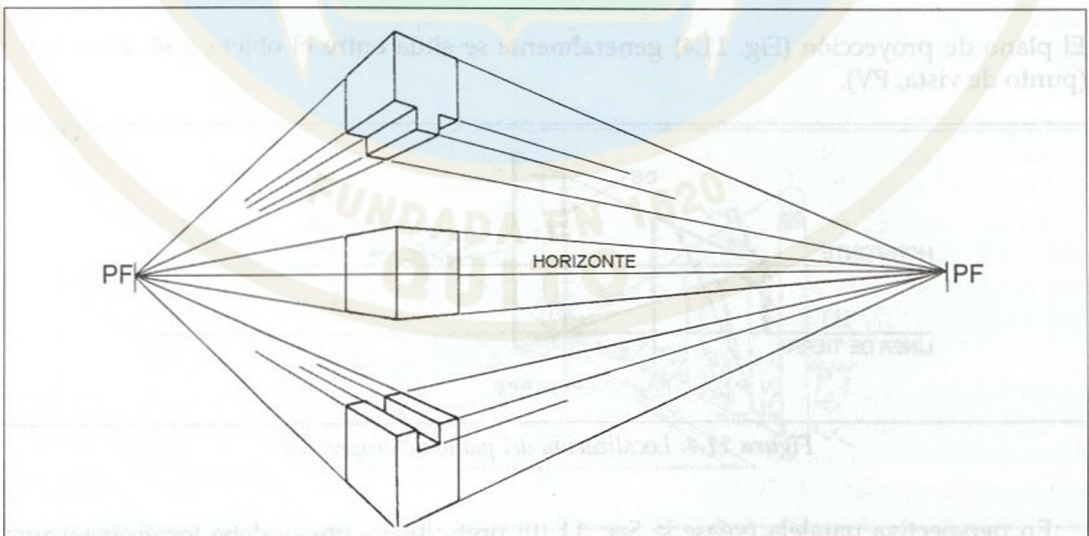


Figura 11.6. Objetos arriba, en y abajo del horizonte

arriba del horizonte, la vista corresponde a mirar el objeto por debajo (destacar el fondo). Si se sitúa por debajo del horizonte, se destaca la parte superior del objeto.

11.6 PERSPECTIVA DE UNA LÍNEA RECTA

Con respecto a las líneas rectas de un sólido se deben tener en cuenta los siguientes principios:

1. Las líneas horizontales paralelas convergen en un punto común llamado punto de fuga (PF). Normalmente el PF en la vista de techo se encuentra en el punto donde una línea paralela al sistema de líneas paralelas y que pasa por el punto de vista (PV), interseca al plano de proyección (PP), Fig. 11.2.
2. Un sistema de líneas horizontales tiene su punto de fuga (PF) en el horizonte (vista frontal).
3. Las líneas verticales se verán verticales en perspectiva (excepto en perspectiva de tres puntos).
4. Cuando una línea se encuentra en el plano de proyección (PP), se verá en verdadera magnitud. Cuando está detrás del PP se verá escorzada, y cuando está adelante del PP se verá aumentada (Fig. 11.4).

11.7 LA CLAVE DE TODAS LAS PERSPECTIVAS

Todas las perspectivas obedecen a un concepto básico único. Cualquier punto de un objeto se puede proyectar en perspectiva, trazando una *línea horizontal* que contenga el punto, proyectar esa línea en perspectiva y luego localizar el punto en esta última línea.

Dos puntos cualesquiera definen una línea recta. *Dos puntos que siempre definen una línea horizontal en perspectiva son el punto de fuga (PF) sobre el horizonte y el punto de verdadera elevación, donde la línea horizontal coincide o cruza el plano de proyección (PP).*

Sabemos que una línea horizontal alcanza el horizonte en el punto de fuga (Fig. 11.7). También sabemos que la verdadera elevación de un punto se muestra únicamente en el

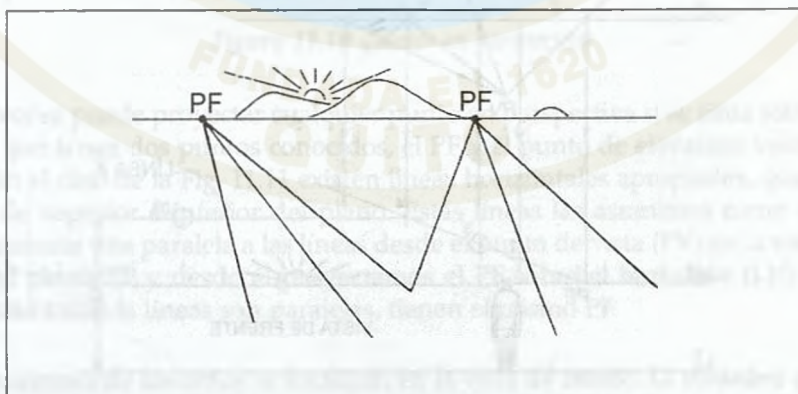


Figura 11.7. Punto de fuga

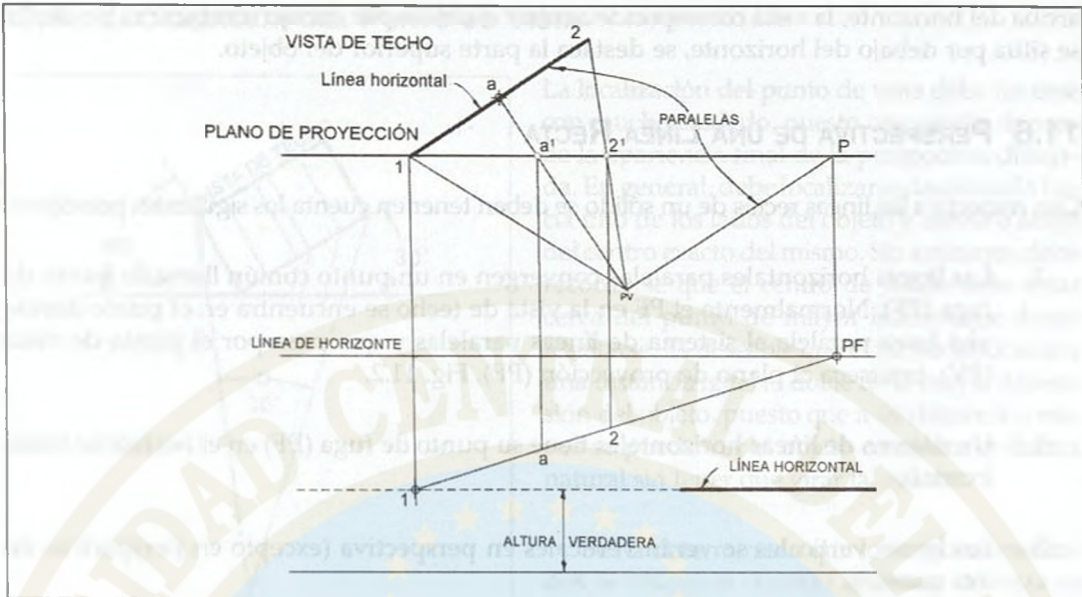


Figura 11.8. Verdadera elevación de un punto

plano de proyección (PP), (Fig. 11.8). Combinando ambos factores, podemos proyectar cualquier línea en perspectiva y con ella cualquier punto en esa línea.

Refiriéndonos a la Fig. 11.9, deseamos poner en perspectiva el punto 3. Primero trazamos una línea horizontal «A» que pase por el punto 3 formando cualquier ángulo con el plano de proyección, de longitud supuestamente infinita, cortando el plano de proyección en el punto 4. PV es el punto de vista, o posición del observador. Sabemos que la línea A alcanza su altura verdadera cuando cruza el plano PP, y esa altura es igual a la distancia entre la línea de tierra y el punto 4. El punto de fuga de la línea «A» debe estar sobre la línea de horizonte. La combinación de estas variables nos permite proyectar la línea en perspectiva.

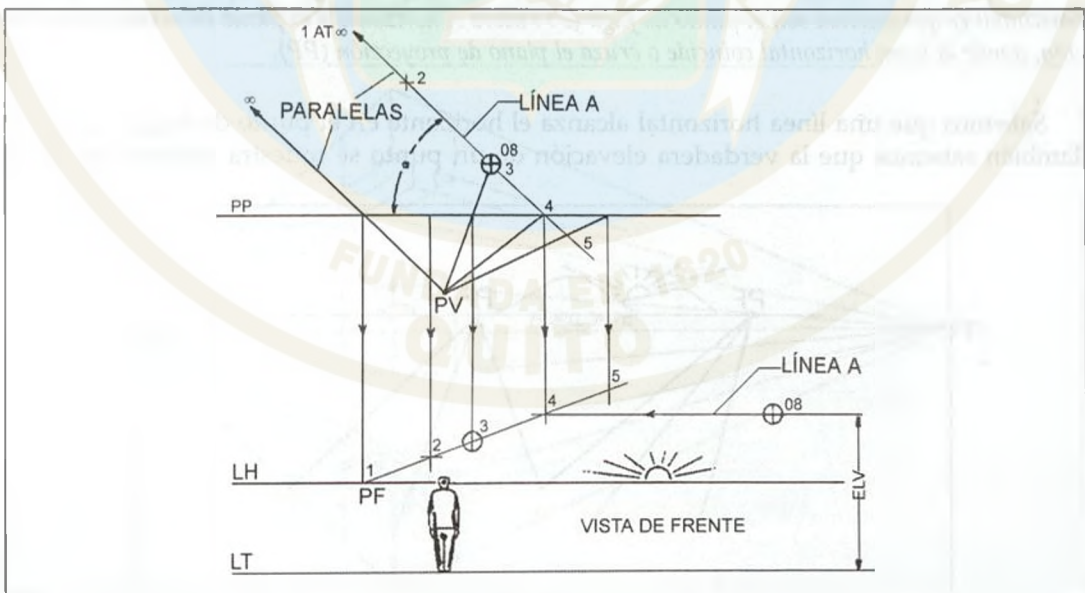


Figura 11.9. Construcción de la perspectiva de un punto

La línea A (y por tanto, todos los puntos que están sobre ella), se puede poner en perspectiva encontrando los puntos donde cruza el horizonte y donde cruza el plano de proyección (PP). Es relativamente fácil encontrar dónde cruza el plano PP. En la vista de techo, se ve que lo cruza en el punto 4. Por tanto, proyectamos la posición de 4 en la vista de frente, alineándola con la elevación verdadera (ELV). Así queda definido el punto 4 en perspectiva.

El segundo punto que se necesita es el punto de fuga. Sabemos que éste se encuentra en el horizonte. Pero ¿dónde? Donde la visual paralela a la línea A desde el punto de vista (PV), en la vista de techo, cruza el plano del cuadro (PP). Por tanto, proyectamos este punto hasta la línea de horizonte (LH) y allí está el punto de fuga (PF). Uniendo PF con 4 en la vista frontal, localizamos la perspectiva de la línea A. Ahora podemos rápidamente localizar el punto 3 sobre la línea A. Desde PV en la vista de techo, trazamos la línea PV-3, ésta corta el PP en 3'. Proyectamos 3' sobre la línea A en la vista de frente. El punto 3 queda finalmente proyectado en perspectiva.

Los puntos 2 y 5 se han proyectado como complemento de este procedimiento.

11.8 PERSPECTIVA DE PLANOS

Los planos se proyectan en perspectiva usando exactamente el mismo procedimiento utilizado para los puntos. En la Fig. 11.10 se han proyectado en perspectiva tres planos. Todos tienen la misma altura. Todos tienen dos lados horizontales y dos lados verticales. El plano 1 está completamente detrás del plano de proyección (PP). El plano 2 tiene su lado vertical frontal sobre el plano PP. El plano 3 interseca el PP.

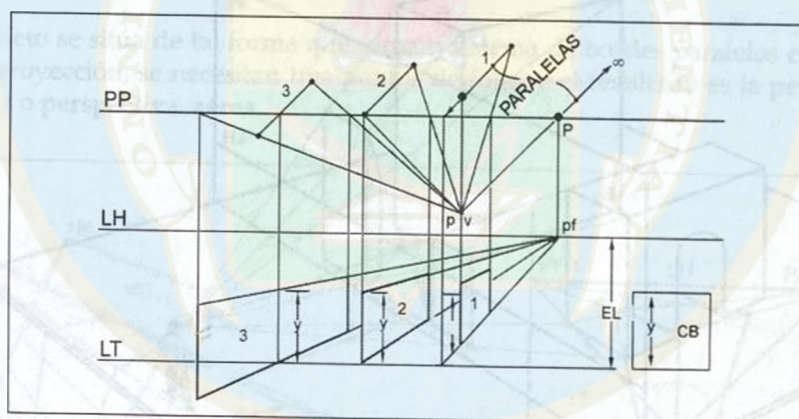


Figura 11.10. Planos en perspectiva

De nuevo, se puede proyectar cualquier punto en perspectiva si se sitúa sobre una línea horizontal que tenga dos puntos conocidos, el PF y el punto de elevación verdadera en el plano PP. En el caso de la Fig. 11.11 existen líneas horizontales apropiadas, que corresponden al borde superior e inferior del plano. Estas líneas las asumimos como de longitud infinita. Trazamos una paralela a las líneas desde el punto de vista (PV) en la vista de techo, que corte el plano PP y desde él proyectamos el PF sobre el horizonte (LH), en la vista frontal. Como todas las líneas son paralelas, tienen el mismo PF.

Las elevaciones de los lados se localizan en la vista de frente. La verdadera elevación «Y» sólo puede usarse donde cada plano toca al plano PP en la vista de techo. Por tanto, el plano 1 debe

extenderse hasta alcanzar PP. Esta posición se proyecta a la vista de frente y se alinea con la altura «Y». El plano 2 toca a PP. Esta posición está en verdadera elevación en la vista de frente. La posición donde el plano 3 cruza a PP se proyecta en la vista de frente en verdadera elevación. Los bordes superior e inferior de todos los planos se extienden desde la elevación verdadera hasta el punto de fuga. Los planos efectivamente se vuelven cercas infinitas. Las líneas verticales delanteras y traseras se proyectan ahora desde los puntos de intersección de las visuales de cada punto con el PP en la vista de techo, hasta las líneas horizontales en perspectiva en la vista de frente.

11.9 TIPOS DE PERSPECTIVAS

Las perspectivas se clasifican de acuerdo con el número de puntos de fuga requeridos, los cuales a su vez dependen de la posición del objeto con respecto al plano de proyección.

Si el objeto se sitúa con una cara paralela al PP, sólo se necesita un punto de fuga, dando como resultado la perspectiva de un punto o **perspectiva paralela**.

Si el objeto se sitúa de tal manera que sus caras formen un ángulo con respecto al plano de proyección, pero con sus lados verticales paralelos al plano de proyección, se necesitan dos puntos de fuga, dando por resultado la perspectiva de dos puntos o **perspectiva angular**.

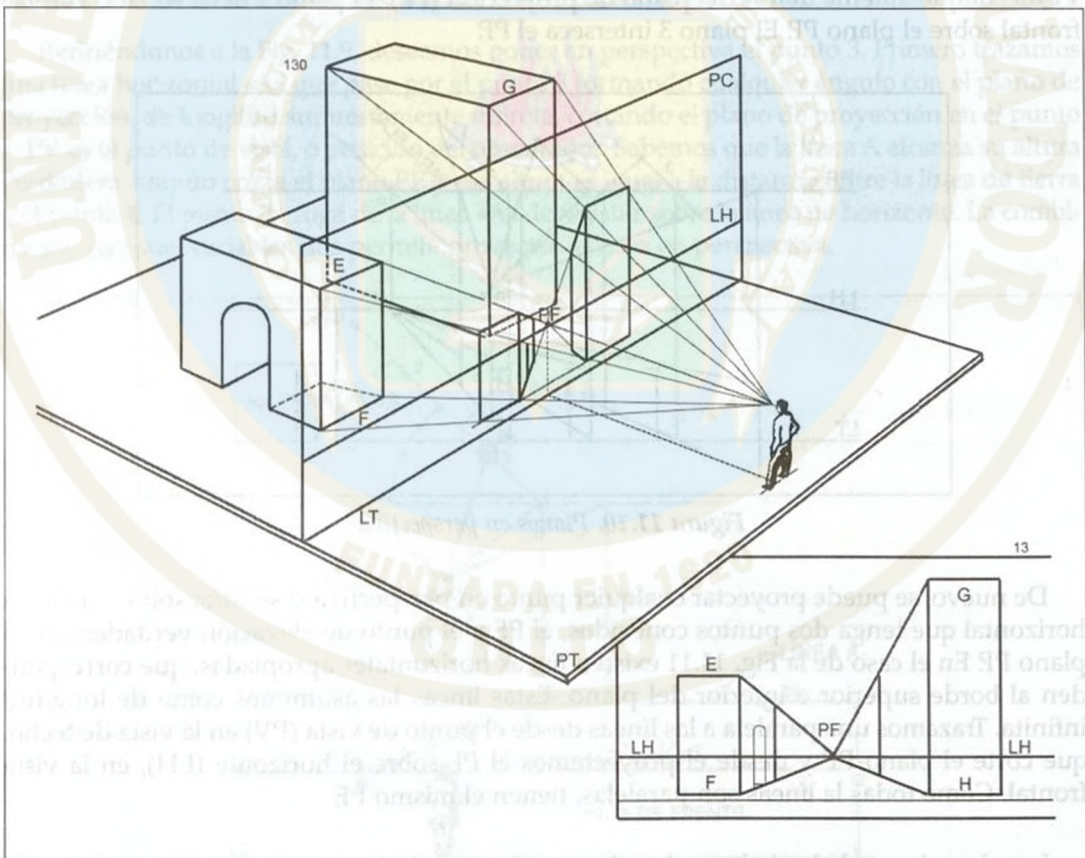


Figura 11.11. Perspectiva paralela

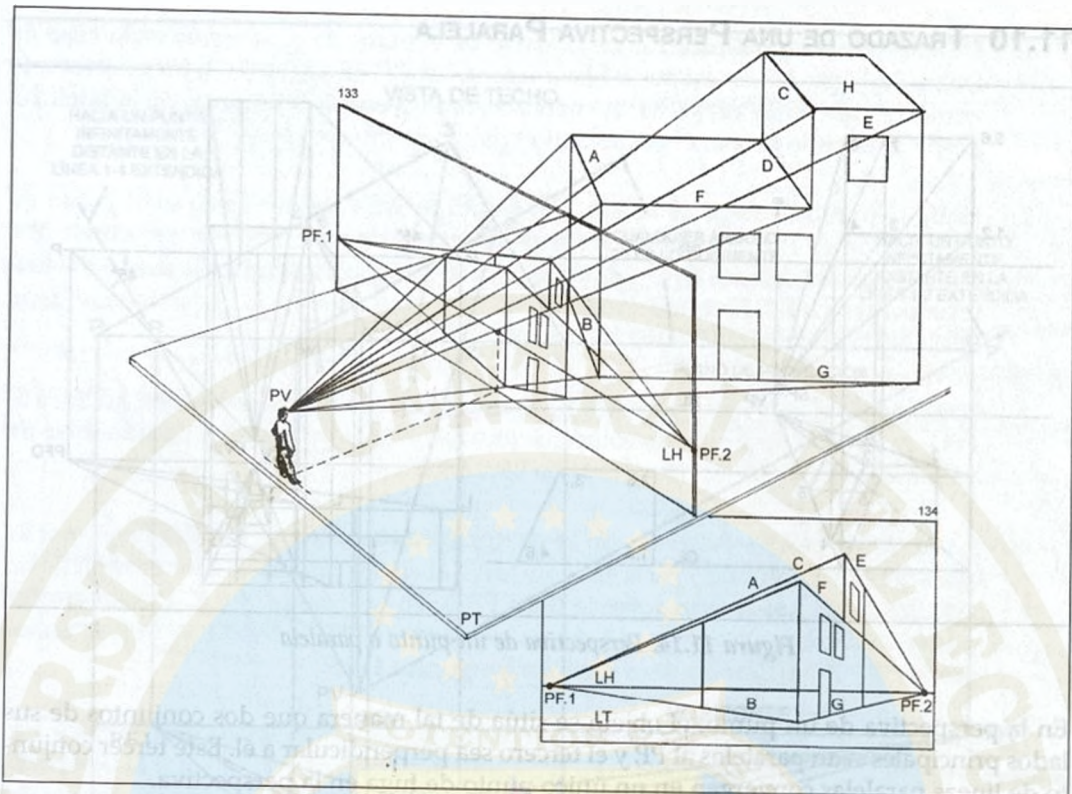


Figura 11.12. Perspectiva angular

Si el objeto se sitúa de tal forma que ningún sistema de bordes paralelos es paralelo al plano de proyección, se necesitan tres puntos de fuga, y el resultado es la perspectiva de tres puntos o **perspectiva aérea**.

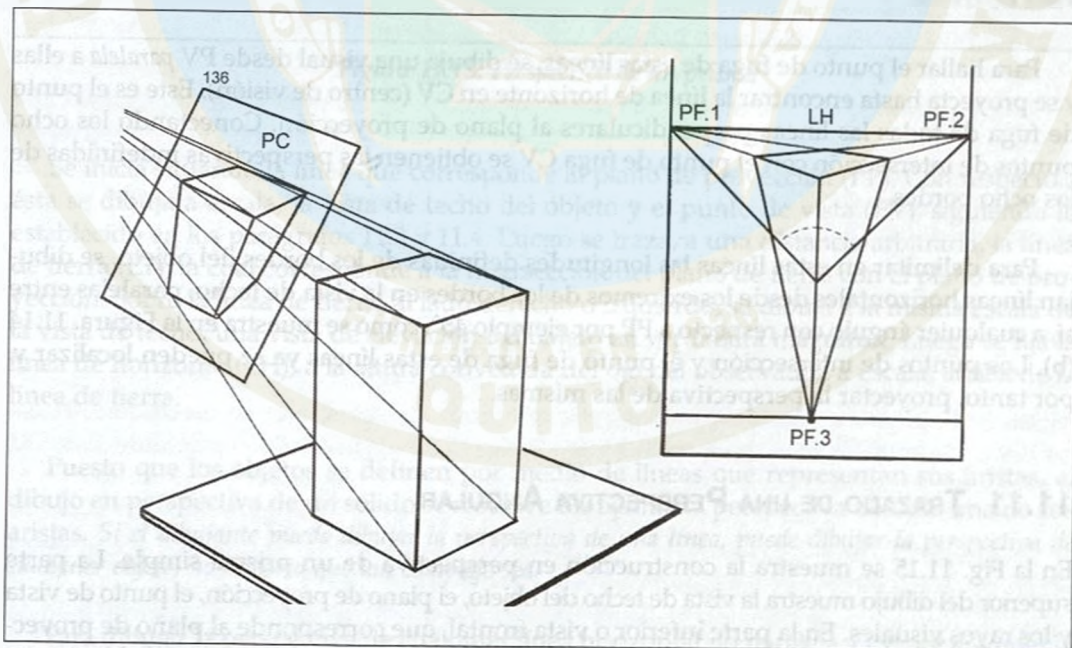


Figura 11.13. Perspectiva aérea

11.10 TRAZADO DE UNA PERSPECTIVA PARALELA

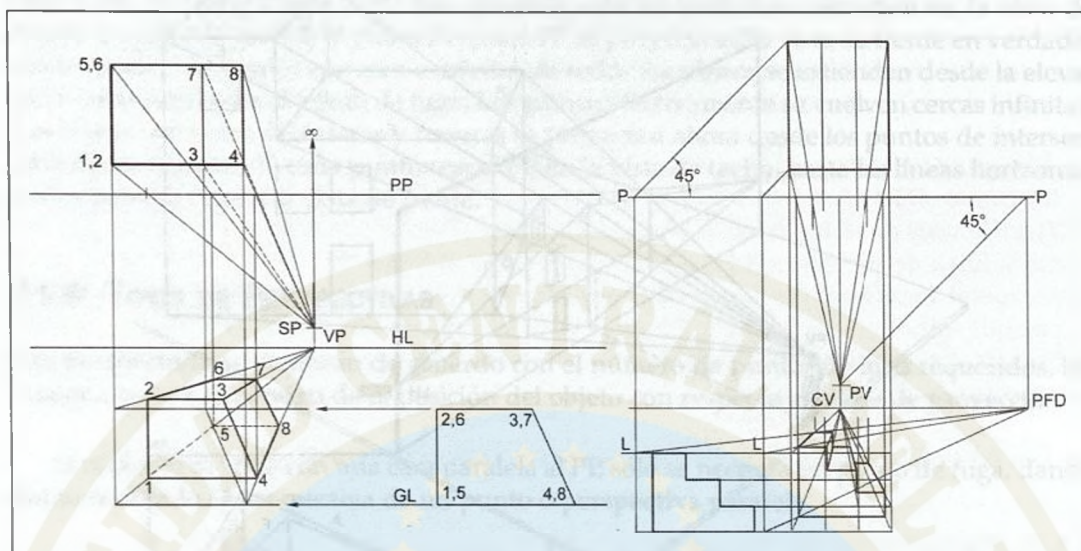


Figura 11.14. Perspectiva de un punto o paralela

En la perspectiva de un punto, el objeto se sitúa de tal manera que dos conjuntos de sus lados principales sean paralelos al PP, y el tercero sea perpendicular a él. Este tercer conjunto de líneas paralelas convergen en un único punto de fuga en la perspectiva.

En la Fig. 11.14, la vista de techo muestra el objeto con dos caras paralelas al plano de proyección. Los puntos de intersección de los ocho bordes perpendiculares a PP se localizan en la intersección de las visuales desde el punto de vista con el PP hasta el extremo de cada borde. Luego se proyectan hacia abajo a su línea correspondiente en perspectiva en la vista de frente.

Para hallar el punto de fuga de estas líneas, se dibuja una visual desde PV *paralela* a ellas y se proyecta hasta encontrar la línea de horizonte en CV (centro de visión). Este es el punto de fuga de todas las líneas perpendiculares al plano de proyección. Conectando los ocho puntos de intersección con el punto de fuga CV se obtienen las perspectivas indefinidas de los ocho bordes.

Para delimitar en estas líneas las longitudes definidas de los bordes del objeto, se dibujan líneas horizontales desde los extremos de los bordes en la vista de techo, paralelas entre sí, a cualquier ángulo con respecto a PP, por ejemplo 45° , como se muestra en la Figura. 11.14 (b). Los puntos de intersección y el punto de fuga de estas líneas ya se pueden localizar y, por tanto, proyectar la perspectiva de las mismas.

11.11 TRAZADO DE UNA PERSPECTIVA ANGULAR

En la Fig. 11.15 se muestra la construcción en perspectiva de un prisma simple. La parte superior del dibujo muestra la vista de techo del objeto, el plano de proyección, el punto de vista y los rayos visuales. En la parte inferior o vista frontal, que corresponde al plano de proyección, se dibuja la perspectiva y una vista de elevación en verdadera magnitud del objeto.

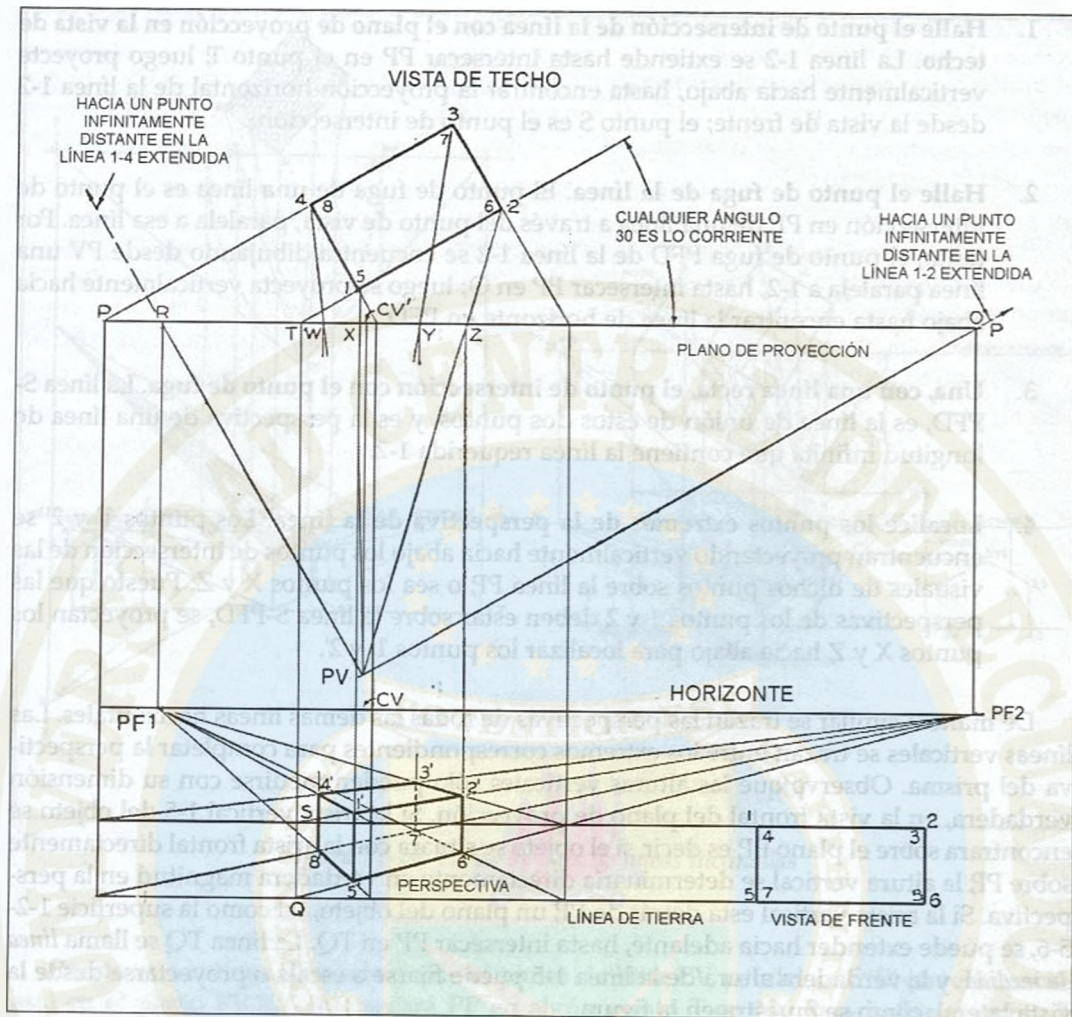


Figura 11.15. Perspectiva de un prisma

Se inicia situando la línea que corresponde al plano de proyección (PP). Con respecto a ésta se dibuja a escala, la vista de techo del objeto y el punto de vista (PV), siguiendo lo establecido en los parágrafos 11.3 y 11.4. Luego se traza, a una distancia arbitraria, la línea de tierra (LT), la cual corresponde a la intersección del plano de tierra con el plano de proyección. Sobre la línea de tierra, al lado derecho o izquierdo, se dibuja a la misma escala de la vista de techo, una vista de elevación del objeto en verdadera magnitud. Luego se fija la línea de horizonte (LH), a la altura convenida del ojo del observador, a escala, arriba de la línea de tierra.

Puesto que los objetos se definen por medio de líneas que representan sus aristas, el dibujo en perspectiva de un sólido se resuelve dibujando la perspectiva de cada una de sus aristas. Si el dibujante puede dibujar la perspectiva de una línea, puede dibujar la perspectiva de cualquier objeto, no importa qué tan complejo sea.

Para dibujar la perspectiva de cualquier línea horizontal no paralela a PP, por ejemplo la línea 1-2 de la Fig. 11-15, proceda como sigue:

1. **Halle el punto de intersección de la línea con el plano de proyección en la vista de techo.** La línea 1-2 se extiende hasta intersecar PP en el punto T; luego proyecte verticalmente hacia abajo, hasta encontrar la proyección horizontal de la línea 1-2 desde la vista de frente; el punto S es el punto de intersección.
2. **Halle el punto de fuga de la línea.** El punto de fuga de una línea es el punto de intersección en PP, de una línea a través del punto de vista, paralela a esa línea. Por tanto, el punto de fuga PFD de la línea 1-2 se encuentra dibujando desde PV una línea paralela a 1-2, hasta intersecar PP en O; luego se proyecta verticalmente hacia abajo hasta encontrar la línea de horizonte en PFD.
3. **Una, con una línea recta, el punto de intersección con el punto de fuga.** La línea S-PFD, es la línea de unión de estos dos puntos, y es la perspectiva de una línea de longitud infinita que contiene la línea requerida 1-2.
4. **Localice los puntos extremos de la perspectiva de la línea.** Los puntos 1' y 2' se encuentran proyectando verticalmente hacia abajo los puntos de intersección de las visuales de dichos puntos sobre la línea PP, o sea los puntos X y Z. Puesto que las perspectivas de los puntos 1 y 2 deben estar sobre la línea S-PFD, se proyectan los puntos X y Z hacia abajo para localizar los puntos 1' y 2'.

De manera similar se trazan las perspectivas de todas las demás líneas horizontales. Las líneas verticales se trazan entre los extremos correspondientes para completar la perspectiva del prisma. Observe que las alturas verticales sólo pueden medirse con su dimensión verdadera, en la vista frontal del plano de proyección. Si la arista vertical 1-5 del objeto se encontrara sobre el plano PP, es decir, si el objeto se situara con la arista frontal directamente sobre PP, la altura vertical se determinaría directamente en verdadera magnitud en la perspectiva. Si la arista vertical está detrás de PP, un plano del objeto, tal como la superficie 1-2-5-6, se puede extender hacia adelante, hasta intersecar PP en TQ. La línea TQ se llama *línea de medida*, y la verdadera altura de la línea 1-5 puede fijarse a escala o proyectarse desde la vista lateral, como se muestra en la figura.

Si no se dispone de una mesa de dibujo amplia, uno de los puntos de fuga, como, por ejemplo, PFD, puede caer por fuera de ella. Utilizando un solo punto de fuga, por ejemplo, PFI, y proyectando verticalmente hacia abajo los puntos de intersección sobre PP, se puede eliminar el punto de fuga PFD. Sin embargo, deben utilizarse en lo posible ambos puntos como método de comprobación de la perspectiva.

11.12 PUNTO DE FUGA DE LÍNEAS INCLINADAS

El punto de fuga de una línea inclinada se determina, al igual que para cualquier línea, hallando el punto de intersección en PP de una línea dibujada desde el punto de vista PV, paralela a la línea dada.

En la Figura 11.16 se muestra la perspectiva de una casa con techo a dos aguas, o sea plano de techo inclinado. El punto de fuga de la línea de techo C'E' se determina de la siguiente forma: si se supone un plano que pase por el punto de vista PV, paralelo al lado de la casa que contiene el plano inclinado (AB), intersecará a PP en la línea XY, a través del punto de fuga PFI y perpendicular al horizonte.

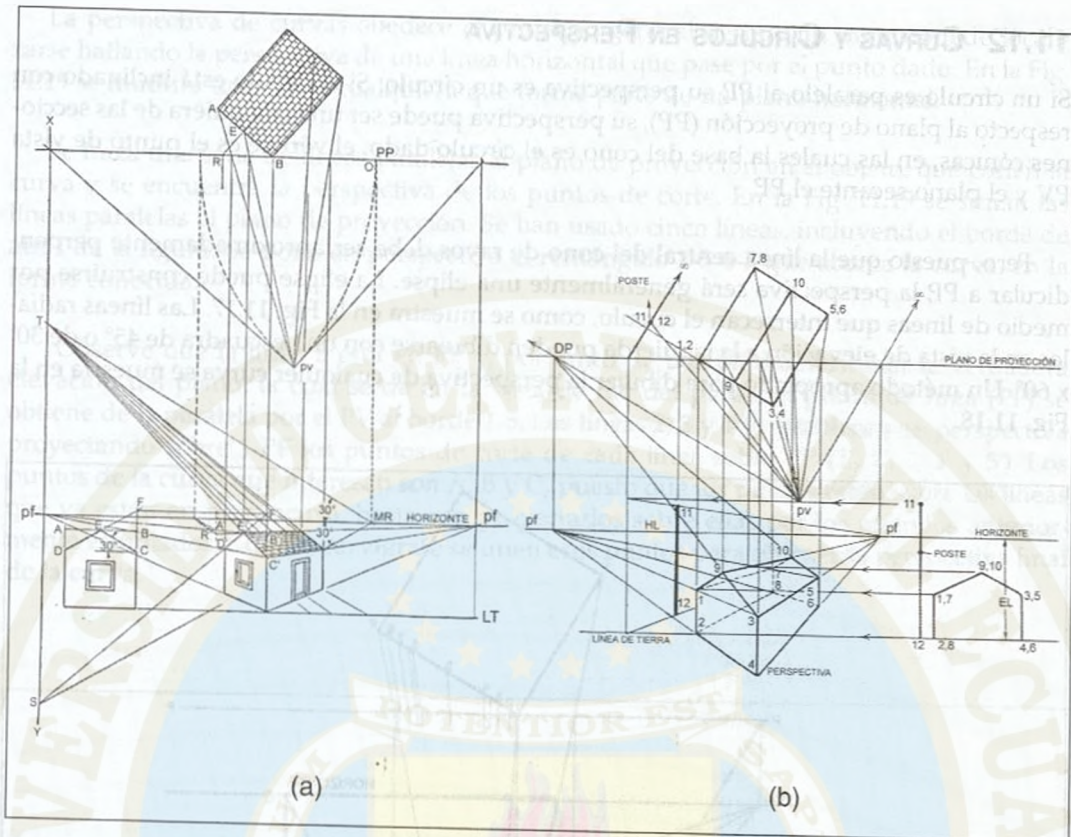


Figura 11-16. Punto de fuga de líneas inclinadas

Puesto que la línea dibujada desde el punto de vista PV, paralela a $C'E'$ (en el espacio) está en el plano PV-X-Y, intersectará PP en algún punto T en XY. Para hallar el punto T, imagínese el plano PV-X-Y girando alrededor de la línea XY como eje, hasta PP. El punto PV caerá entonces en el horizonte en un punto mostrado por O en la vista de techo y por MR en la vista de frente. Desde el punto MR dibuje la posición rotada de la línea PV-T (ahora MR-T), formando un ángulo de 30° con el horizonte, determinando de esta manera el punto T, que es el punto de fuga de la línea $C'E'$ y de todas las líneas paralelas a ella. El punto de fuga S de la línea $D'E'$ está evidentemente en la línea XY porque $D'E'$ está en el mismo plano vertical que la línea $C'E'$. El punto de fuga S está por debajo del horizonte, la misma distancia que el punto T está por encima de él, porque la línea $E'D'$ se inclina hacia abajo el mismo ángulo que la línea $C'E'$ se inclina hacia arriba.

Las perspectivas de las líneas inclinadas se pueden hallar generalmente sin necesidad de determinar sus puntos de fuga, hallando las perspectivas de los puntos extremos y uniéndolos por una línea. Fig. 11.16 (b). La perspectiva de cualquier punto puede determinarse hallando la perspectiva de dos líneas que se intersecan en ese punto. Obviamente, lo mejor es utilizar líneas horizontales paralelas respectivamente a los sistemas de líneas cuyos puntos de fuga sean conocidos. Por ejemplo, en la Fig. 11.16 (a), para hallar la perspectiva de la línea inclinada EC, el punto E' es la intersección de las líneas horizontales $R'-PFD$ y $B'-PFI$. El punto C' ya había sido establecido, puesto que está en PP; pero si no estuviese en PP, podría fácilmente encontrarse de la misma manera. La perspectiva de la línea inclinada EC es, por tanto, la línea que une las perspectivas de los puntos extremos E' y C'.

11.12 CURVAS Y CÍRCULOS EN PERSPECTIVA

Si un círculo es paralelo al PP, su perspectiva es un círculo. Si el círculo está inclinado con respecto al plano de proyección (PP), su perspectiva puede ser una cualquiera de las secciones cónicas, en las cuales la base del cono es el círculo dado, el vértice es el punto de vista PV y el plano secante el PP.

Pero, puesto que la línea central del cono de rayos debe ser aproximadamente perpendicular a PP, la perspectiva será generalmente una elipse. La elipse puede construirse por medio de líneas que intersecan el círculo, como se muestra en la Fig. 11.17. Las líneas radiales en la vista de elevación a la izquierda pueden dibujarse con una escuadra de 45° o de $30^\circ \times 60^\circ$. Un método apropiado para dibujar la perspectiva de cualquier curva se muestra en la Fig. 11.18.

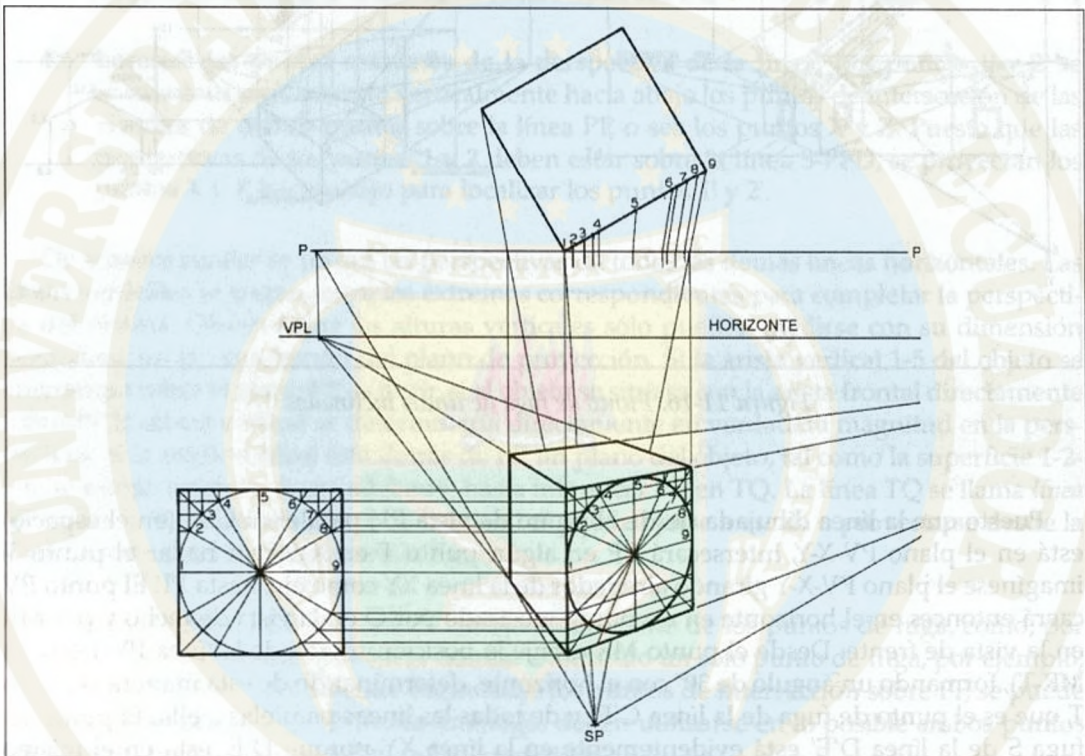


Figura 11.17. Círculos en perspectiva

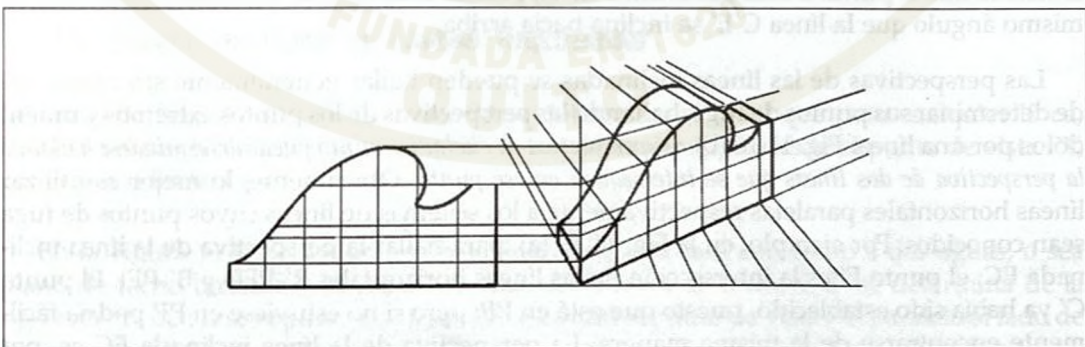


Figura 11.18. Curva en perspectiva

La perspectiva de curvas obedece el principio general de que un punto puede localizarse hallando la perspectiva de una línea horizontal que pase por el punto dado. En la Fig. 11.19 se muestra una curva cualquiera que forma parte de un plano horizontal.

Se traza una serie de líneas paralelas al plano de proyección en el objeto, que corten la curva y se encuentra la perspectiva de los puntos de corte. En la Fig. 11.19 se sitúan las líneas paralelas al plano de proyección. Se han usado cinco líneas, incluyendo el borde de atrás de la figura. Se pone en perspectiva el rectángulo 1-5-6-7 que abarca la curva, en la forma conocida.

Observe que la línea 3 está en PP y, por tanto, se usa para determinar la verdadera elevación del plano, la cual se da en la vista de filo del plano; el punto de fuga (PF) se obtiene de la paralela por el PV al borde 1-5. Las líneas 2, 3 y 4 se establecen en perspectiva proyectando sobre 1-PF los puntos de corte de cada línea sobre PP (1', 2', 3, 4' y 5'). Los puntos de la curva que interesan son A, B y C; puesto que los puntos están sobre las líneas que ya están en perspectiva, basta con proyectarlos sobre ellas por los métodos anteriormente estudiados. Con un curvígrafo se unen esos puntos para obtener la perspectiva final de la curva.

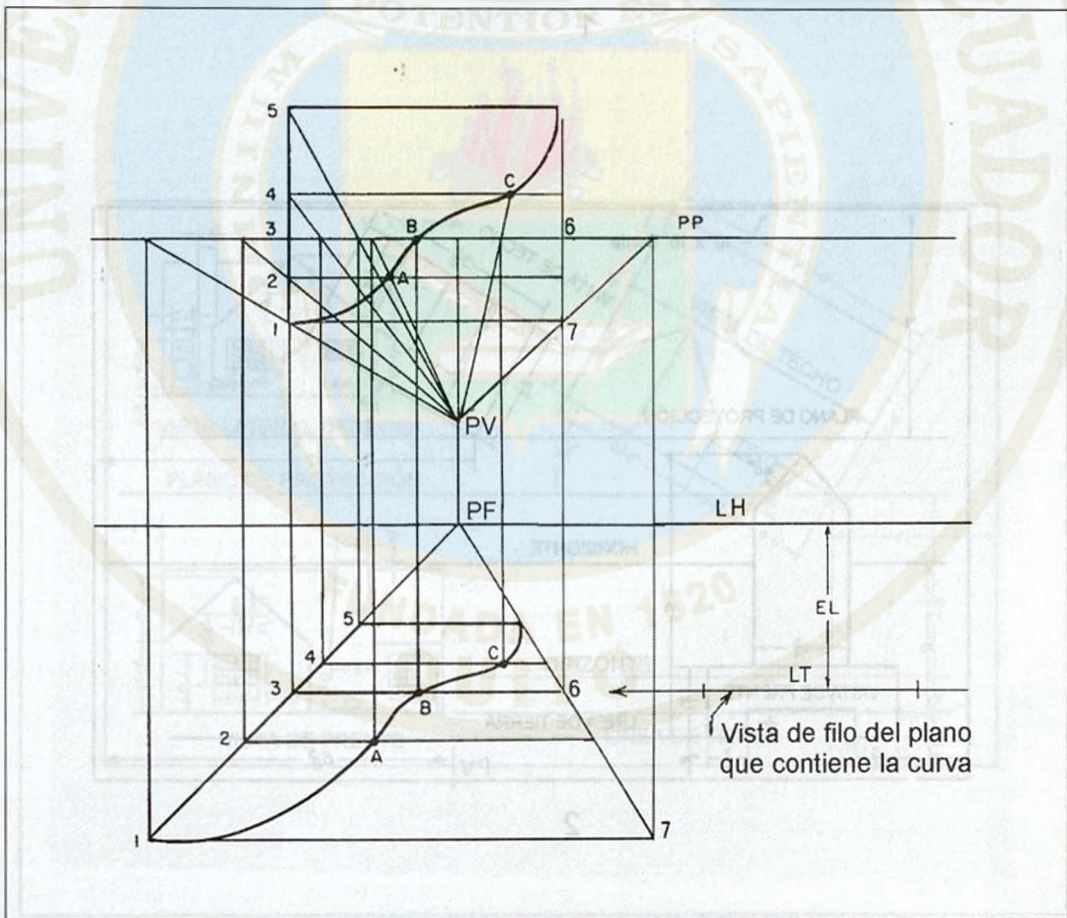
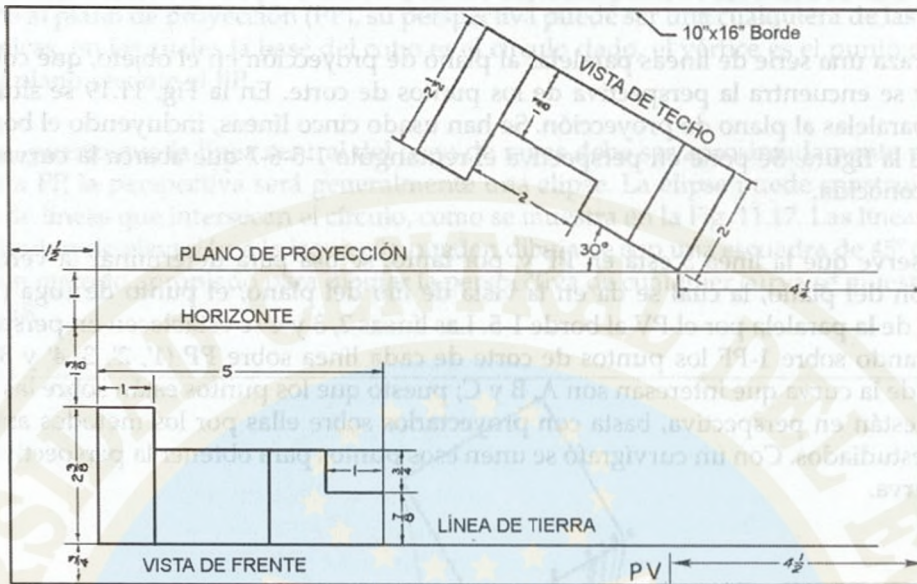
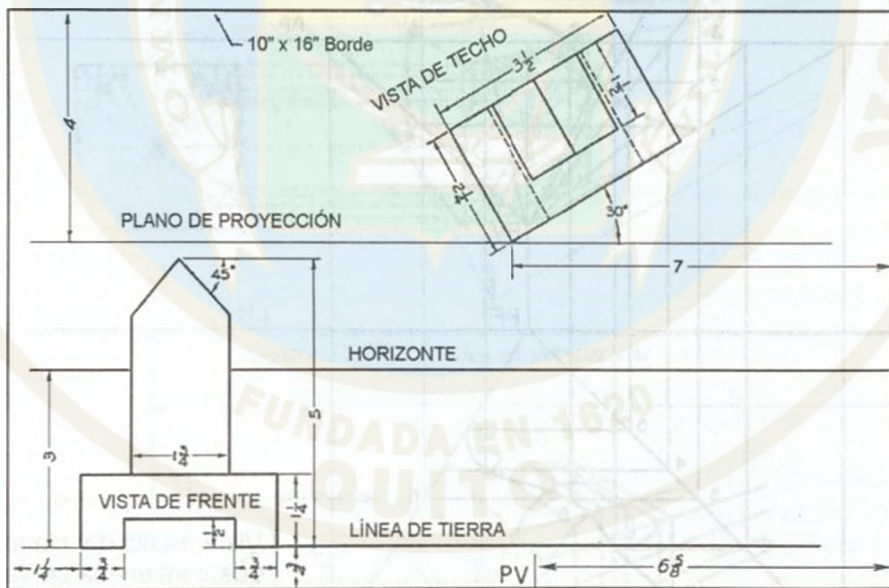


Figura 11.19. Perspectiva de una curva



1



2

Figura 11.20. Perspectiva - Ejercicios de práctica

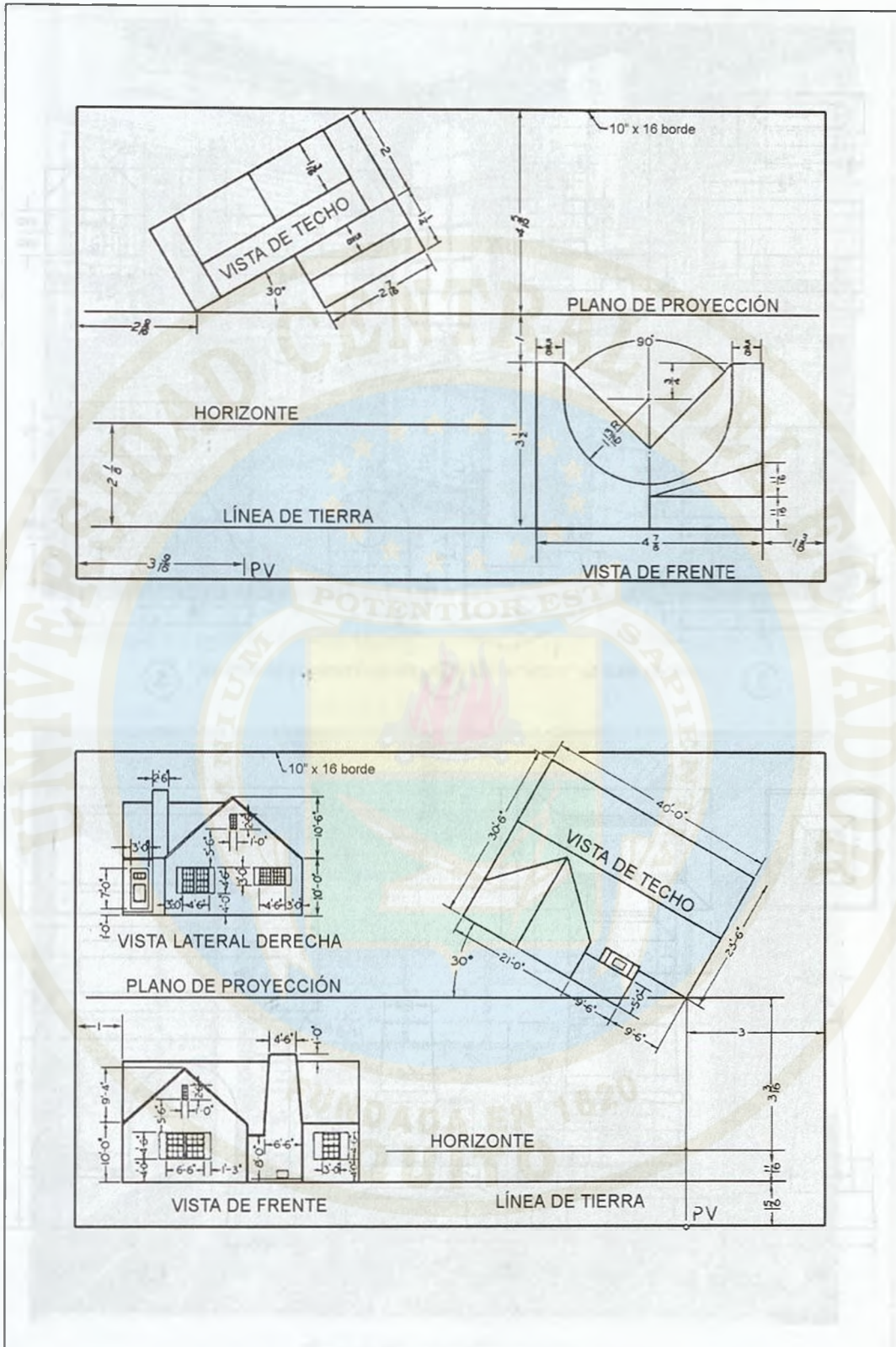


Figura 11.21. Perspectiva - Ejercicios de práctica (T. D. Giesecke)

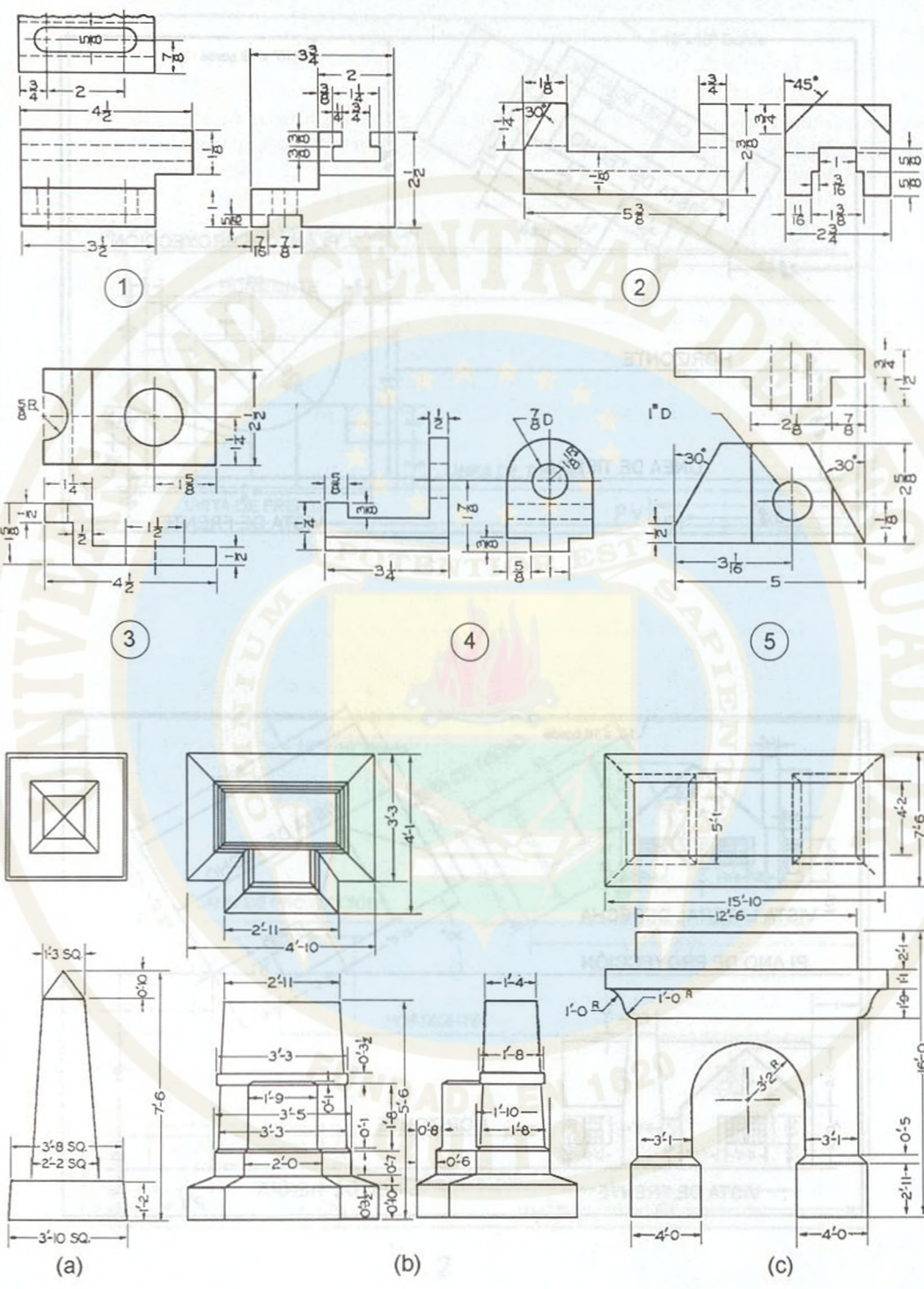
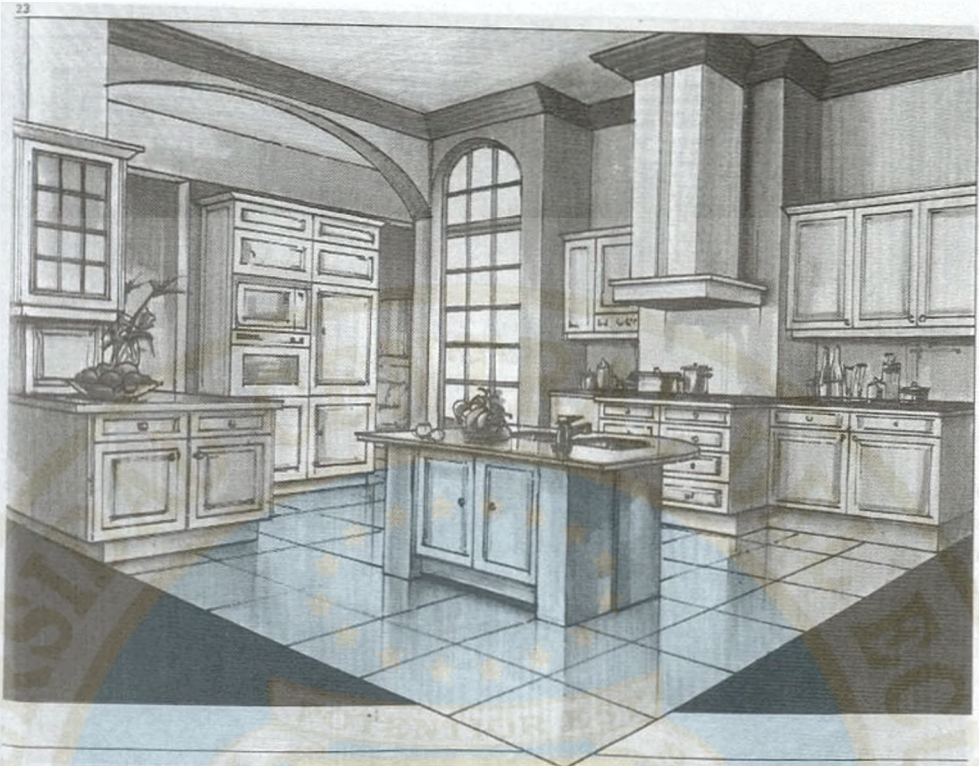
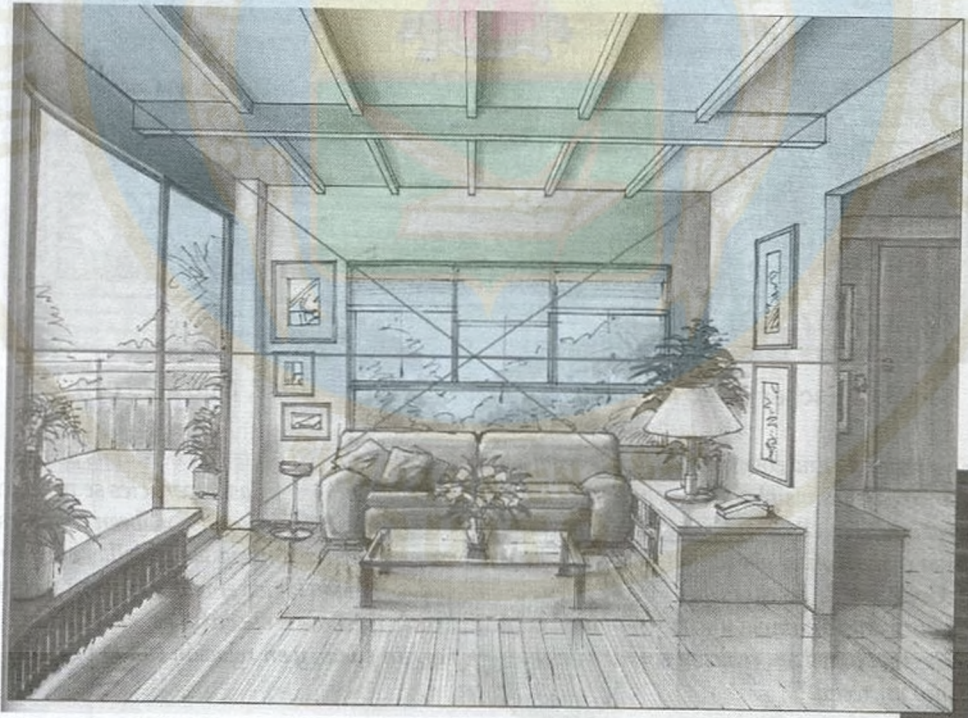


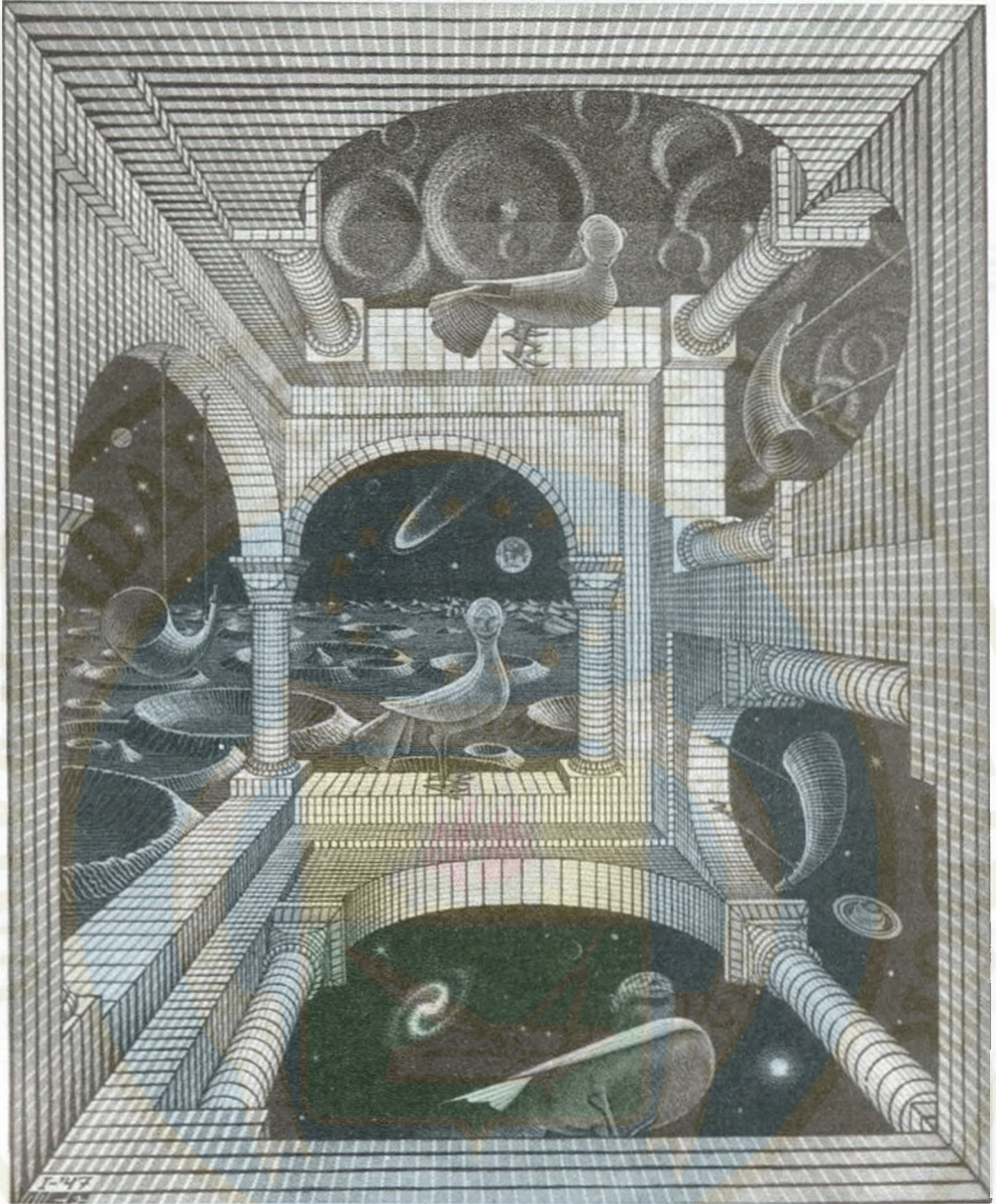
Figura 11.22. Perspectiva - Ejercicios de práctica (T. D. Giesecke)



Ejemplo de perspectiva angular del interior de una cocina



Ejemplo de perspectiva paralela



M.C. Escher - Otro Mundo II (grabado en madera, 1947, 31.5 x 26 cm)

“El interior de una construcción en forma de cubo se abre a nuestros ojos. Las ventanas de cada una de las cinco paredes visibles ofrecen a la vista cinco escenas distintas. Por las superficies se ve, en caída casi perpendicular, el suelo; las dos centrales están situadas a la altura de los ojos y abren una perspectiva hacia el horizonte; por las inferiores, se mira derecho hacia arriba hacia las estrellas en el firmamento. Cada una de las caras de este edificio, que reúnen de un modo lógico el nadador, el zenit y el punto de fuga horizontal, cumple una función triple. La superficie trasera en el centro es, en relación con el horizonte, una pared, en relación con la ventana superior, un suelo, y en relación con la vista del cielo estrellado, un techo.”

M. C. Escher

BOSQUEJOS A MANO ALZADA 12

12.1 BOSQUEJOS TÉCNICOS

El dibujo a mano alzada o bosquejo es el primer paso en diseño de ingeniería. Las ideas empiezan a tomar forma a partir de bosquejos que el ingeniero elabora en forma sistemática, inicialmente sin mucha precisión y claridad pero que paulatinamente va reformando hasta obtener una descripción completa del objeto diseñado. Igualmente, con mucha frecuencia es necesario elaborar bosquejos de objetos o construcciones existentes a fin de recolectar información sobre sus formas y dimensiones para adelantar los trabajos que sobre ellos han de realizarse.

El hecho de que los bosquejos se hagan a mano, sin ayuda de instrumentos de dibujo, no implica que deban hacerse en forma burda o mal dibujados. Todo lo contrario, la utilidad del bosquejo depende de su correcta elaboración, especialmente ajustándose a las proporciones reales y la forma correcta del objeto o construcción.

La ventaja del bosquejo es que sólo requiere papel, lápiz y borrador. Cuando los bosquejos se ejecutan en el campo se recomienda llevar una libreta de bosquejos, por lo general de papel cuadrado, apoyada sobre una tabla con gancho de presión, Fig. 12.1, y un lápiz de mina HB.

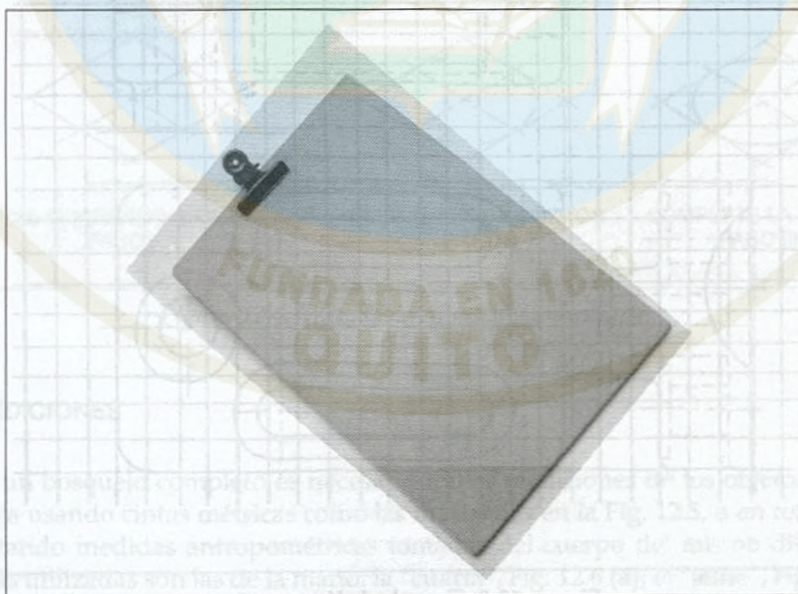


Figura 12.1. Tabla para bosquejos

Puesto que el bosquejo se refiere a objetos tridimensionales, se dibujan utilizando cualquiera de los sistemas de proyección anteriormente estudiados: ortográfica de vistas múltiples, isométrica, oblicua o perspectiva. Los bosquejos no se hacen a escala; se dibujan manteniendo sus proporciones a ojo. Sin embargo, el papel cuadriculado ayuda para dar las proporciones lo más parecidas a la realidad, además de que permite dimensionar contando cuadros. El tamaño del bosquejo es puramente opcional y relativo, dependiendo de la complejidad del objeto y el tamaño del papel usado. Los objetos pequeños por lo general se dibujan más grandes de lo que son para poder mostrar los detalles que den mayor claridad.

12.2 TÉCNICA DEL BOSQUEJO

Las líneas rectas se trazan a pulso siguiendo la cuadrícula del papel en tramos cortos discontinuos (Fig. 12.2).

Para los bordes visibles use líneas oscuras afirmando bien el lápiz; para líneas de dimensión o líneas ocultas, use líneas tenues. Las líneas que se trazan a pulso son ligeramente onduladas, a diferencia de las trazadas con regla, lo cual da a los bosquejos su presentación característica.

Los círculos y arcos pequeños se pueden dibujar fácilmente en uno o varios trazos sin necesidad de cuadrados de apoyo.

Para círculos grandes se pueden utilizar dos sistemas: dibujar primero, con tono suave, un cuadrado cuyos lados sean iguales al radio del círculo, marcar los puntos medios de los lados, trazar arcos tangentes a los lados del cuadrado, dibujar las diagonales y sobre ellas

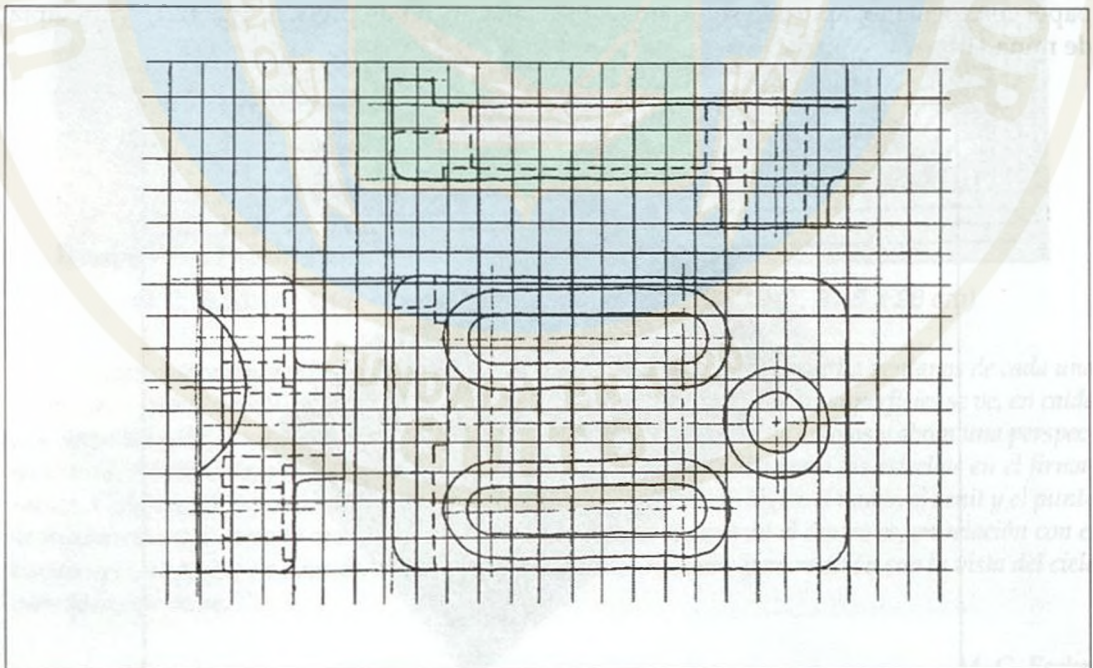
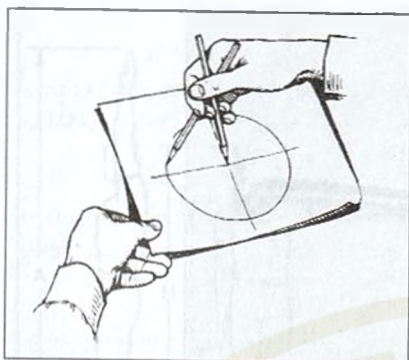


Figura 12.2. Trazado de líneas rectas



marcar el radio para unir los arcos tangentes, Fig. 12.3 (a). Otro método es el de trazar dos líneas de centro iguales y luego líneas radiales a 45° , marcando sobre ellas el radio del círculo, Fig. 12.3 (b). Luego se trazan arcos en esos puntos en forma tenue que luego se unen para formar el círculo con trazos gruesos. En la Fig. 12.3 (c) se muestra un sistema de trazar círculos usando dos lápices sostenidos rígidamente, uno de los cuales sirve como punta de compás y el otro para trazar el círculo, haciendo girar el papel en forma lenta.

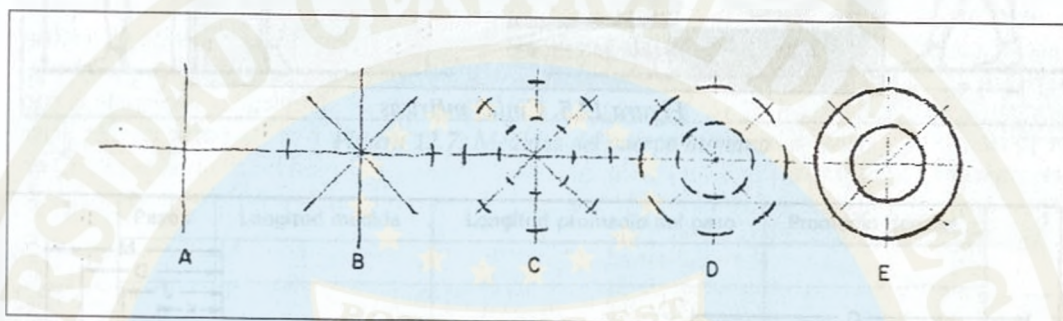


Figura 12.3. Dibujo de círculos

Las elipses pequeñas, (Fig. 12.4) se dibujan encerrando la elipse en un paralelogramo cuyos lados corresponden con el diámetro del círculo que se representa por la elipse; por los puntos medios se trazan arcos elípticos suaves que luego se unen con una línea gruesa. Un método más exacto es utilizar el sistema de la tira de cartón, Fig. 12.4 (b), que se explica en el párrafo 5.2.2.1.

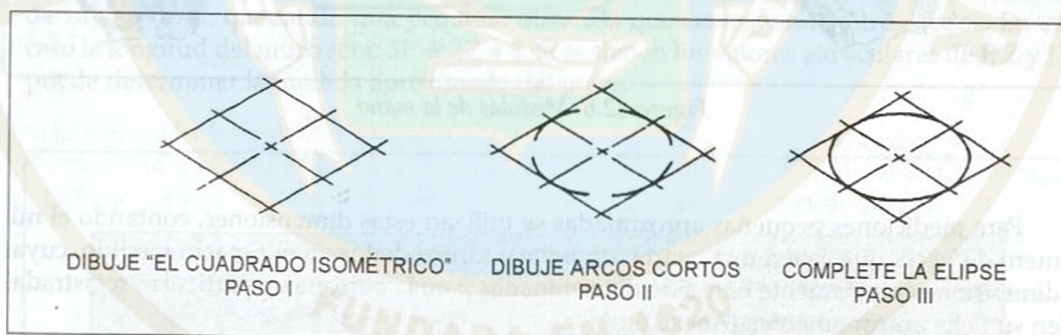


Figura 12.4. Trazado de elipses a mano alzada

12.3 MEDICIONES

Para hacer un bosquejo completo es necesario tomar mediciones de los objetos, ya sea en forma exacta usando cintas métricas como las mostradas en la Fig. 12.5, o en forma aproximada utilizando medidas antropométricas tomadas del cuerpo del mismo dibujante. De éstas las más utilizadas son las de la mano: la "cuarta", Fig. 12.6 (a); el "jeme", Fig. 12.6 (b), y el ancho de la mano cerrada, Fig. 12.6 (c) o de los dedos entre el meñique y el índice.



Figura 12.5. Cintas métricas

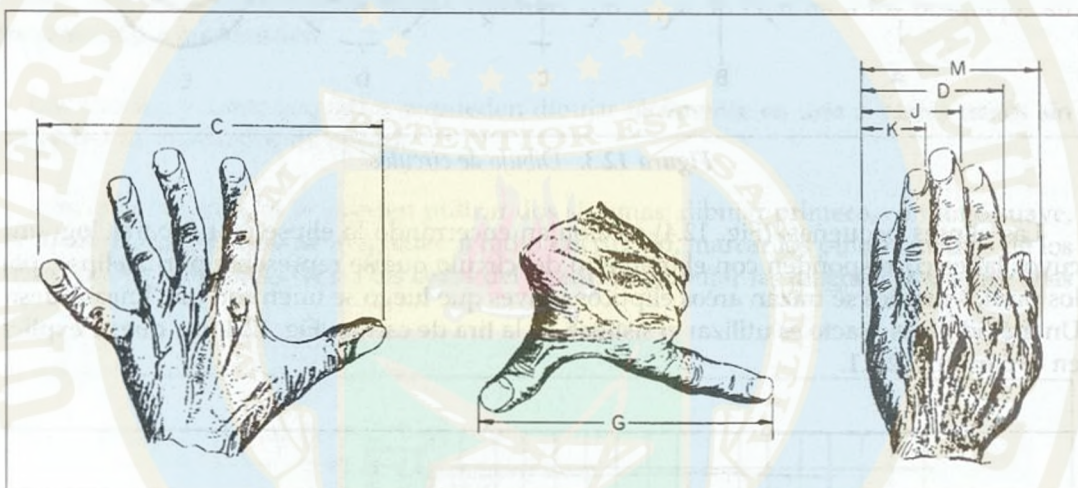


Figura 12.6. Medidas de la mano

Para mediciones pequeñas aproximadas se utilizan estas dimensiones, contando el número de veces que caben una cuarta, un jeme o tantos dedos en el espacio medido, cuyas dimensiones previamente han sido determinadas para la persona en particular, registradas en su ficha antropométrica (Anexo 6).

Para dimensiones mayores se utilizan las medidas indicadas en la Fig. 12.7, las cuales se obtienen midiendo en forma precisa con una cinta métrica. El conjunto de estas medidas más las de la mano constituye la ficha antropométrica de la persona, cuyos valores debe conocer de memoria.

La longitud del paso normal se determina recorriendo tramos de número de pasos conocidos y midiendo con cinta métrica la distancia recorrida, en la forma indicada en el cuadro ajunto. Luego se promedia la longitud de los pasos en cada caso y finalmente se saca un promedio general, el cual representa el valor más ajustado al paso normal de la persona.

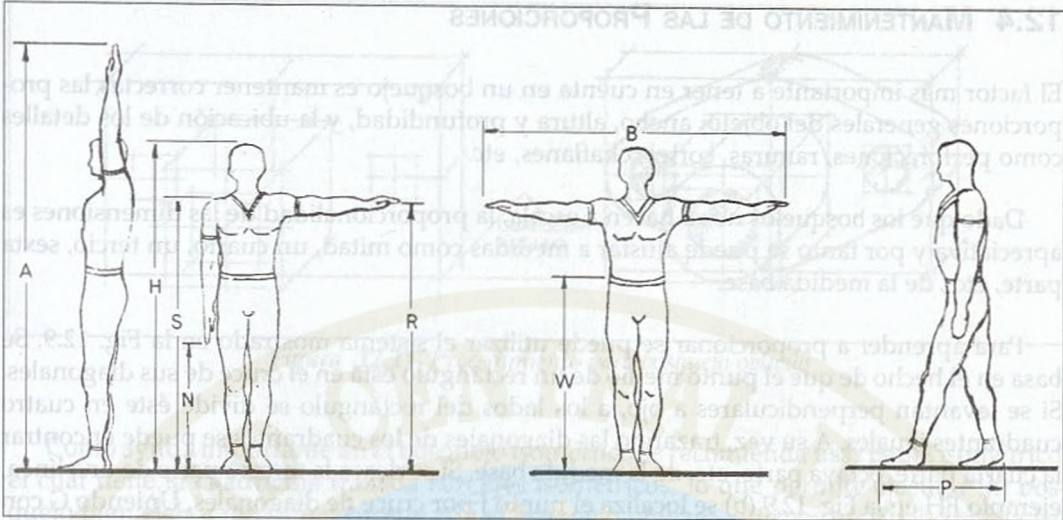


Figura 12.7. Medidas del cuerpo humano

[illegible]

Para medir aproximadamente distancias largas, el método más acostumbrado es recorrer a pie dichos tramos contando el número de pasos entre los extremos. Por ejemplo, si se requiere medir el muro de la Fig. 12.8, el número exacto de pasos normales es 5, el número de zapatos es 2, quedando una pequeña distancia que corresponde a tres dedos. En este caso la longitud del muro será: $5P + 2Z + J$. Si se tienen los valores particulares de P, Z y J se puede determinar la medida aproximada del muro.

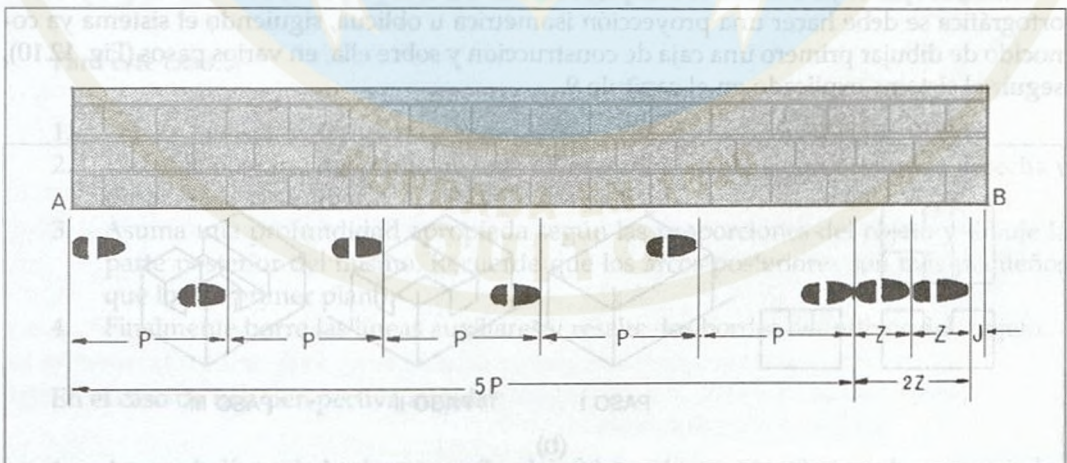


Figura 12.8. Medición aproximada de un muro

12.4 MANTENIMIENTO DE LAS PROPORCIONES

El factor más importante a tener en cuenta en un bosquejo es mantener correctas las proporciones generales del objeto: ancho, altura y profundidad, y la ubicación de los detalles como perforaciones, ranuras, cortes, chaflanes, etc.

Dado que los bosquejos no se hacen a escala, la proporcionalidad de las dimensiones es apreciativa y por tanto se puede ajustar a medidas como mitad, un cuarto, un tercio, sexta parte, etc., de la medida base.

Para aprender a proporcionar se puede utilizar el sistema mostrado en la Fig. 12.9. Se basa en el hecho de que el punto medio de un rectángulo está en el cruce de sus diagonales. Si se levantan perpendiculares a ojo, a los lados del rectángulo se divide éste en cuatro cuadrantes iguales. A su vez, trazando las diagonales de los cuadrantes se puede encontrar la cuarta parte, octava parte, etc. de la medida base. Si se desea la tercera parte de una línea, ejemplo FH en la Fig. 12.9 (b) se localiza el punto J por cruce de diagonales. Uniendo G con J y prolongando hasta K se obtiene el segmento HK, igual a la tercera parte de FH. Para determinar la sexta parte, Fig. 12.9 (c), de OM, trace la línea NP para localizar el punto Q en la perpendicular de la línea media de NO. Por Q trace una paralela a NO hasta el punto R; el segmento OR es la sexta parte de OM.

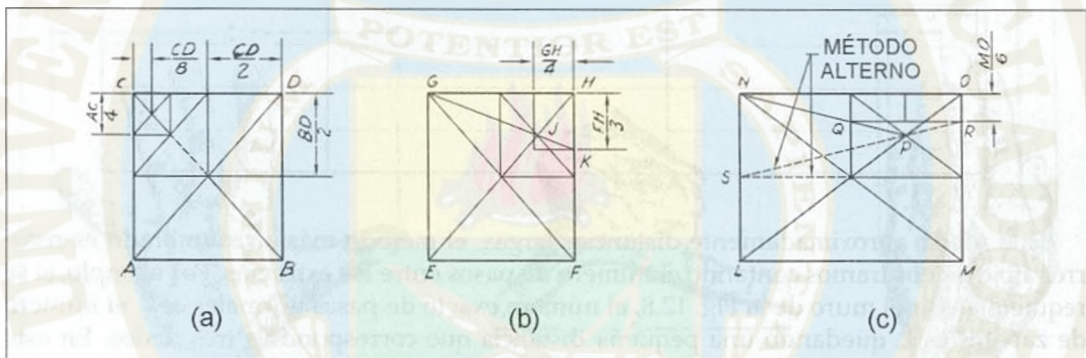


Figura 12.9. Método de proporcionamiento de figuras rectangulares

Siempre que vaya a hacer el bosquejo de sólidos complejos, además de la proyección ortográfica se debe hacer una proyección isométrica u oblicua, siguiendo el sistema ya conocido de dibujar primero una caja de construcción y sobre ella, en varios pasos (Fig. 12.10), seguir el sistema explicado en el capítulo 9.

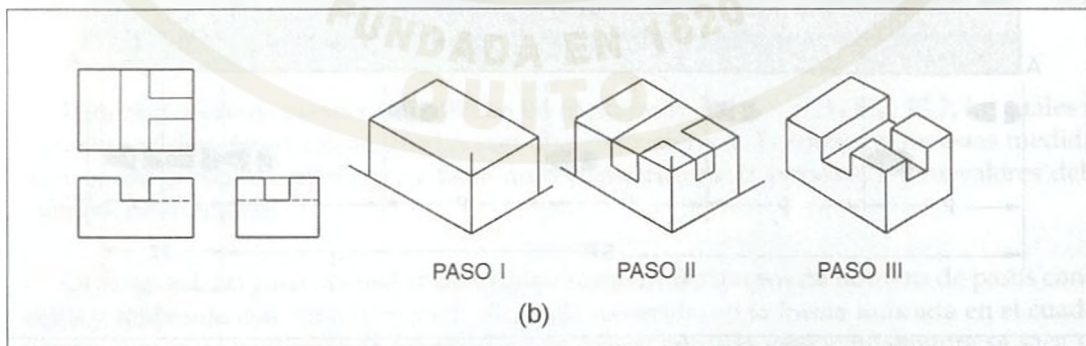


Figura 12.10. Procedimiento para un boceto isométrico

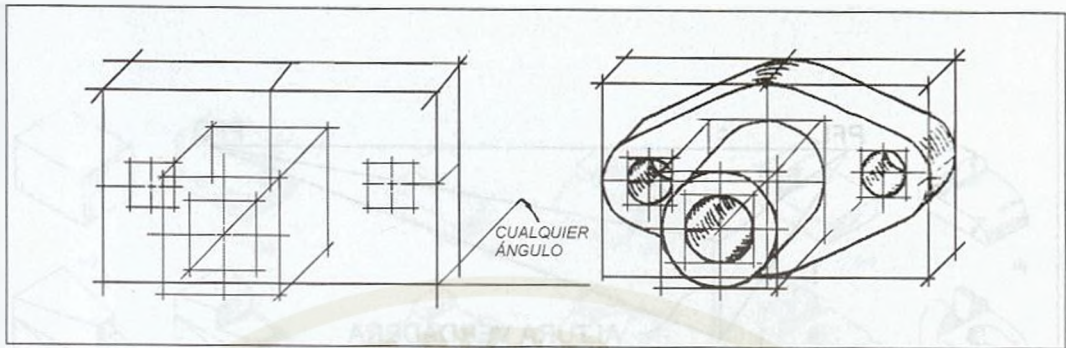


Figura 12.11. Procedimiento para bosquejo oblicuo

Como ayuda importante en el bosquejo isométrico se recomienda usar papel isométrico, el cual tiene la cuadrícula trazada con ejes isométricos, lo que permite ejecutar un bosquejo bien elaborado. Igual sucede con el bosquejo oblicuo, utilizando papel con cuadrícula oblicua.

El bosquejo en perspectiva es una buena opción para dar una imagen tridimensional. Se puede hacer como perspectiva de un punto (Fig. 12.12).

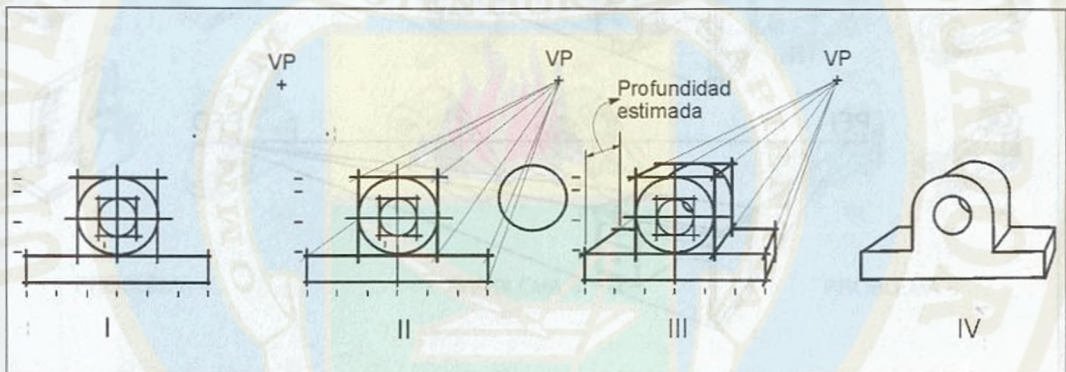


Figura 12.12. Bosquejo en perspectiva de un punto

Para este caso:

1. Dibuje la vista de frente tal y como si fuera una proyección oblicua.
2. Escoja la posición del punto de fuga PF preferiblemente en un punto a la derecha y arriba de la vista frontal. Trace las líneas de fuga.
3. Asuma una profundidad apropiada según las proporciones del objeto y dibuje la parte posterior del mismo. Recuerde que los arcos posteriores son más pequeños que los de primer plano.
4. Finalmente borre las líneas auxiliares y resalte los bordes definitivos del objeto.

En el caso de una perspectiva angular:

1. Asuma la línea de horizonte arriba del objeto y los puntos de fuga lo más alejados posible.

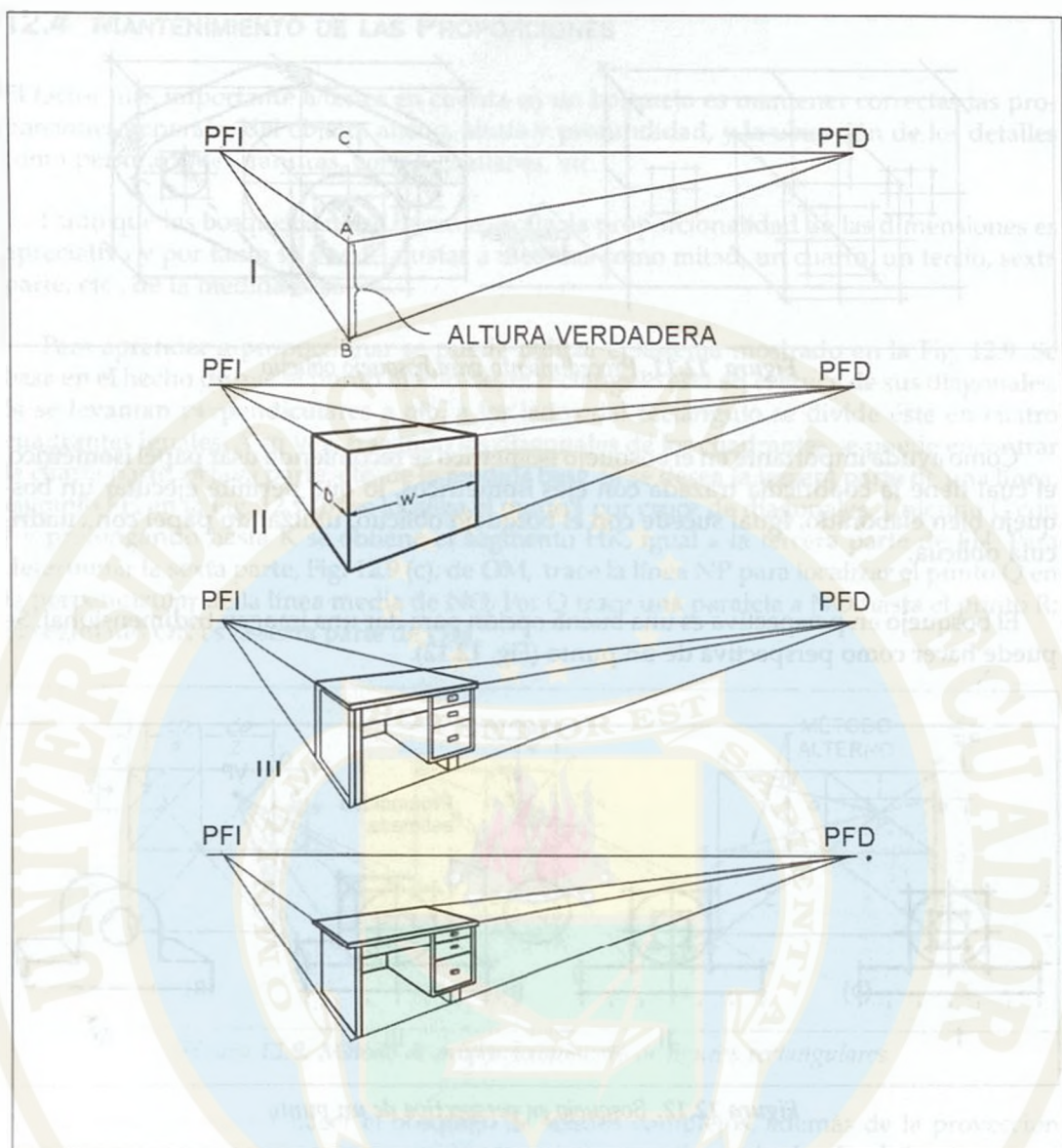


Figura 12.13. Bosquejo en perspectiva angular

2. Ubique a ojo el borde más cercano al observador AB, en una posición que permita ver las caras W y D con claridad. Estime la profundidad D según el objeto y dibuje la caja de construcción.
3. Sobre la caja de construcción termine los detalles conservando las proporciones y posiciones lo más exactas posible, partiendo del principio de que en perspectiva los puntos medios o tercios o cuartos se obtienen, igualmente, construyendo rectángulos y dibujando sus diagonales.

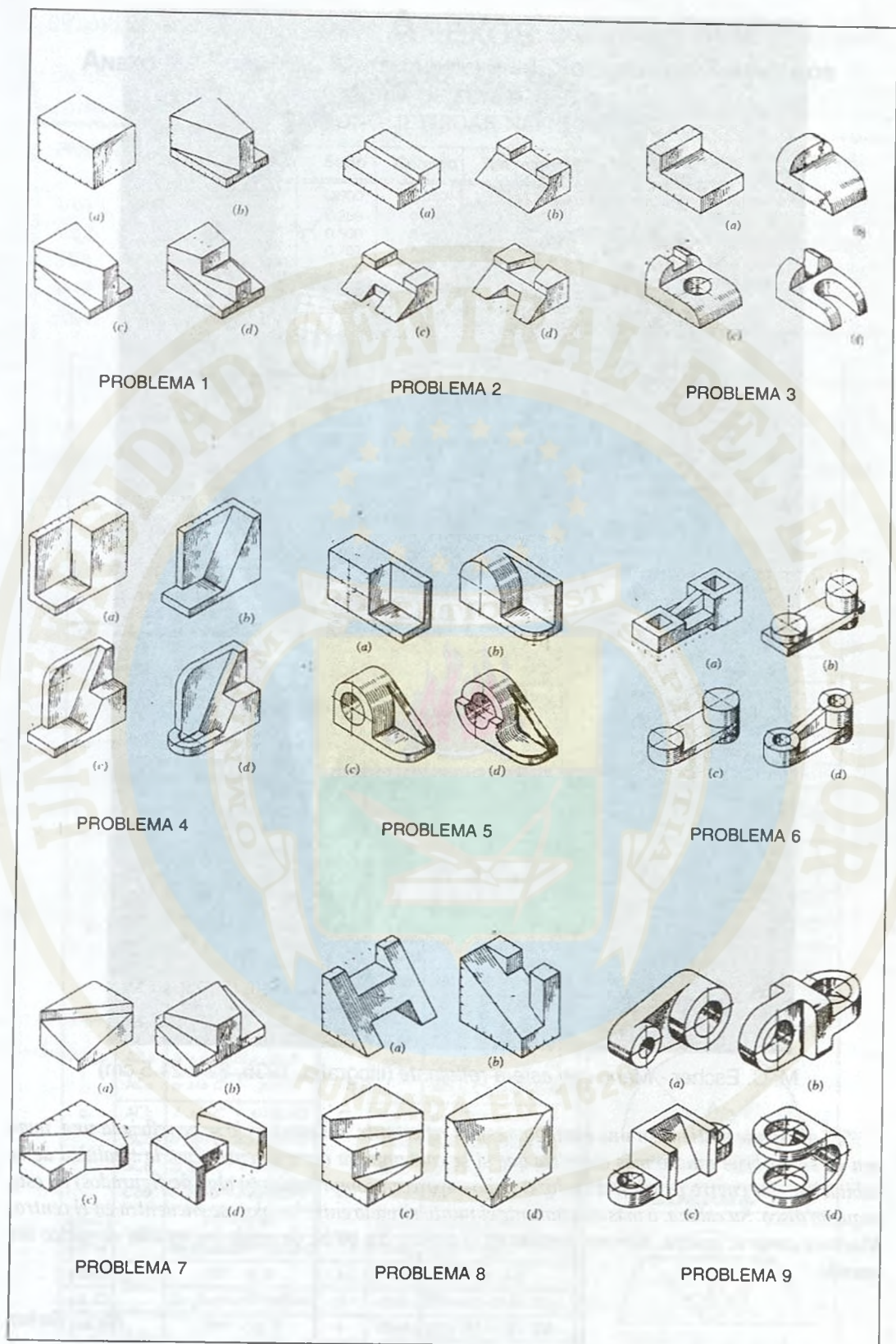


Figura 12.14. Ejercicios de bosquejos a mano alzada



M. C. Escher - *Mano con esfera reflejante* (litografía, 1935, 32 x 21.5 cm)

"El dibujante sostiene en una mano una esfera reflectante. En este espejo se ve reflejada una imagen de su entorno mucho más completa que si se contemplara directamente. Casi la totalidad de la habitación –las cuatro paredes, el suelo, el techo– aparecen comprimidos (y algo desfigurados) en este pequeño disco. Su cabeza, o más exactamente el punto situado entre los ojos, se encuentra en el centro. Muévase como se mueva, siempre quedará en el centro. Su yo es, de modo inexorable, el núcleo del mundo."

M. C. Escher

ANEXOS

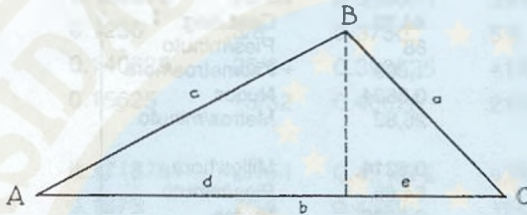
ANEXO 1. FÓRMULAS MATEMÁTICAS PARA SOLUCIÓN DE TRIÁNGULOS

TABLA DE FUNCIONES TRIGONOMÉTRICAS NATURALES

Ángulo	Seno	Coseno	Tangente	Cotangente
0°	0.000	1.000	0.000	1.000
15°	0.259	0.966	0.268	3.732
30°	0.500	0.866	0.577	1.732
45°	0.707	0.707	1.000	1.000
60°	0.866	0.500	1.732	0.577
75°	0.966	0.259	3.732	0.268
90°	1.000	0.000	μ	0.000

TRIÁNGULOS, ARCOS & CUERDAS

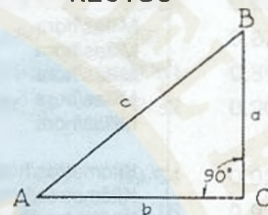
TRIÁNGULOS OBLICUOS



?	DADOS	SOLUCIÓN
a	ABb	$b \sin A = \sin B$
	ABc	$c \sin A = \sin(A+B)$
	ACb	$b \sin A = \sin(A+C)$
	ACc	$c \sin A = \sin C$
	BCb	$b \sin(B+C) = \sin B$
	BCc	$c \sin(B+C) = \sin C$
	Abc	$\sqrt{b^2 + c^2 - 2bc \cos A}$
b	ABa	$a \sin B = \sin A$
	ABc	$c \sin B = \sin(A+B)$
	ACa	$a \sin(A+C) = \sin A$
	ACc	$c \sin(A+C) = \sin C$
	BCa	$a \sin B = \sin(B+C)$
	BCc	$c \sin B = \sin C$
	Bac	$\sqrt{a^2 + c^2 - 2ac \cos B}$
c	ABa	$a \sin(A+B) = \sin A$
	ABb	$b \sin(A+B) = \sin B$
	ACa	$a \sin C = \sin A$
	ACb	$b \sin C = \sin(A+C)$
	BCa	$a \sin C = \sin(B+C)$
	BCb	$b \sin C = \sin B$
	Cab	$\sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cos C}$
$\frac{1}{2}(B+C)$	Abc	$90^\circ - \frac{1}{2}A$
$\frac{1}{2}(A+C)$	Bac	$90^\circ - \frac{1}{2}B$
$\frac{1}{2}(A+B)$	Cab	$90^\circ - \frac{1}{2}C$

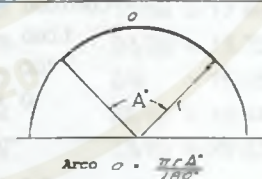
?	DADOS	SOLUCIÓN
A	abcs	$\sin \frac{1}{2}A = \sqrt{\frac{s(s-a)(s-b)(s-c)}{bc}}$
	Bab	$\sin A = a \sin B - b$
	Bac	$\frac{1}{2}(A+C) = \frac{1}{2}(A-C)$
	Cab	$\frac{1}{2}(A+B) = \frac{1}{2}(A-B)$
	Cac	$\sin A = a \sin C - c$
	Abc	$\sin \frac{1}{2}B = \sqrt{\frac{s(s-a)(s-c)-a^2}{bc}}$
	Abc	$\cos \frac{1}{2}B = \sqrt{\frac{s(s-a)(s-c)}{bc}}$
B	Aab	$\sin B = b \sin A - a$
	Abc	$\frac{1}{2}(B+C) = \frac{1}{2}(B-C)$
	Cab	$\frac{1}{2}(A+B) = \frac{1}{2}(A-B)$
	Cac	$\sin B = b \sin C - c$
	Abc	$\sin \frac{1}{2}C = \sqrt{\frac{s(s-a)(s-b)-a^2}{bc}}$
	Abc	$\cos \frac{1}{2}C = \sqrt{\frac{s(s-a)(s-b)}{bc}}$
	Aac	$\sin C = c \sin A - a$
C	Abc	$\frac{1}{2}(B+C) = \frac{1}{2}(B-C)$
	Bac	$\frac{1}{2}(A+C) = \frac{1}{2}(A-C)$
	Bbc	$\sin C = c \sin B - b$
	Abc	$\sin \frac{1}{2}A = \sqrt{\frac{s(s-a)(s-b)(s-c)}{bc}}$
	Abc	$\cos \frac{1}{2}A = \sqrt{\frac{s(s-a)(s-b)(s-c)}{bc}}$
	Aac	$\sin C = c \sin A - a$
	Abc	$\frac{1}{2}(B+C) = \frac{1}{2}(B-C)$
Area	abc	$\frac{1}{2}ab \sin C$
	abc	$\frac{1}{2}bc \sin A$
	abc	$\frac{1}{2}ac \sin B$
	abc	$\frac{1}{2}ab \sin C$
	abc	$\frac{1}{2}bc \sin A$
	abc	$\frac{1}{2}ac \sin B$
	abc	$\frac{1}{2}ab \sin C$

TRIÁNGULOS RECTOS

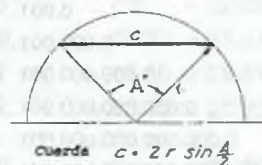


?	DADOS	SOLUCIÓN
A	ab	$\tan A = a/b$
	ac	$\sin A = a/c$
	bc	$\cos A = b/c$
B	ab	$\tan B = b/a$
	ac	$\sin B = b/c$
	bc	$\cos B = a/c$
a	Ab	$b \tan A$
	Ac	$c \sin A$
	Aa	$a = \tan A$
b	Ac	$c \cos A$
	Aa	$a = \sin A$
	Ab	$b = \cos A$
Area	cb	$ab/2$

ARCO



CUERDA



ANEXO 2. FACTORES DE CONVERSIÓN. SISTEMA MÉTRICO - SISTEMA INGLÉS

FACTORES DE CONVERSIÓN

Multiplique	Por	Para obtener
PIES	12	PULGADAS
PIES	30,48	CENTÍMETROS
PULGADAS	2,54	CENTÍMETROS
YARDA	3	PIES
YARDA	0,9144	METROS
MILLAS	5.280	PIES
MILLAS	1.609	METROS
KILÓMETROS	0,6214	Millas
METROS	39,37	PULGADA
METROS	3,28	PIES
METROS	1,0936	YARDAS
CENTÍMETROS	0,39	PULGADAS
Millas/hora	44,70	Cent./seg
Millas/hora	88	Pies/minuto
Millas/hora	1,609	Kilómetros/hora
Millas/hora	0,8684	Nudos
Millas/hora	26,82	Metros/minuto
Kilómetros/hora	0,6214	Millas/hora
Kilómetros/hora	54,68	Pies/minuto
Kilómetros/hora	0,5396	Nudos
NUDO	1,1515	Millas por hora
NUDO	1,8532	Kilómetros/hora
ACRES	0,4047	HECTÁREAS
ACRES	4,840	YARDAS ²
ACRES	43,560	PIES ²

PREFIJOS DE UNIDADES INTERNACIONALES

Factor de multiplicación	Prefijo	Símbolo	Expresión
1.000.000.000.000.000.000 = 10 ¹⁸	EXA	E	Un trillón
1.000.000.000.000.000 = 10 ¹⁵	PETA	p	Mil billones
1.000.000.000.000 = 10 ¹²	TERA	T	Un billón
1.000.000.000 = 10 ⁹	GIGA	G	Mil millones
1.000.000 = 10 ⁶	MEGA	M	Un millón
1.000 = 10 ³	KILO	K	Mil
100 = 10 ²	HECTO	h	Cien
10 = 10	DECA	DA	Diez
0,1 = 10 ⁻¹	DECI	d	Décimo
0,01 = 10 ⁻²	CENTI	c	Centésimo
0,001 = 10 ⁻³	MILI	m	Milésimo
0,000.001 = 10 ⁻⁶	MICRO	m	Millonésimo
0,000.000.001 = 10 ⁻⁹	NANO	n	Mil millonésimo
0,000.000.000.001 = 10 ⁻¹²	PICO	p	Billonésimo
0,000.000.000.000.001 = 10 ⁻¹⁵	FEMTO	f	Mil billonésimo
0,000.000.000.000.000.001 = 10 ⁻¹⁸	ATTO	a	Trillonésimo

ANEXO 3. FACTORES DE CONVERSIÓN

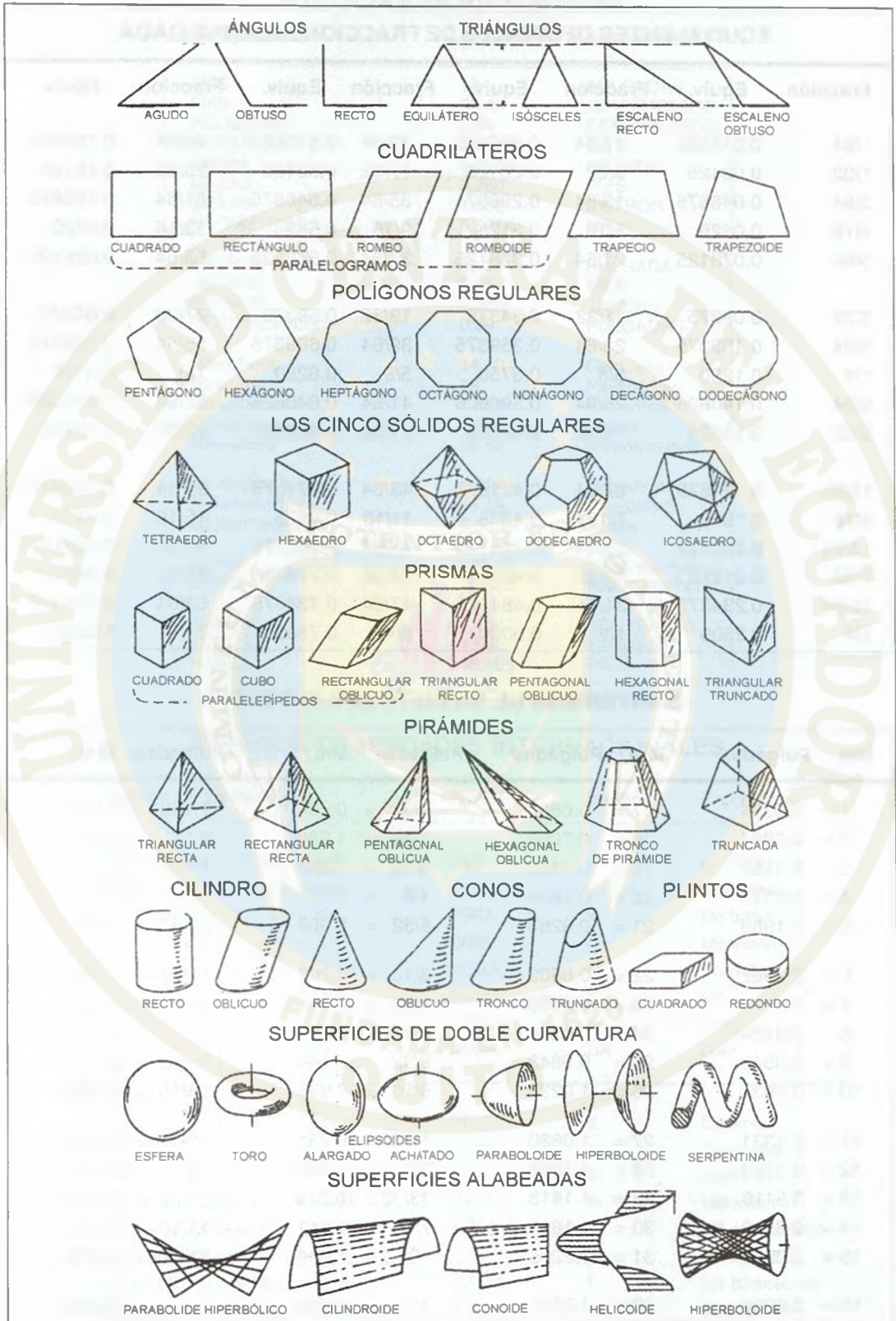
EQUIVALENTES DECIMALES DE FRACCIONES DE PULGADA

Fracción	Equiv.	Fracción	Equiv.	Fracción	Equiv.	Fracción	Equiv.
1/64	0.015625	17/64	0.265625	33/64	0.515625	49/64	0.765625
1/32	0.03125	9/32	0.28125	17/32	0.53125	25/32	0.78125
3/64	0.046875	19/64	0.296875	35/64	0.546875	51/64	0.796875
1/16	0.0625	5/16	0.3125	9/16	0.5625	13/16	0.8125
5/64	0.078125	21/64	0.328125	37/64	0.578125	53/64	0.828125
3/32	0.09375	11/32	0.34375	19/32	0.59375	27/32	0.84375
7/64	0.109375	23/64	0.359375	39/64	0.609375	55/64	0.859375
1/8	0.1250	3/8	0.3750	5/8	0.6250	7/8	0.8750
9/64	0.140625	25/64	0.390625	41/64	0.640625	57/64	0.890625
5/32	0.15625	13/32	0.40625	21/32	0.65625	29/32	0.90625
11/64	0.171875	27/64	0.421875	43/64	0.671875	59/64	0.921875
3/16	0.1875	7/16	0.4375	11/16	0.6875	15/16	0.9375
13/64	0.203125	29/64	0.453125	45/64	0.703125	61/64	0.953125
7/32	0.21875	15/32	0.46875	23/32	0.71875	31/32	0.96875
15/64	0.234375	31/64	0.484375	47/64	0.734375	63/64	0.984375
1/4	0.2500	1/2	0.5000	3/4	0.7500	1	1.0000

CONVERSIÓN DE MILÍMETROS A PULGADAS

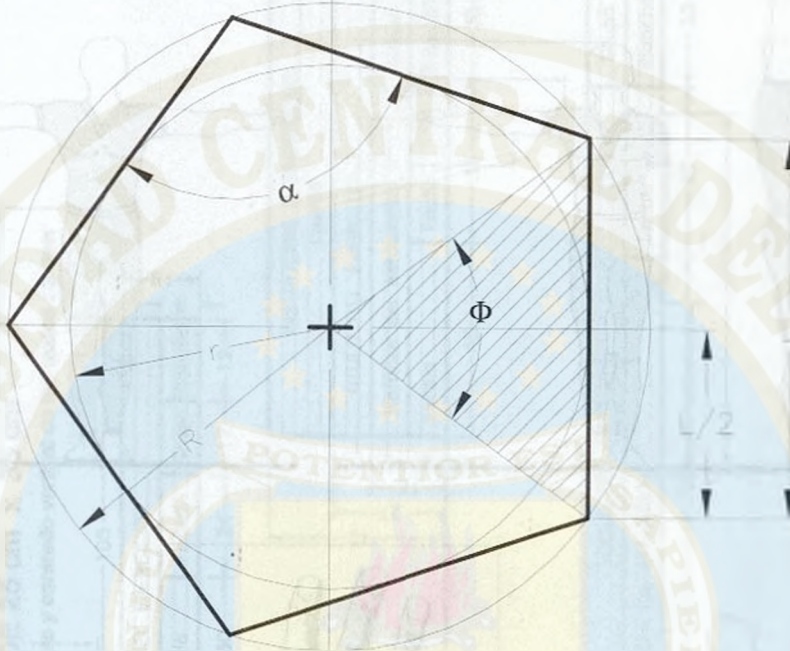
Mm	Pulgadas	Mm	Pulgadas	Pulgadas	Mm	Pulgadas	Mm
1 =	0.0394	17 =	0.6693	1/32 =	0.794	17/32 =	13.494
2 =	0.0787	18 =	0.7087	1/16 =	1.588	9/16 =	14.288
3 =	0.1181	19 =	0.7480	3/32 =	2.381	19/32 =	15.081
4 =	0.1575	20 =	0.7874	1/8 =	3.175	5/8 =	15.875
5 =	0.1969	21 =	0.8268	5/32 =	3.969	21/32 =	16.669
6 =	0.2362	22 =	0.8662	3/16 =	4.762	11/16 =	17.462
7 =	0.2756	23 =	0.9055	7/32 =	5.556	23/32 =	18.256
8 =	0.3150	24 =	0.9449	1/4 =	6.350	3/4 =	19.050
9 =	0.3543	25 =	0.9843	9/32 =	7.144	25/32 =	19.844
10 =	0.3937	26 =	1.0236	5/16 =	7.938	13/16 =	20.638
11 =	0.4331	27 =	1.0630	11/32 =	8.731	27/32 =	21.431
12 =	0.4724	28 =	1.1024	3/8 =	9.525	7/8 =	22.225
13 =	0.5118	29 =	1.1418	13/32 =	10.319	29/32 =	23.019
14 =	0.5512	30 =	1.1811	7/16 =	11.112	15/16 =	23.812
15 =	0.5906	31 =	1.2205	15/32 =	11.906	31/32 =	24.606
16 =	0.6299	32 =	1.2599	1/2 =	12.700	1 =	25.400

ANEXO 4. FIGURAS GEOMÉTRICAS FUNDAMENTALES



ANEXO 5. POLÍGONOS REGULARES INSCRITOS/CIRCUNSCRITOS EN UN CÍRCULO

Dados L = lado del polígono
 R = radio del círculo circunscrito
 n = número de lados del polígono
 r = radio del círculo inscrito (apotema)

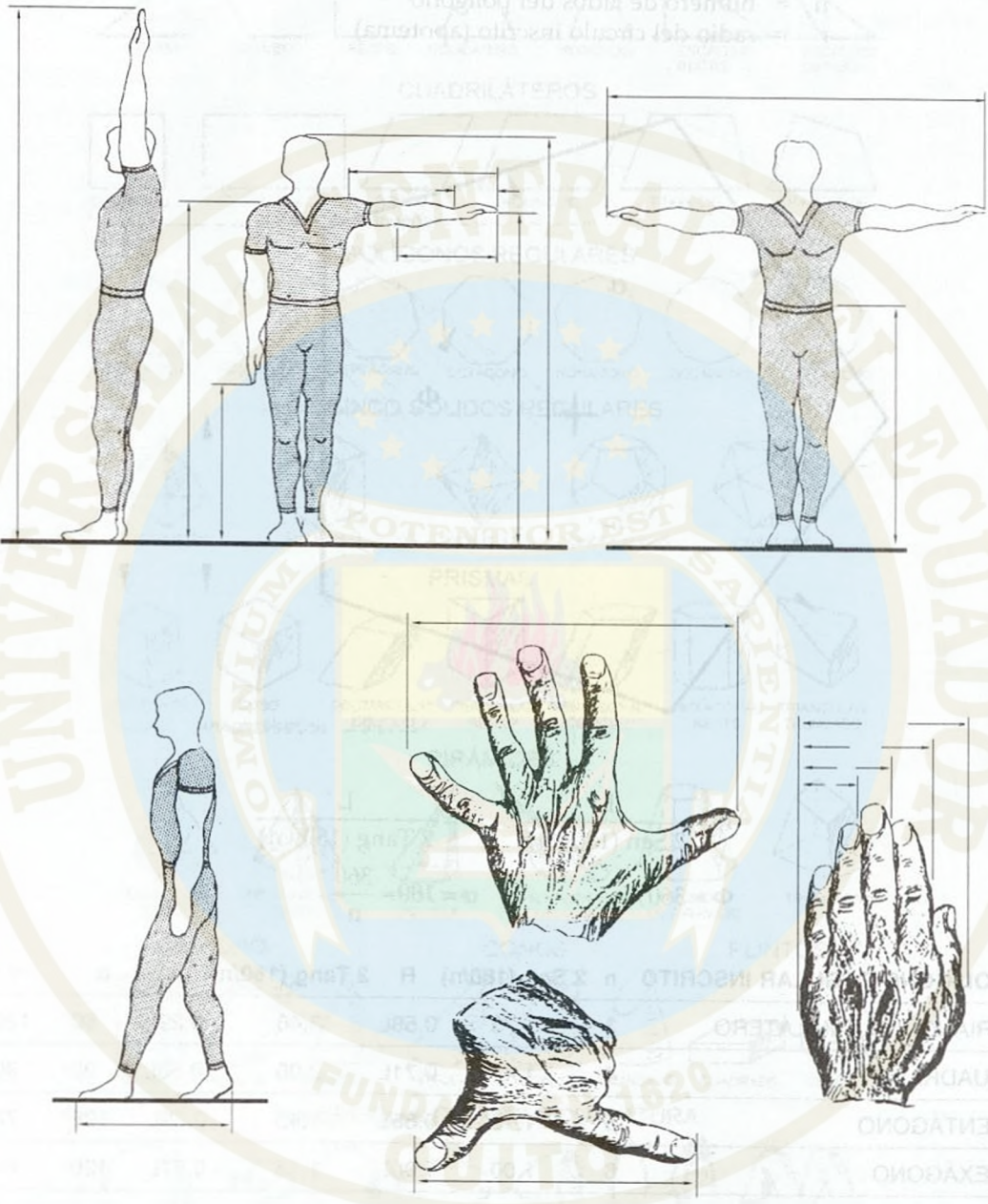


$$R = \frac{L}{2 \operatorname{Sen} (180 / n)} \quad r = \frac{L}{2 \operatorname{Tang} (180 / n)}$$

$$\Phi = 360 / n \quad \alpha = 180 - \frac{360}{n}$$

POLÍGONO REGULAR INSCRITO	n	2 Sen (180/n)	R	2 Tang (180/n)	r	α	Φ
TRIÁNGULO EQUILÁTERO	3	1,73	0.58L	3,46	0.29L	60°	120°
CUADRADO	4	1,41	0.71L	2,00	0.50L	90°	90°
PENTÁGONO	5	1,18	0.85L	1,45	0.69L	108°	72°
HEXÁGONO	6	1,00	1.00L	1,15	0.87L	120°	60°
HEPTÁGONO	7	0,87	1.15L	0,95	1.04L	128,6°	51,4°
OCTÁGONO	8	0,77	1.30L	0,83	1.20L	135°	45°
DECÁGONO	10	0,62	1.61L	0,65	1.54L	144°	36°
DODECÁGONO	12	0,52	1.92L	0,54	1.85L	150°	30°

ANEXO 6. FICHA ANTROPOMÉTRICA



The diagrams illustrate the following measurements:

- Stature:** Total height of the person standing with arms at their sides.
- Arm Span:** Distance between the tips of the middle fingers with arms extended horizontally.
- Wing Span:** Distance between the tips of the middle fingers with arms extended horizontally and slightly away from the body.
- Reaching Height:** Height of the person standing with one arm extended vertically upwards.
- Hand Length:** Length of the hand from the base of the thumb to the tip of the middle finger.
- Hand Breadth:** Width of the hand across the widest part, excluding the thumb.
- Foot Length:** Length of the foot from the heel to the longest toe.
- Foot Breadth:** Width of the foot at its widest part.

FICHA ANTROPOMÉTRICA	NOMBRE _____	FECHA _____

ANEXO 7. FORMATO PARA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS

PLANCHA DE 25 cm x 35 cm

Dimensiones en milímetros - Altura y centrado vertical de los textos : 3 mm

FORMATO - 4

INSTITUCION (UNIVERSIDAD)		TITULO DEL EJERCICIO	
Nombre del estudiante	Escala	Fecha	Grupo Plancha

FORMATO - 3

INSTITUCION (UNIVERSIDAD)		TITULO DEL EJERCICIO	
Nombre del estudiante	Escala	Fecha	Grupo Plancha

FORMATO - 2

INSTITUCION (UNIVERSIDAD)		TITULO DEL EJERCICIO	
Nombre del estudiante	Escala	Fecha	Grupo Plancha

FORMATO - 1

TITULO DEL EJERCICIO		Nombre del estudiante	
Fecha	Grupo	Plancha	Plancha

ÍNDICE

A

Acotamiento 183, 188, 193
 continuo 194
 de ángulos 187
 de círculos 195
 de curvas 198
 isométrico 221
 por coordenadas 195
 por línea base 194
 Afilar la mina del compás 34
 Alberti 21
 Alfabeto
 griego 66
 latino 57
 Altura 60, 63, 65, 72, 76, 143, 186, 192, 214, 254,
 255, 274
 Ampliación 41, 199
 Ancho 60, 143, 183, 192, 274
 Anexos 279
 Ángulo 29, 31, 60, 70, 74, 76, 83, 85, 88, 142, 148,
 162, 187, 188, 211
 de rotación 219, 241
 diedro 148, 150
 recto 83, 88, 143, 170, 184, 237, 239
 Antropométrica 271, 284
 Arco 69, 74, 90, 95, 188, 216, 279
 en isométrica 216
 tangente 87, 88
 Archivos *raster* 102
 Áreas adyacentes 157
 Aristas 156
 inclinadas 160
 oblicuas 160
 ocultas 154, 209
 paralelas 161
 Arquímedes 132
 Asíntota 127
 AutoCAD 104, 106, 111, 172

B

Barras de herramientas 105, 106
 Bigotera 25, 34
 Bisecar 69
 un ángulo 70
 una recta 69
 Bosquejos 98, 269, 270
 British Imperial System 46
 Brocha de dibujante 25, 27
 Brunelleschi 21

C

Cabinet 228, 230, 231
 CAD 98, 99, 100, 111
 CADD 98, 103, 105, 111
 Caja
 de construcción 208, 210, 212
 de vidrio 143, 144, 150
 Calibradores 191
 CAM 99
 Cavalier 228, 229
 Centrado del texto 66
 Centro
 de visión 249, 251
 falso 189
 Cifras de dimensión 186, 187, 223
 Cilindros 164, 190, 191
 CIM 99
 Cinta métrica 83, 272
 Círculo(s) 86, 195, 262
 circunscrito 74, 92, 93
 en Perspectiva 262
 inscrita 74, 93
 Circunferencia tangente 76
 Comandos 101, 105
 Comilla 47
 Compás 27, 33
 de proporciones 26
 uso del, 33
 Computador 41, 98, 103
 Concepción espacial 151

Contornos 142, 189, 228
 Coordenadas 195, 204
 Cortes 171, 242
 convencionales 242
 Curva (s)
 en isométrica 213
 inversa 91
 parabólicas 125, 126
 Curvígrafo 116

D

Decágono regular 136, 174
 Declive 188
 Detalle 199
 Dibujo
 artístico 19
 isométrico 154, 206, 209, 216
 técnico 19, 21, 27, 37, 227
 Diseño 98, 125
 Dividir
 un círculo en partes iguales 97
 una recta 82
 Dodecaedro 171, 172

E

Ejes
 de una elipse 122
 isométricos 206, 207, 208
 Elipse 115, 116, 117, 119, 120, 121, 122, 164, 216, 271
 aproximada 119, 215
 isométrica aproximada 215
 verdadera en isométrica 214
 Empalmes 87
 Equipo de dibujo 23
 Escala(s) 40, 44, 50, 52
 gráficas 45
 isométrica 206, 207
 Escalera helicoidal 134
 Escalímetro(s) 42
 de abanico 43
 triangulares 26, 43
 Escáner 99, 102
 Escritura jeroglífica 18, 57
 Escuadra 23, 25, 29, 63, 86
 regulable 25
 Espacio(s)
 curvos 166
 entre letras 65
 Espiral 131, 132
 Esquina 147, 156, 157
 Estilos de letras 58
 Explosión 220
 Extremos redondeados 200

F

Factores de conversión 280
 Ficha antropométrica 272, 284
 Figuras
 anidadas 196
 equivalentes 78
 geométricas 107, 136, 282
 internas 196
 Flechas 186
 Foco(s) 116
 de la hipérbola 127
 Formas
 misceláneas 192
 prismáticas 190
 Formatos 35, 37
 Fórmulas matemáticas 279
 Fracciones 64, 281

G

Geometría descriptiva 21, 22
 Goniómetro 25
 Gudea 20

H

Hélice 129, 130
 derecha 130
 izquierda 130
 Hexaedro 171
 Hexágono 78, 93
 Hipérbola 126, 127, 129
 equilátera 128
 Horizonte 249, 252

I

Icontec 37, 39
 Icosaedro 171, 174
 Intersección 70, 87, 118, 144, 156, 208, 260
 Involuta 131
 ISO-A 148, 149, 181
 ISO-E 148, 150, 151
 Isométrica 205, 209, 211, 214, 219, 238, 270
 en explosión 220

J

Jeroglíficos 18, 57

L

Lápiz electrónico 99, 100, 101
 Le Corbusier 137
 Lenguaje gráfico 17, 21, 151
 Leonardo Da Vinci 17, 21, 23, 137, 138
 Letras 57, 58, 59, 60, 65
 inclinadas 58

- mayúsculas 58, 59, 61, 62
minúsculas 60, 61
- Línea(s)**
base 194
de dimensión 183, 184, 221, 270
de doblaje 145
de extensión 183, 184, 195, 221
de guía 59, 62, 65, 221
de horizonte 251, 258
de referencia 146, 168, 194
de tierra 251, 259
mitra 146
no isométricas 207, 210
- Luz** 107, 123
- M**
- Mano alzada 91, 269
Mediciones 51, 271
Medidas de la mano 272
Menús 105, 106
Método(s)
del paralelogramo 117, 127
de proyección 203
Micrómetros 191
Milla 47
Modelos 102, 107, 153
Monge, Gaspard 21
- N**
- Norma alemana 35
Norma americana 35, 59
Norma ANSI/ASME 193
- O**
- Objetos**
anidados 209
irregulares 212, 213
Octaedro 171, 172
Octágono 94
- P**
- Pantalla AutoCAD 106
Papel 27, 35, 37, 50, 53
Parábola 115, 123, 124
Paralelogramo 117, 124
Partenón de Atenas 137
Paso 130, 229
Pendiente 61, 160, 188
Pentágono 76, 92
estrellado 136
Perfiles 198
Pernos 243
Perpendicular 31, 76, 83, 237
Perspectiva 204, 249, 250, 251, 253, 255, 256
aérea 257
angular 256, 257, 258
de un punto 256
paralela 251, 256, 258
- Pie** 50, 51
- Plano(s)**
arquitectónico 49, 108
auxiliar 167
cortante 234, 240
de proyección 141, 143, 204, 249, 251
de referencia 169, 170
estructural 48
isométricos 206
- Plantilla**
de borrado 24
de elipses 23, 121, 218
- Plotter** 102
- Poliedros regulares** 171
- Polígono(s)** 95, 283
regulares 283
inscritos 283
- Prefijos** 280
de unidades internacionales 280
- Primer ángulo diedro** 148, 150
- Prismas** 189
- Profundidad** 143, 145, 146, 228, 274
- Programas raster-to-vector** 102
- Proporción áurea** 135
- Proporciones** 26, 135, 136, 274
- Proyección**
axonométrica 204
diédrica 148
dimétrica 204
isométrica 204, 205, 220
oblicua 204, 227, 229, 230, 275
ortográfica 141, 228, 233, 238, 274
trimétrica 204
- Proyecciones** 141, 142, 144, 161, 177, 178, 179
múltiples 156, 177, 178
- Proyectores** 141, 168
- Puck** 100, 101, 105
- Pulgada** 46, 47, 50, 178
- Punto de fuga** 249, 253, 255, 260
- Punto de vista** 110, 249, 252
- R**
- Radio quebrado 198
Recta equivalente 95
Rectángulo dorado 136, 137
- Rectas**
horizontales 27
inclinadas 29
paralelas 30, 31
perpendiculares 31
verticales 28
- Rectificar**
un arco 95

una curva 96
Regla T 23, 27, 70
Relación armónica 135
Resortes 243
Roturas 237

S

Sección transversal 233, 234, 235
Secciones
alineadas 240
cónicas 115, 262
Selección de escala 46
Serie de Fibonacci 138
Símbolo ISO-A 150
Símbolo ISO-E 151
Sistema

alineado 187, 188
inglés 35, 46, 50, 52, 280
métrico 35, 40, 44, 51, 280
unidireccional 187, 189

Superficies

de forma similar 157
inclinadas 159
normales 158, 207
oblicuas 160, 163

T

Tablero profesional 26
Tableta digitalizadora 99
Tablilla afilaminas 33
Taladros 193
Tamaño
comerciales del papel 37
del papel 35, 270
Tangente(s) 76, 85, 124, 125
a la hipérbola 129
a una elipse 120
a una parábola 124

Técnica del bosquejo 270
Tercer ángulo diedro 148
Tetraedro 171
Texto 58, 59, 66, 67, 221
Tipos de líneas 37, 38
Tornillos 131, 243
Transferencia de dimensiones 146
Trapezio(s) 74
escaleno 74
isósceles 74
Trazadores 102
Triángulo(s)
isósceles 72
equiláteros 172
Tuercas 243

U

U.S. Customary System of Units 46
Unidades homogéneas 53

V

Vista(s)
de fondo 145
de frente 143, 144, 145, 152, 177, 190, 240, 255
de techo 142, 168, 238, 240, 255, 256, 260
lateral derecha 148
lateral izquierda 149
posterior 144
auxiliares 166, 167
ortográficas 103, 145, 150
Visuales 141, 203, 249
Visualización 151, 152
Vitruvius 20

Y

Yarda 46

Créditos de las figuras

Giesecke - Mitchel - Spencer. TECHNICAL DRAWING, The McMillan Company, New York, USA.
Thomas French, Charles Vierk, Robert Foster. ENGINEERING DRAWING AND GRAPHIC TECHNOLOGY.
MacGraw-Hill, Inc., New York, USA.

Parramón Ediciones S.A., EL GRAN LIBRO DE LA PERSPECTIVA. Barcelona, España.

B-Leighton Wellman. TECHNICAL DESCRIPTIVE GEOMETRY. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York, USA.

Ernst Neufert. ARTE DE PROYECTAR EN ARQUITECTURA. Editorial Gustavo Gili S.A., Barcelona, España.

El autor deja constancia de la utilización ya sea total, parcial o como orientación en muchos de los temas tratados en este libro, de dibujos e ilustraciones tomados de los textos y autores antes mencionados.

[illegible]



ESTE LIBRO ES PROPIEDAD DEL SIB-UCE
SU VENTA ES PENADA POR LA LEY

FABIO ROMERO MONJE

Ingeniero civil de la Universidad Nacional de Colombia. A lo largo de más de tres décadas de experiencia profesional y de docencia universitaria ha dedicado tiempo, esfuerzo y estudio al dibujo de ingeniería, a la geometría descriptiva y al dibujo asistido por computador (CAD). Además, su permanente actualización en la tecnología de computadores para manejo de la expresión gráfica le da la idoneidad que se requiere en el desarrollo de programas académicos e industriales para el fomento de estas disciplinas.

Desde 1990 se halla vinculado a la Escuela Colombiana de Ingeniería, donde coordina los programas académicos de la expresión gráfica para las facultades de Ingeniería de la institución.

EL MANUAL

El objeto de esta obra es proporcionar al estudiante de ingeniería y de carreras técnicas intermedias, desde un enfoque teórico-práctico, los conocimientos geométricos básicos de aplicación universal, necesarios para dibujar y diseñar con precisión en el amplio campo de la ingeniería, la arquitectura y el diseño industrial. Está escrito para ser utilizado como manual de consulta y aprendizaje de los fundamentos del dibujo de ingeniería en un primer curso universitario y, como tal, se usa para introducir al estudiante de carreras técnicas en esta disciplina.

El libro contiene una amplia gama de ejercicios prácticos para desarrollar en forma escalonada, pasando de lo sencillo hacia lo complejo, guiando al estudiante en forma lógica para adquirir habilidad y destreza en el dibujo técnico. Se enfatiza en la necesidad de iniciar dibujando manualmente con instrumentos básicos de dibujo para adquirir seguridad y experiencia y, en una etapa posterior, por medio de los ejercicios de dibujo por



86394