

INTRODUCCIÓN A LA ELECTROMECAÁNICA MINERO- METALÚRGICA

José Rafael Pérez Barreto



INTRODUCCIÓN A LA ELECTROMECAÁNICA MINERO- METALÚRGICA

C. Dr. José Rafael Pérez Barreto



Editorial
Pueblo y Educación

PRÓLOGO

La construcción de la base material y técnica del socialismo, es imprescindible para satisfacer de una forma cada vez más completa, las necesidades del hombre en nuestra sociedad; además, la industrialización del país constituye la principal tarea técnico económica de este proceso en la etapa actual.

El desarrollo de una industria minero metalúrgica poderosa, capaz de servir como fuente de exportación y, lo que es más importante aún, de materias primas para la construcción nacional de máquinas, mecanismos, instrumentos, edificaciones y otros medios, es una de las principales líneas del crecimiento económico.

La producción minero metalúrgica es una actividad ardua que se lleva a cabo con complejas máquinas e instalaciones, generalmente de importación, costosas y de difícil adquisición, la cual, al igual que los procesos, se caracteriza por ser grandes consumidores de energía en el país.

La utilización adecuada de los medios de producción y la aplicación de eficientes procesos tecnológicos que incrementen la producción, disminuyan los costos, permitan crear condiciones seguras para el trabajo de los obreros y garanticen el aprovechamiento racional de los recursos minerales y energéticos, exige la preparación de cuadros de alta calificación. Estos cuadros se preparan, en la educación superior cubana, a partir de jóvenes egresados de preuniversitarios u otras instituciones medias superiores, que no conocen con precisión el contenido de su futura profesión.

Este libro está destinado a introducir a los jóvenes que optan por especialidades técnicas superiores, en las peculiaridades de la producción minero metalúrgica, en particular en las especialidades de Beneficio de minerales, metalurgia y electromecánica o Mecánica minero metalúrgica, y puede ser útil a los estudiantes del primer curso de otras especialidades técnico ingenieriles, así como en la elección de futuros estudios a jóvenes graduados de la enseñanza media superior.

El trabajo contiene una serie de materiales de carácter general, relacionados con la técnica y la industria, la actividad estudiantil y profesional, el contenido del trabajo ingenieril y científico, elementos de economía y protección del trabajo, así como de explotación y reparación de instalaciones electromecánicas y de máquinas de transporte, que aunque están dirigidos a la industria minero metalúrgica y de materiales de construcción, pueden ser de utilidad en otras especialidades. También se incluyen temas relacionados con las características generales de la produc-

ción minera, elementos de beneficio de minerales, metalurgia, así como tecnologías para la producción de diferentes metales o concentrados, con interés actual o prospectivo en Cuba.

El autor expresa su agradecimiento a todos los compañeros que de una forma u otra facilitaron la edición de este libro y agradecerá las observaciones críticas que coadyuven al ulterior perfeccionamiento del texto y sean enviadas a la Facultad de Metalurgia electromecánica, del Instituto Superior Minerometalúrgico, en Moa, Holguín.

El autor

Capítulo 1 La técnica y la industria minero metalúrgica

Breve reseña histórica	7
Materiales para la construcción de máquinas	9
Máquinas y sus elementos	11
Las máquinas en la producción minero metalúrgica	20
Ciencia sobre las máquinas	31
Fuentes de energía	36
Breve reseña histórica de la producción minero metalúrgica en Cuba ..	44
Estado actual y perspectivas de la industria minero metalúrgica en Cuba	48

Capítulo 2 De estudiante a profesional

Trabajo del estudiante en el Centro de Educación Superior	54
La enseñanza superior cubana	64
Principales directivas del Partido y del Estado	67
Problema ingenieril	72
Ingeniería, ciencia y técnica	74
Cualidades indispensables del ingeniero. Plan de estudio	76

Capítulo 3 Elementos de minería

Clasificación de las reservas. Pérdidas y empobrecimiento	79
Propiedades físicas de las rocas	81
Elementos y formas de los yacimientos minerales	83
Características generales de la explotación minera	88
Maquinaria minera	102

Capítulo 4 Elementos de beneficio de minerales

Generalidades	132
Procesos de preparación mecánica	137
Procesos de beneficio	143
Otros procesos	154

Capítulo 5 Elementos de metalurgia

Clasificación de los metales y minerales	162
Procesos metalúrgicos	164
Equipamiento hidrometalúrgico	168
Hornos	176

Capítulo 6 Procesos auxiliares. Protección del trabajo. Economía

Transporte de minerales	182
Máquinas y dispositivos para transportar fluidos	197
Suministro y accionamiento eléctrico. Automatización	205
Mantenimiento y reparación de equipos minero metalúrgicos	213
Protección del trabajo. Preservación del medio ambiente	216
Economía, organización y planificación	220

Capítulo 7 Tecnologías de producción

Producción de níquel por lixiviación ácida	223
Producción de níquel por lixiviación amoniacal	230
Producción de concentrado de cromo	240
Producción de concentrado de cobre	242
Producción de hierro y acero	245
BIBLIOGRAFÍA	250

La técnica y la industria minero metalúrgica

Breve reseña histórica

La vida humana no es posible sin la actividad productiva del hombre, es decir, sin el trabajo. Para vivir se necesitan bienes materiales que garanticen la existencia: alimentos, vestidos, abrigos, etc. El hombre los produce con su trabajo, y utilizando instrumentos que son elaborados con materiales que provee la propia naturaleza. La obtención y elaboración de gran cantidad de estos materiales constituyen el contenido de la industria minero metalúrgica.

Para llegar a la etapa actual del desarrollo, el hombre ha tenido que transitar por un periodo que se prolonga por más de un millón de años. Los antropoides, antepasados del hombre, utilizaban el palo, con el objeto de alargar sus extremidades para alcanzar algunos alimentos, o la piedra, que les permitía golpear o, herir en forma más efectiva y segura; pero esta actividad la hacían esporádicamente y los objetos los utilizaban tal como se los ofrecía la naturaleza. Durante milenios fue sistematizando el uso de estos objetos, hasta que aprendió a seleccionarlos; ya no era suficiente un palo cualquiera, sino que era necesario un palo con formas y dimensiones determinadas, y no una piedra cualquiera, sino una piedra afilada. Sin embargo, todo este proceso tenía carácter instintivo. Lenta y gradualmente aprendió no solo a seleccionar los objetos, sino a transformarlos, es decir, a elaborar instrumentos con materiales que obtenía de la naturaleza, con ello apareció el trabajo, que determinó en gran medida su transformación en hombre. A este respecto, Engels, en "El papel del trabajo en la transformación del mono en hombre", coincide en que el trabajo es fuente de toda riqueza, a la par que la naturaleza es proveedora de los materiales que el hombre convierte en riquezas; además, agrega que: "... el trabajo es muchísimo más que eso, es la condición básica y fundamental de toda la vida humana."¹ y lo es en tal grado, que hasta cierto punto debemos decir que el trabajo ha creado al propio hombre.

Poco a poco el hombre ha acumulado experiencia. Descubrió que los objetos fabricados con arcilla conservaban su forma después de haber sido sometidos al

¹ C. Marx y F. Engels, *Obras escogidas*, t. II, p. 294.

fuego y con ello dio un paso de gran importancia en su desarrollo; ya no recogía los materiales solo de forma casual, sino que regresaba a los lugares donde abundaban. La práctica le permitió conocer muchas de las propiedades de estos materiales. En la selección y elaboración de los materiales para la construcción de instrumentos de trabajo, están contenidas las formas más elementales del proceso de producción minera, que constituye una de las actividades más antiguas de la humanidad.

Convencionalmente, el desarrollo de la minería se puede dividir en tres periodos:

a) Período recolector, que concluye con elementos rudimentarios de minería y se caracteriza por la obtención de materiales de forma espontánea para la construcción de instrumentos de producción, así como la obtención y elaboración, en su fase final, de algunos de estos materiales utilizando instrumentos de piedra. Este fue un período largo en la historia de la humanidad. Duró hasta el IV-III milenio a.n.e.

b) El segundo período es el de la minería que utiliza instrumentos metálicos, este concluye con la utilización de mecanismos y dispositivos accionados por la fuerza muscular del hombre y los animales, donde emplea, en su fase final, en forma directa, y si se quiere primitiva, la energía del agua y del viento. Este período, aunque con desarrollo más rápido que el anterior, fue también relativamente largo (III-II milenio a.n.e., hasta el siglo XVIII de n.e.). La fase intermedia entre estos dos períodos mencionados anteriormente, puede unirse en uno que podríamos denominar bioenergético, cuya principal característica es que el instrumento, accionado por el hombre, actúa sobre el objeto de trabajo, es decir: hombre-instrumento-objeto de trabajo.

c) El tercer período se caracteriza no solo por la utilización de mejores materiales para la construcción de instrumentos, mecanismos, dispositivos y máquinas, sino también por la utilización de formas más progresivas de energía. Comienza con la implantación de la máquina de vapor en la segunda mitad del siglo XVIII y se prolonga hasta nuestros días. Es un período de grandes logros científicos y técnicos que han permitido denominar la época actual como la de la revolución científico técnica.

Este último período, en su etapa más reciente, se caracteriza por el paso a la producción automatizada; la electrificación constituye la base de la técnica de la mecanización y automatización de la producción, lo que permite intensificarla, aumentar la productividad de máquinas y equipos, y con ello, en última instancia, la productividad del trabajo.

Este período lo podemos dividir convencionalmente en dos partes: la mecanización, en la cual se introduce la máquina entre el hombre y el instrumento de trabajo, y la automatización de los procesos de producción, en el cual las máquinas que al principio sustituían la fuerza muscular del hombre y de los animales, y que realizaban solo trabajo físico, comienzan a realizar funciones de control y dirección de la producción; esto ha sido posible debido al desarrollo de la electrotecnia, la radiotecnica y otras ramas de la ciencia y la técnica.

Los instrumentos de producción tienen gran importancia en la caracterización de estos períodos. El desarrollo de los instrumentos se produce en dos direcciones fundamentales: los materiales para su construcción y el perfeccionamiento de los propios instrumentos.

Materiales para la construcción de máquinas

La importancia de los materiales en la historia de la humanidad ha sido tal, que se suelen nombrar diferentes períodos sobre la base del principal material utilizado para la construcción de instrumentos de trabajo y de armas. De esta forma se conoce la edad de piedra, la edad de bronce y la edad de hierro. La edad de piedra comprende desde la aparición de los primeros instrumentos y armas de piedra, hasta la difusión de instrumentos de cobre y bronce. Este período ha tenido mayor o menor extensión en diferentes lugares de la tierra (hasta el IV ó III milenio a.n.e.). En función del grado de elaboración de la piedra se diferencian tres períodos: uno inferior, el paleolítico; otro medio, el mesolítico, y uno superior, el neolítico. En el paleolítico el hombre utilizó no más de veinte minerales y llegó a conocer unos cuarenta en el neolítico. La mayoría de estos materiales eran sustancias comunes, no metálicas, encontradas probablemente por casualidad, y no se excluye la posibilidad de que haya utilizado de la misma forma oro y cobre nativo.

El cobre primero y el bronce, aleación de cobre y estaño, después, sustituyeron a la piedra como principal material de construcción de instrumentos y armas. Este metal es conocido por la humanidad dos o tres milenios a.n.e., y su aleación con el estaño dio nombre al período de la historia conocido como la edad de bronce. El hombre lo conoció en forma de cobre nativo y, posteriormente, aprendió a obtenerlo de minerales y a alearlo con el estaño para obtener el bronce. La importancia del cobre no ha disminuido en la actualidad y se usa principalmente en la industria electrotécnica, donde se utiliza ampliamente como conductor. Con la obtención del cobre de diferentes minerales, surge la metalurgia, proceso productivo cuya esencia consiste en la obtención de metales de diferentes compuestos químicos y la separación de todos los componentes no metálicos.

El hierro la humanidad lo conoce hace unos 5000 años, y se utilizó en sustitución del cobre en la fabricación de armas e instrumentos de trabajo. Se obtenía en fraguas abiertas en las que el fuego se avivaba insuflando aire en el hogar, a veces mediante fuelles.

En los siglos XIV y XV se aprendió a utilizar la fuerza del agua para insuflar artificialmente el horno, lo que permitió obtener hierro fundido en altos hornos de cuba. En un principio este hierro no se utilizaba, ya que no se podía forjar, pero posteriormente, aprovechando su propiedad de fundirse a menos temperatura, comenzaron a fabricar objetos sencillos mediante colada. Más tarde se comenzó a utilizar el carbón vegetal para la obtención del hierro maleable a partir del hierro colado (hierro fundido o arrabio). A partir de este período comenzó a desarrollarse la producción de arrabio (hierro bruto) como materia prima para la obtención de acero, así como a mejorarse la construcción de los hornos de cuba y a aumentar su productividad.

La revolución industrial del siglo XVIII provocó un incremento en la producción del hierro; el mejoramiento de sus cualidades impulsó el perfeccionamiento de los métodos de obtención. En particular, el descubrimiento de la máquina de vapor, el desarrollo de la construcción de maquinarias y, sobre todo, el desarrollo de los ferrocarriles, determinaron la producción masiva de este metal, la cual fue posible debido a la sustitución del carbón vegetal por el carbón de piedra: como primero de los grandes combustibles minerales.

Con el desarrollo surge la necesidad de obtener nuevos materiales cuyas propiedades estuviesen en correspondencia con las exigencias de la industria; así se

obtuvo un nuevo metal de gran importancia para la industria moderna, el aluminio. Los compuestos de este metal eran conocidos por la humanidad desde la antigüedad, sin embargo, fue obtenido en forma elemental solo en 1827. Su producción industrial en gran escala comenzó en la penúltima década del siglo XVIII. Su pequeño peso específico, alta conductividad eléctrica, resistencia mecánica, estabilidad a la corrosión, así como su bajo costo, lo han convertido en un material de gran importancia en la industria contemporánea.

El níquel, descubierto en 1751 y cuyas aleaciones con otros metales, en particular con el zinc y el cobre, eran conocidas 200 o 300 años a.n.e., y utilizadas en la fabricación de monedas, prácticamente no se utilizó hasta 1874 cuando comenzó a usarse en joyería y, más tarde, de nuevo en la fabricación de monedas. Su desarrollo posterior está relacionado con el descubrimiento de grandes yacimientos y la ampliación de su campo de utilización para la producción de aceros aleados, la fabricación de acumuladores, etcétera.

Otro de los metales modernos, el titanio, fue descubierto en 1791 y recibió su nombre en 1794. Se obtuvo un titanio de alta plasticidad y gran pureza en 1925 y su producción industrial comenzó en los Estados Unidos en 1948. La producción ha crecido a pasos agigantados, lo que está determinado por la gran utilización de este metal en la fabricación de cohetes y aviones reactivos supersónicos. Sin embargo, sus propiedades lo hacen de aplicación inmediata y con perspectiva para utilizarlo en la construcción de equipos y aparatos de la industria química, y barcos; sus aleaciones se emplean en la aviación, la cohetaría y la construcción de turbinas.

Por último, el uranio es otro metal moderno, de aplicación en la industria atómica. Fue descubierto en 1789, y se obtuvo en forma metálica, por primera vez, en 1841. La radioactividad fue descubierta en 1896 por A.E. Becquerel y dos años más tarde, en 1898, los esposos Curie descubrieron el radio en los minerales de uranio. En 1942 y debido al descubrimiento de la reacción en cadena dirigida, se comenzaron a elaborar minerales para obtener uranio metálico para la industria atómica. Su utilización ha permitido crear una nueva rama de la técnica: la energética atómica.

Otros materiales ocupan un lugar preponderante en la técnica moderna, y se han desarrollado en el siglo XX; a este grupo pertenecen los plásticos que se obtienen, fundamentalmente, de los productos orgánicos, en particular el petróleo, líquido conocido desde la más remota antigüedad, y el cual se empleó principalmente como combustible, pero en cantidades insignificantes, hasta mediados del siglo XIX, cuando surgieron métodos industriales para su obtención y se logró elaborarlo para la producción de queroseno, sustancia que en poco tiempo desplazó todos los productos de origen animal, vegetal o mineral utilizados para la iluminación.

La obtención del queroseno producía dos derivados sin utilización en aquellos tiempos: la gasolina, que era necesario eliminar o quemar, y el mazut (*fuel oil*). La invención del motor de combustión interna cambió por completo esta situación, y ha hecho del petróleo la principal fuente energética de la industria moderna. Esta invención aceleró el desarrollo del transporte automotor y de la aviación, dos colosos de la industria contemporánea.

Por último, existe un grupo de materiales no metálicos de gran importancia en la industria actual, entre los cuales se pueden citar materiales cerámicos, los silicatos y vidrios inorgánicos, el cemento, los materiales de construcción, el asbesto, el grafito, el diamante, etcétera.

Máquinas y sus elementos

La segunda línea de desarrollo de los instrumentos de trabajo, fue el perfeccionamiento de los propios instrumentos. Durante siglos este perfeccionamiento consistió en la variación de la forma, el tamaño y las dimensiones del instrumento para adecuarlo a un proceso de producción dado, en condiciones determinadas, pero además surgieron dispositivos, mecanismos y máquinas capaces de transmitir un movimiento determinado.

En el siglo I a.n.e., comenzaron a aparecer mecanismos y dispositivos con diferentes grados de complejidad, que facilitaban o aceleraban el trabajo. Grandes éxitos se lograron en la construcción de dispositivos y mecanismos para elevar o transportar pesos. En ellos, de forma más o menos ingeniosa, se aplicaba la regla de oro de la mecánica, conforme a la cual, la fuerza que es necesario aplicar para elevar un peso (resistencia), es tantas veces menor cuanto mayor sea el brazo de esta fuerza, con respecto al punto de aplicación, que el brazo del peso que se levanta, con respecto a un mismo punto (Fig. 1.1). Es decir:

$$P = R \cdot \frac{BO}{AO},$$

donde P potencia (fuerza que es necesario aplicar); R resistencia (peso que es necesario elevar); AO brazo de la potencia; BO brazo de la resistencia.

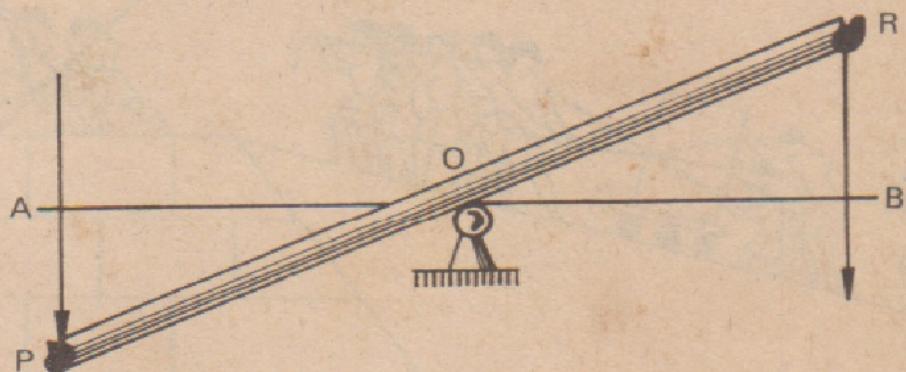


Fig. 1.1 Esquema explicativo de la regla de oro de la mecánica

A este tipo de mecanismos pertenece la palanca en sus tres géneros (Fig. 1.2), elemento de gran importancia muy frecuente en las máquinas modernas. Sus posibilidades son tales que se atribuyen a Aristóteles, célebre filósofo griego del siglo IV a.n.e., la famosa frase: *denme un punto de apoyo y moveré la tierra*, que aunque inexacta técnicamente, muestra la enorme importancia que le prestaban los antiguos a este elemento.

Unas de las obras maestras de la arquitectura y escultura de la antigüedad, conocidas entre las siete maravillas del mundo, son las pirámides de Egipto, y entre ellas sobresale la de Keops, de 147 m de altura, formada por bloques con un peso medio de 2,5 t y máximo de 15 t.

Durante años el hombre moderno trató de explicarse la forma utilizada por los antiguos egipcios para elevar bloques de tal peso y dimensiones en la construcción de las pirámides. Se han supuesto mecanismos basados en la palanca, más o menos complejos, pero la más verosímil de todas estas variantes es la hipótesis de que estos pesos se elevaban a través de rampas de tierra con un ángulo de inclinación de unos 15 grados, y cuyos restos, se afirma, aún pueden distinguirse en algunos lugares (Fig. 1.3).

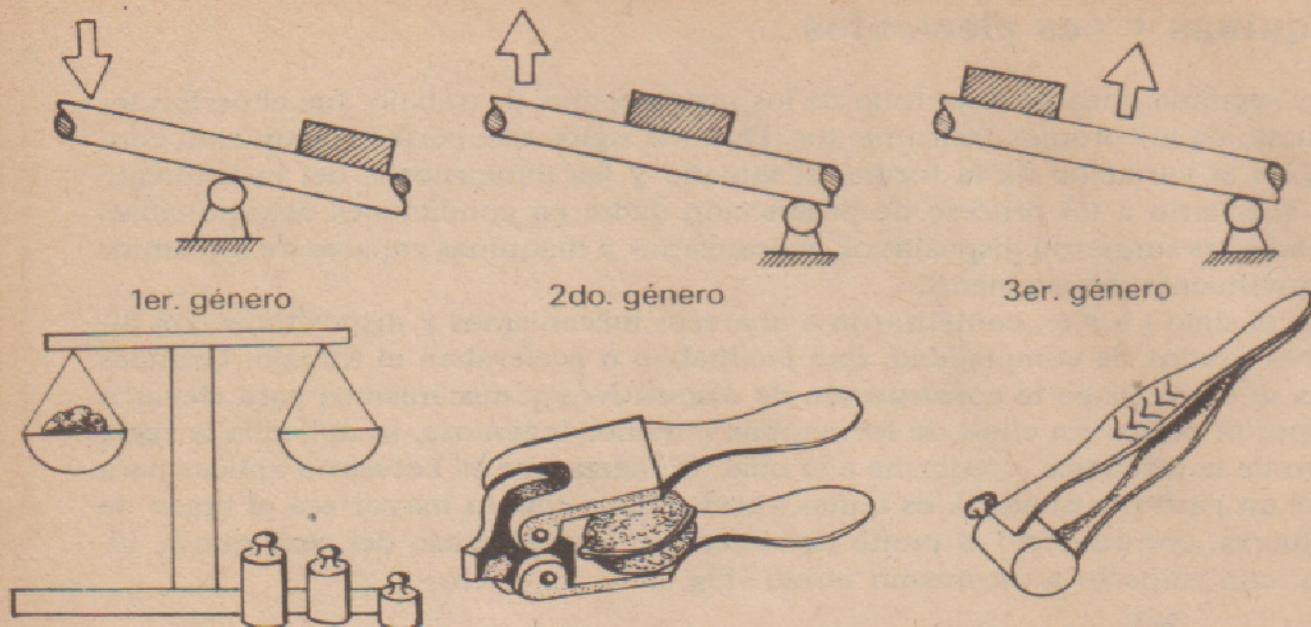


Fig. 1.2 Esquema de la palanca en sus tres géneros

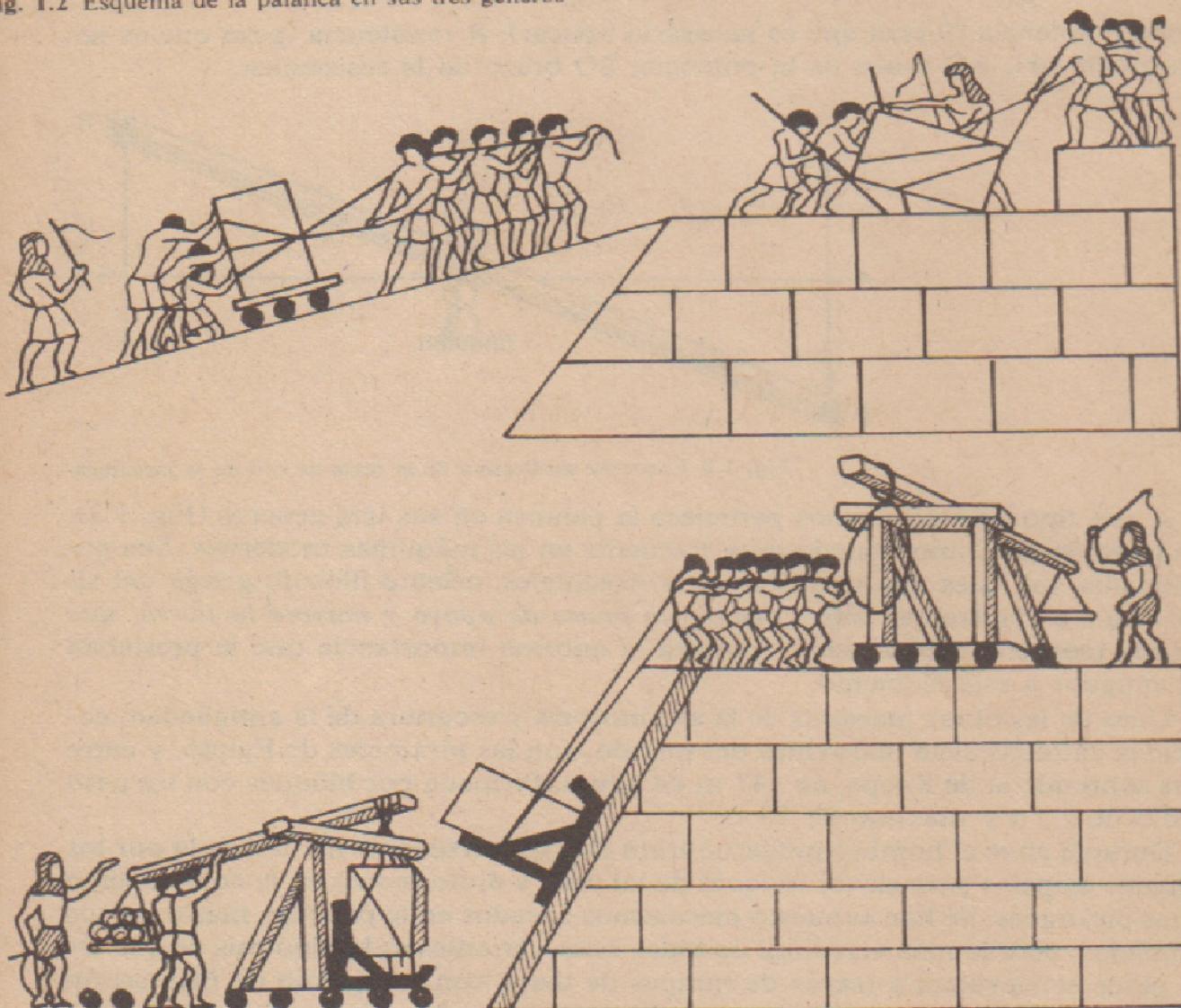


Fig. 1.3 Esquemas de levantamiento de pesos, que supuestamente se utilizaron en la construcción de las pirámides de Egipto

Este método constituye la aplicación grandiosa de otro elemento de importancia descubierto por la humanidad: el plano inclinado, que permite, con menos esfuerzo, vencer la fuerza de gravedad; se basa en que la fuerza (P_1) que es necesario aplicar para mantener un cuerpo en equilibrio sobre el plano, es tantas veces menor al peso (P) del cuerpo, cuantas veces la altura (H) del plano inclinado sea menor que su longitud (L) (Fig. 1.4), es decir que:

$$P_1 = P \frac{H}{L},$$

donde P_1 fuerza aplicada; P peso del cuerpo; H altura del plano; L longitud del plano.

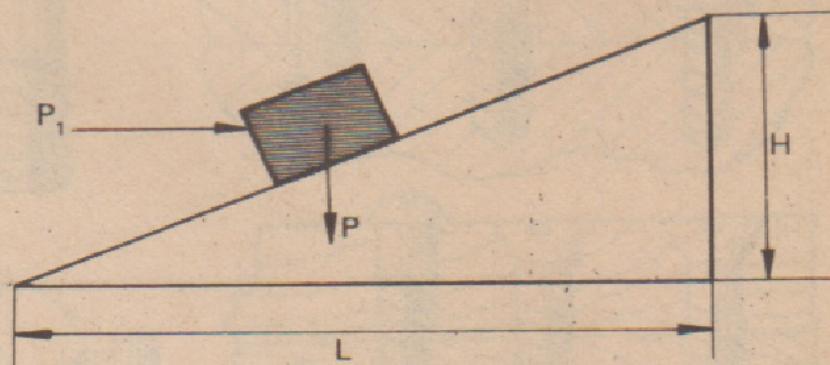


Fig. 1.4 Esquema del plano inclinado

Dicho principio se aplica en un elemento muy frecuente en la maquinaria moderna, el tornillo (Fig. 1.5). Tanto en el plano inclinado como en la palanca, la ganancia en fuerza se logra a costa del recorrido. Es decir, lo que se gana en fuerza se pierde en distancia.

El más importante de todos los elementos de la máquina moderna, desarrollados por el hombre, es la rueda. Esta invención permitió vencer con mucho menos esfuerzo las fuerzas de fricción. Sin embargo, a la rueda el hombre llegó en forma gradual, y algunas civilizaciones muy desarrolladas existentes en América antes del descubrimiento, la desconocían.

El proceso de desarrollo que culminó con la invención de la rueda se muestra en la figura 1.6.

Cuando es necesario transportar pesos, normalmente estos se cargan; si son muy grandes, no es posible cargarlos y entonces se arrastran; pero si la fricción es mucha, arrastrarlos es difícil o imposible. Con el objeto de disminuir la fricción, el hombre ingenió el patín y después el rodillo; pues notó que el peso se movía con mayor facilidad si se rodaba sobre bolos circulares. Más tarde, para disminuir el trabajo relacionado con el traslado de estos bolos, los insertó en cavidades hechas en la plataforma a este efecto. Luego, al ver que no era necesario el bolo completo sino parte de este: la rueda y el eje, que en su comienzo fueron macizas, posteriormente, con el objeto de disminuir su peso, se le cortaba una parte, con lo que aparecieron los radios.

El hombre mezcló elementos y obtuvo mecanismos más o menos complejos. En 1768 se instaló en el antiguo San Petersburgo (actualmente Leningrado) un monumento a Pedro I, frente a la catedral de San Isaac (Fig. 1.7). Para la base hizo falta una roca monolítica de un peso de más de un millar y medio de toneladas, encontrada a unos nueve kilómetros del lugar. Para transportarla se ideó el ingenioso mecanismo que se muestra en la figura 1.8, que indudablemente constituyó uno de los más recientes antecedentes del rodamiento actual.



Fig. 1.7 El jinete de cobre. Monumento de Pedro I, en Leningrado

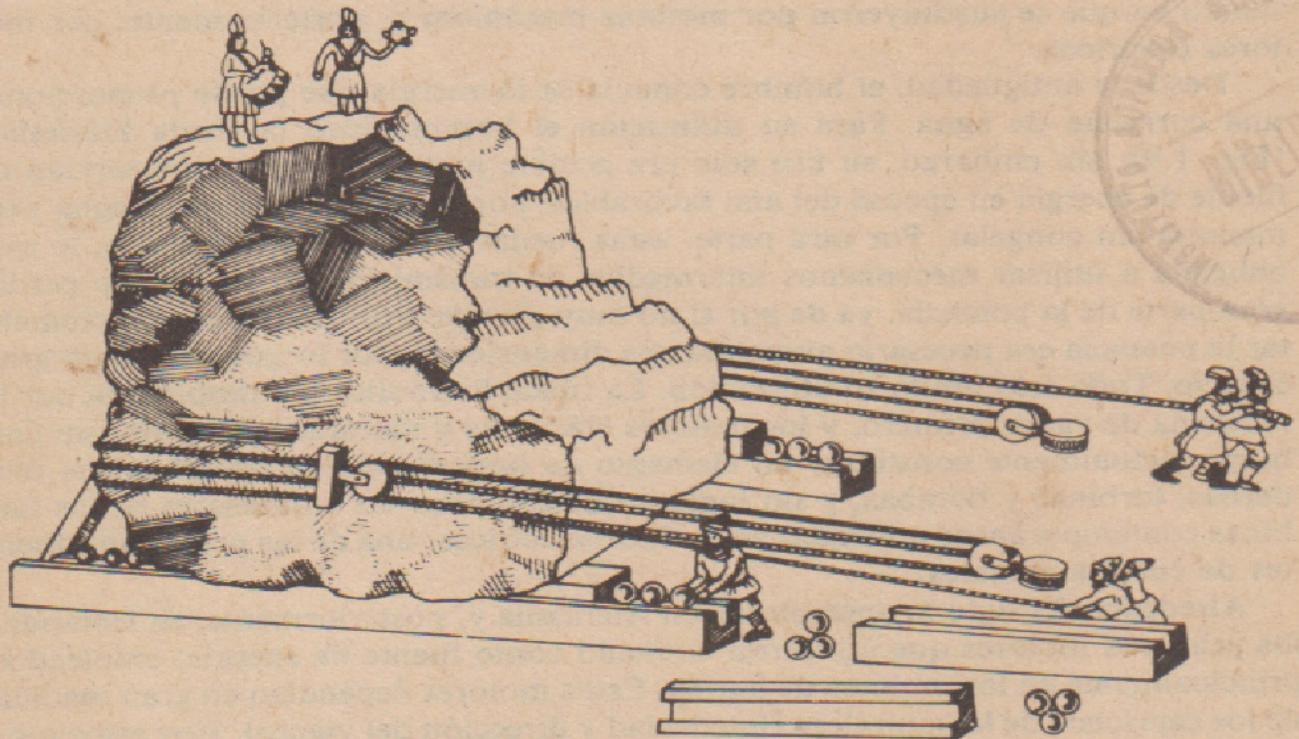


Fig. 1.8 Esquema para el transporte del monolito, base del monumento a Pedro I

Durante años el hombre comprendió la importancia de los mecanismos en la realización de diferentes trabajos y los denominó máquinas. La generalización de conocimientos prácticos condujo a diferentes conceptos que reflejaban solo una u

otra peculiaridad de las máquinas, y por lo tanto, eran limitados. La definición actual incluye el elemento común a todas las máquinas: el instrumento de trabajo, el cual señaló Marx.

Por máquina se comprende cualquier mecanismo que al recibir de una fuente de energía el esfuerzo motor, es capaz de desarrollar con su instrumento de trabajo los movimientos que antes realizaba el mismo instrumento movido por el hombre.

Hoy en día los científicos definen las máquinas motoras como aquellas en las cuales un tipo de energía se transforma en trabajo mecánico indispensable para accionar las máquinas-instrumento, que son aquellas mediante las cuales se cambian las propiedades, el estado, la forma y la situación de la materia prima y los objetos. Aquellas máquinas en las cuales todas las operaciones se realizan con el mecanismo de trabajo, sin la intervención del hombre, el cual es necesario solo para su control, son las máquinas automáticas.

Enorme importancia ha tenido en la historia del hombre el desarrollo de las fuentes de energía, estrechamente relacionadas con las máquinas motoras capaces de utilizar esta energía. Durante milenios el hombre utilizó solamente la energía de sus músculos y, con posterioridad, cuando domesticó animales, comenzó a utilizar la fuerza del caballo, el asno, el mulo, los bueyes, el perro, etc. Para utilizar esta energía, el hombre construyó ingeniosos mecanismos capaces de multiplicar la fuerza de los músculos y cambiar la dirección de esta, sobre todo transmisiones o mecanismos capaces de desarrollar o transmitir potencia desde la fuente de energía. Estos motores vivos existieron hasta la aparición de la máquina de vapor (actualmente, aún se suelen encontrar en trabajos agrícolas o domésticos), momento en que se sustituyeron por motores mecánicos y, posteriormente, por motores eléctricos.

Desde la antigüedad, el hombre conocía de la energía que puede proporcionar una corriente de agua. Para su utilización el hombre ideó la rueda hidráulica (Fig. 1.9); sin embargo, su uso solo era posible junto a los ríos, que servían de fuente de energía en épocas del año favorables; por ejemplo, mientras el agua permanecía sin congelar. Por otra parte, estas ruedas giraban muy despacio, lo que obligaba a utilizar mecanismos intermedios de transmisión en los que se perdía gran parte de la potencia, ya de por sí no muy grande. Por último, para incrementar la potencia era necesario aumentar sus dimensiones, por lo que ocupaban gran espacio. Todo esto limitó su utilización. La rueda hidráulica fue desplazada por la máquina de vapor primero, y los motores eléctricos y mecánicos después; sin embargo, actualmente constituye un elemento de importancia en las máquinas modernas; turbinas y bombas, y sin lugar a dudas fueron los antecesores de las turbinas contemporáneas utilizadas en las hidroeléctricas: una de las principales fuentes de energía actuales.

Alrededor del siglo XI aparecieron en Alemania y, posteriormente, en Holanda, los primeros motores que utilizaron el viento como fuente de energía, empleados principalmente en los molinos de harina. Estos motores dependían en gran medida de los caprichos de la naturaleza (intensidad y dirección del viento). Hoy estos molinos han desaparecido, sin embargo, el motor eólico se utiliza ampliamente en la agricultura en el accionamiento de bombas para extraer las aguas subterráneas; también existen generadores eléctricos accionados con estos motores (Fig. 1.10) y aunque su uso no es muy amplio, la potencia, muy superior a la de los motores antiguos, se ha reducido para las necesidades modernas.

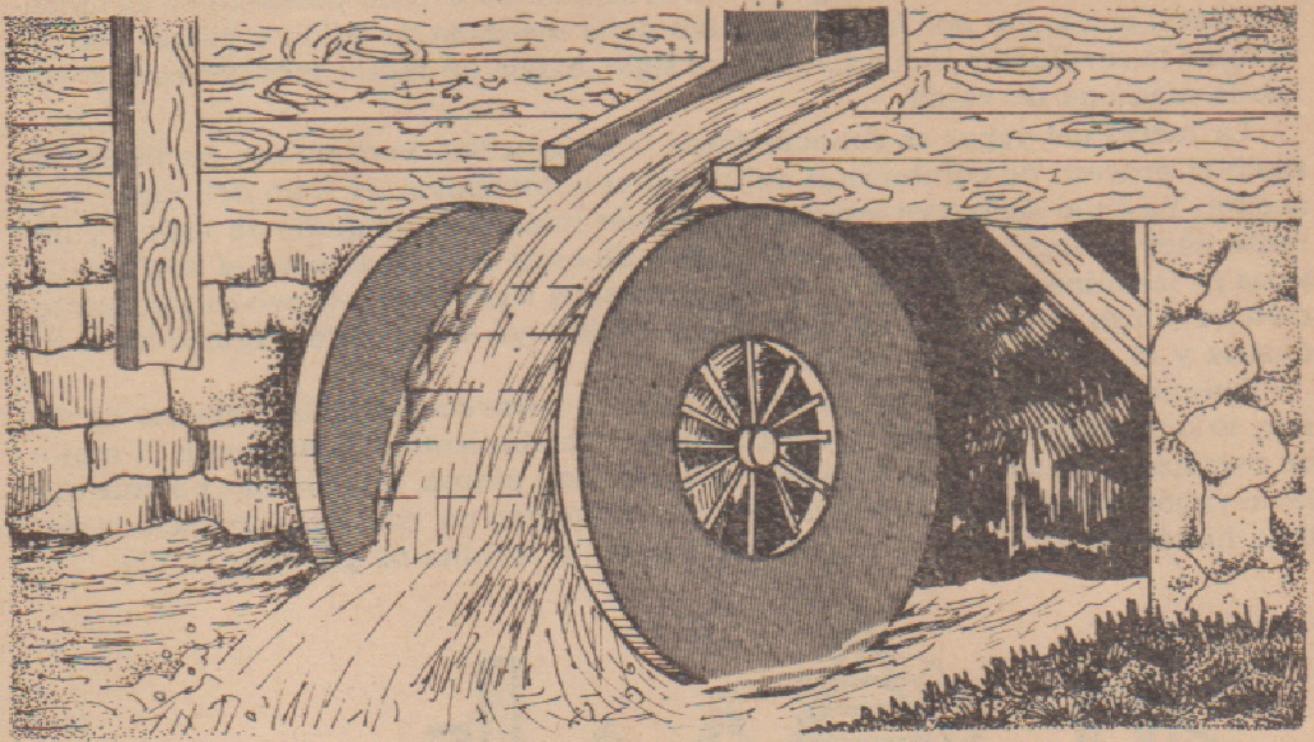


Fig. 1.9 Rueda hidráulica

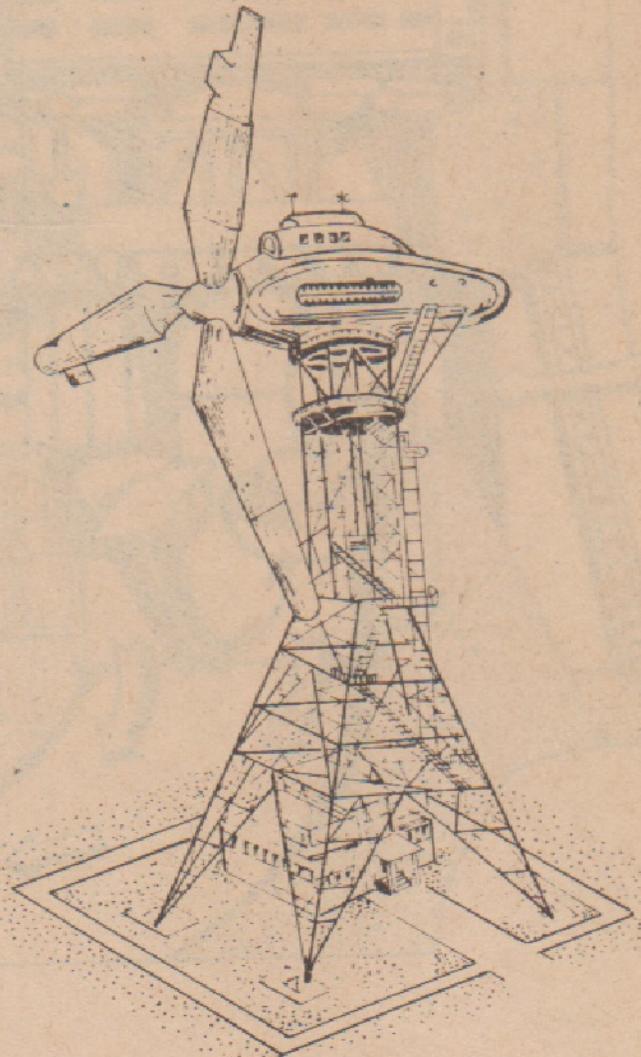


Fig. 1.10 Estación eléctrica eólica

En la segunda mitad del siglo XVIII, el amplio desarrollo obtenido en la industria textil, acelerado por la introducción de la máquina de tejido e hilado que determinó la revolución industrial en este siglo, exigía un motor más perfecto, y este fue la máquina de vapor.

La fuerza del vapor se conocía desde la antigüedad, pero no así, las leyes que rigen el proceso de combustión del material combustible, el flujo del vapor y su acción. Ya en el siglo XVII apareció el primer intento de máquina de vapor, y durante años se logró utilizar algunos tipos de estas máquinas para el achique del agua en las minas de carbón y, Watt, a fines del siglo XVIII, obtuvo una construcción cuyo uso se propagó rápidamente y constituyó el segundo impulso en la industria y el desarrollo de las máquinas.

Durante todo el siglo XIX se perfeccionó la construcción de la máquina de vapor, lo que permitió aumentar su potencia y rendimiento, así surgieron el motor de combustión interna y la turbina; máquina, esta última, mucho más potente que la de vapor, aunque utiliza el mismo fluido. También en este siglo apareció la turbina hidráulica (Fig. 1.11) y, posteriormente, la turbina de gas (Fig. 1.12).

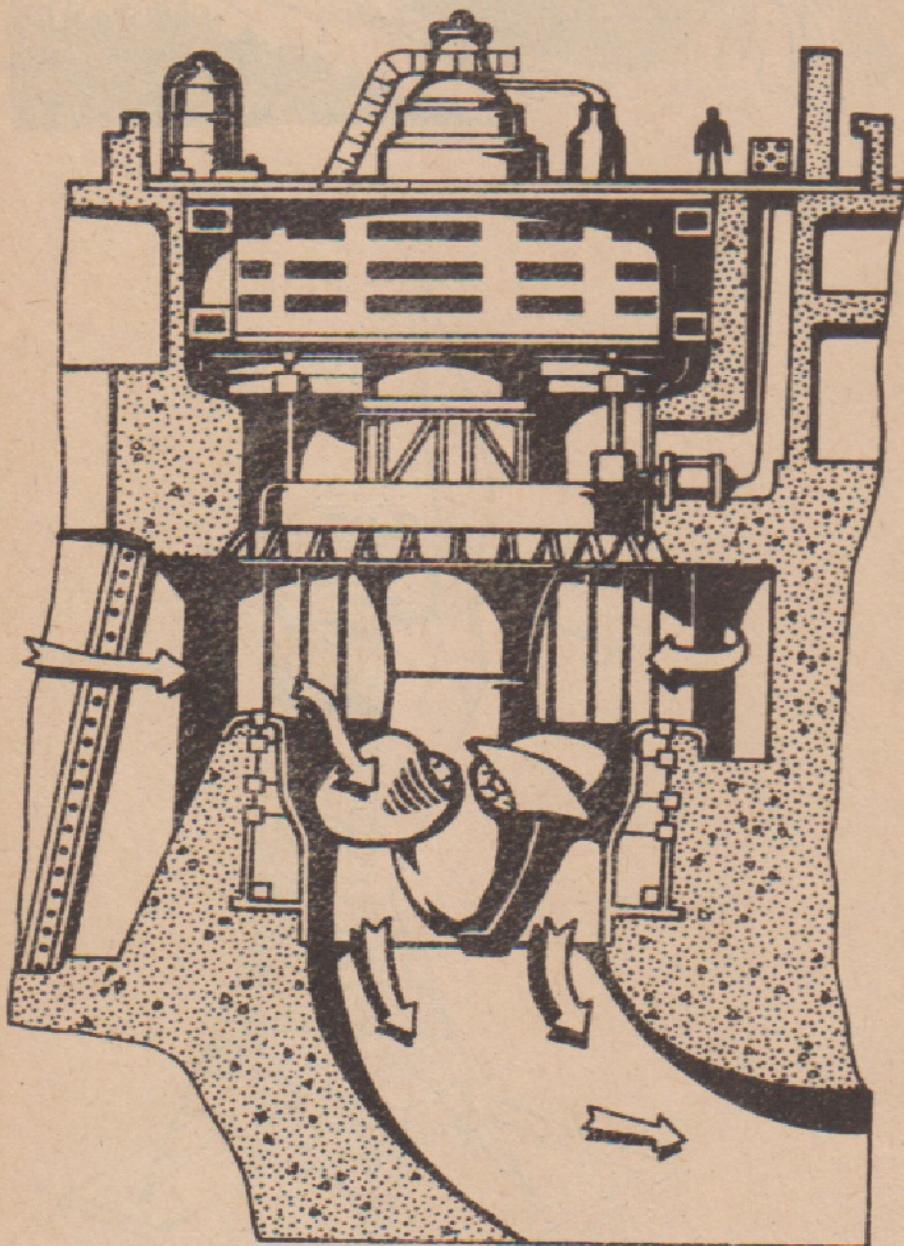


Fig. 1.11 Turbina hidráulica

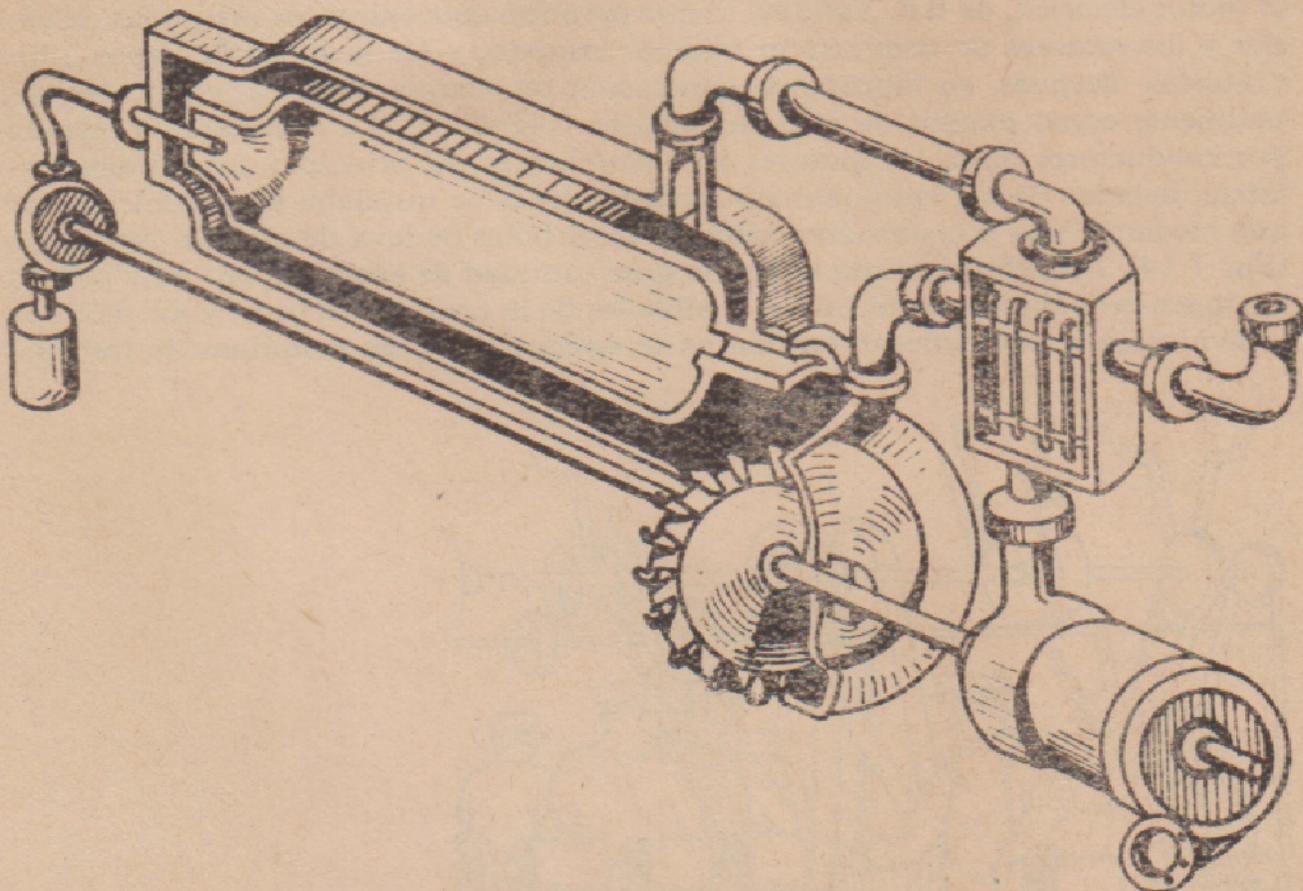


Fig. 1.12 Turbina de gas

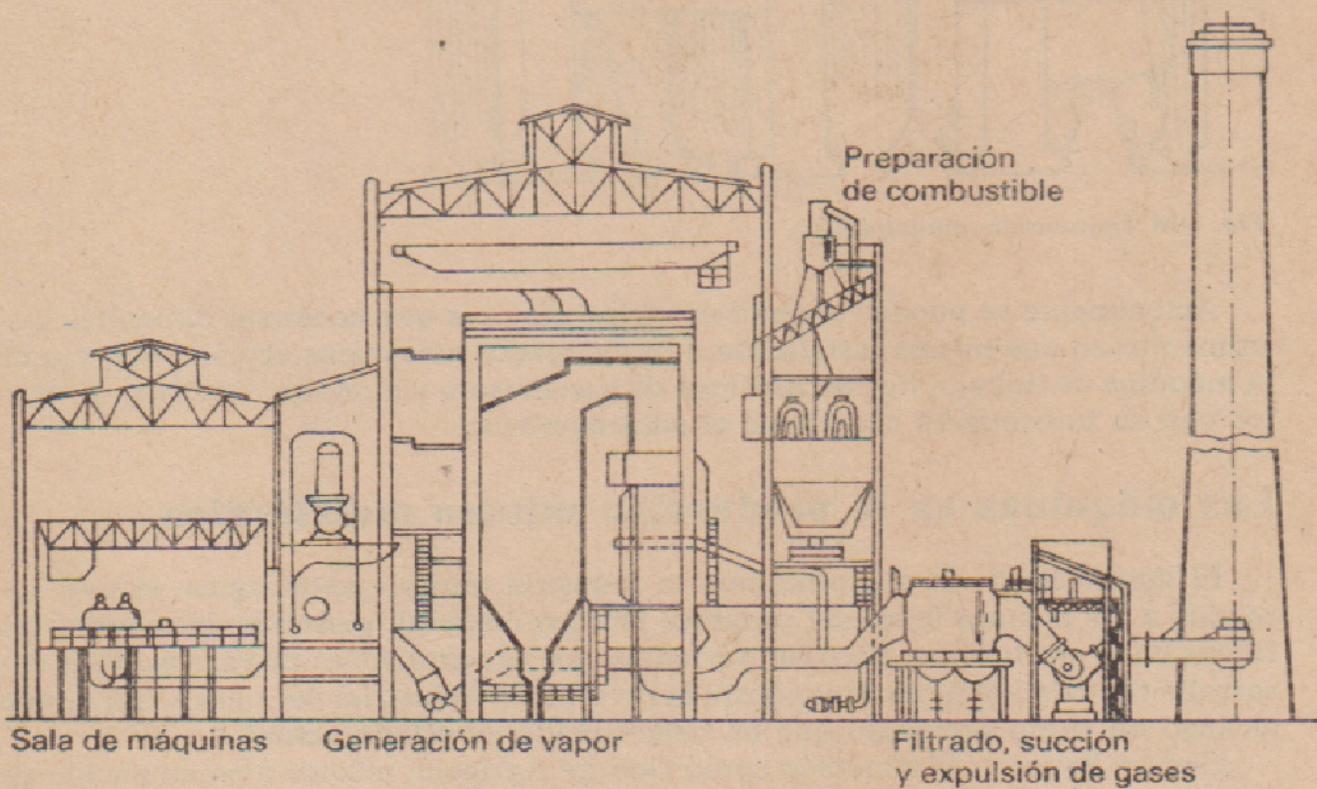


Fig. 1.13 Esquema general de una planta termoelectrica

Por último, en el siglo XIX también tuvo lugar un invento de gran importancia, el motor eléctrico, de B.S. Yakovy, lo que permitió concentrar las máquinas de vapor y los motores de combustión interna, primero, y las turbinas de vapor e hidráulicas, después, en fábricas de generación de energía eléctrica, conocidas actualmente como plantas de energía eléctrica (Fig. 1.13). La energía se transmite por conductores hasta los motores y consumidores. Al principio, los motores estaban alejados de las máquinas-instrumento, pues se instalaba un potente motor que mediante una transmisión accionaba los árboles de leva de muchas máquinas (Fig. 1.14). En la transmisión se perdía gran cantidad de energía, pero muy pronto los ingenieros supieron utilizar las cualidades de la energía eléctrica, y los motores individuales se convirtieron en una parte sustancial de las máquinas de trabajo.

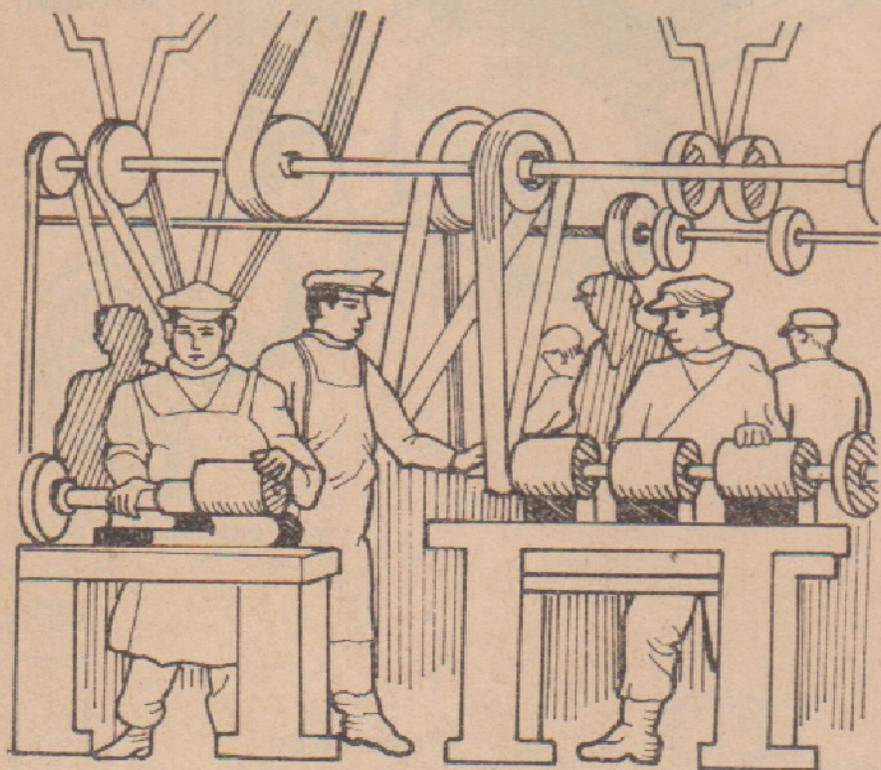


Fig. 1.14 Transmisión centralizada

Actualmente se pueden encontrar varios motores que accionan diferentes instrumentos en una misma instalación. Los agregados mecánicos actuales constan de la máquina de trabajo, los mecanismos de transmisión y el motor eléctrico. El motor con su transmisión constituye el accionamiento.

Las máquinas en la producción minero metalúrgica

El desarrollo de la máquina para la industria minero metalúrgica, estuvo sometido a las mismas leyes del progreso técnico material, generales para todas las ramas de la producción, pero tuvo además, sus características privativas. Este desarrollo fue relativamente lento hasta la revolución industrial del siglo XVIII, donde alcanzó un ritmo acelerado que ha determinado su estado actual.

Georgy Bauer, más conocido como Georgy Agricola, médico alemán nacido en 1494 y muerto en 1555, logró en sus múltiples trabajos sistematizar los conoci-

mientos prácticos y teóricos, existentes hasta su época, en el campo de la producción minero metalúrgica.

En su principal obra *De re metálica*, publicada en Suiza en 1556, en latín, y en cuya preparación trabajó más de 20 años, Agricola expone el estado de la minería y la metalurgia en el siglo XVI, además, aporta generalizaciones de gran importancia, para el desarrollo de la ciencia minero metalúrgica. El título de este trabajo se traduce *Sobre la minería y metalurgia*, y está escrito en 12 capítulos (libros con la terminología de la época). En el primero de ellos, el autor expone las principales concepciones que existían sobre esta actividad productiva.

La producción minero metalúrgica se realizaba con trabajo arduo, difícil e inseguro, y los beneficios en su mayoría iban a parar a manos de personas que no participaban en el proceso de producción. Esto determinó que la actividad no gozase de gran prestigio. Agricola no comprende la esencia social del problema, pero en defensa de la minería y la metalurgia, señala su enorme importancia para la existencia de la civilización, revela la falsedad de muchas de las concepciones existentes en contra de la actividad en la época y muestra la necesidad que tiene el minero de ampliar conocimientos teórico-prácticos en múltiples campos de su actividad.

En los capítulos del II al V, Agricola expone la práctica y los conocimientos de la época sobre la localización de los yacimientos minerales, sus características geológicas y la forma de determinar sus dimensiones, así como los principales elementos de la topografía minera.

Especial importancia para nuestro curso tienen los capítulos siguientes, donde a veces, mezclado con el proceso tecnológico, se reseña el estado de la mecanización en la minería y metalurgia del siglo XVI.

Importantes elementos del proceso de producción minera lo constituyen el arranque del mineral, la carga y transportación, incluyendo el ascenso a la superficie, y entre los procesos auxiliares importantes, la ventilación y el desagüe. A las máquinas que se utilizan en estos procesos le dedica Agricola el libro VI, el cual, por su importancia para nuestra especialidad, lo analizaremos más detalladamente.

Entre los principales instrumentos de la época se encontraban los instrumentos de hierro: cuñas, zapas, mandarrias, chavetas y picos, que se muestran en la figura 1.15. El ascenso se llevaba a cabo en cubas, canastas, sacos o tinas (Fig. 1.16), y el transporte, a corta distancia, en carretillas, y a mayor distancia en vagonetas (Fig. 1.17).

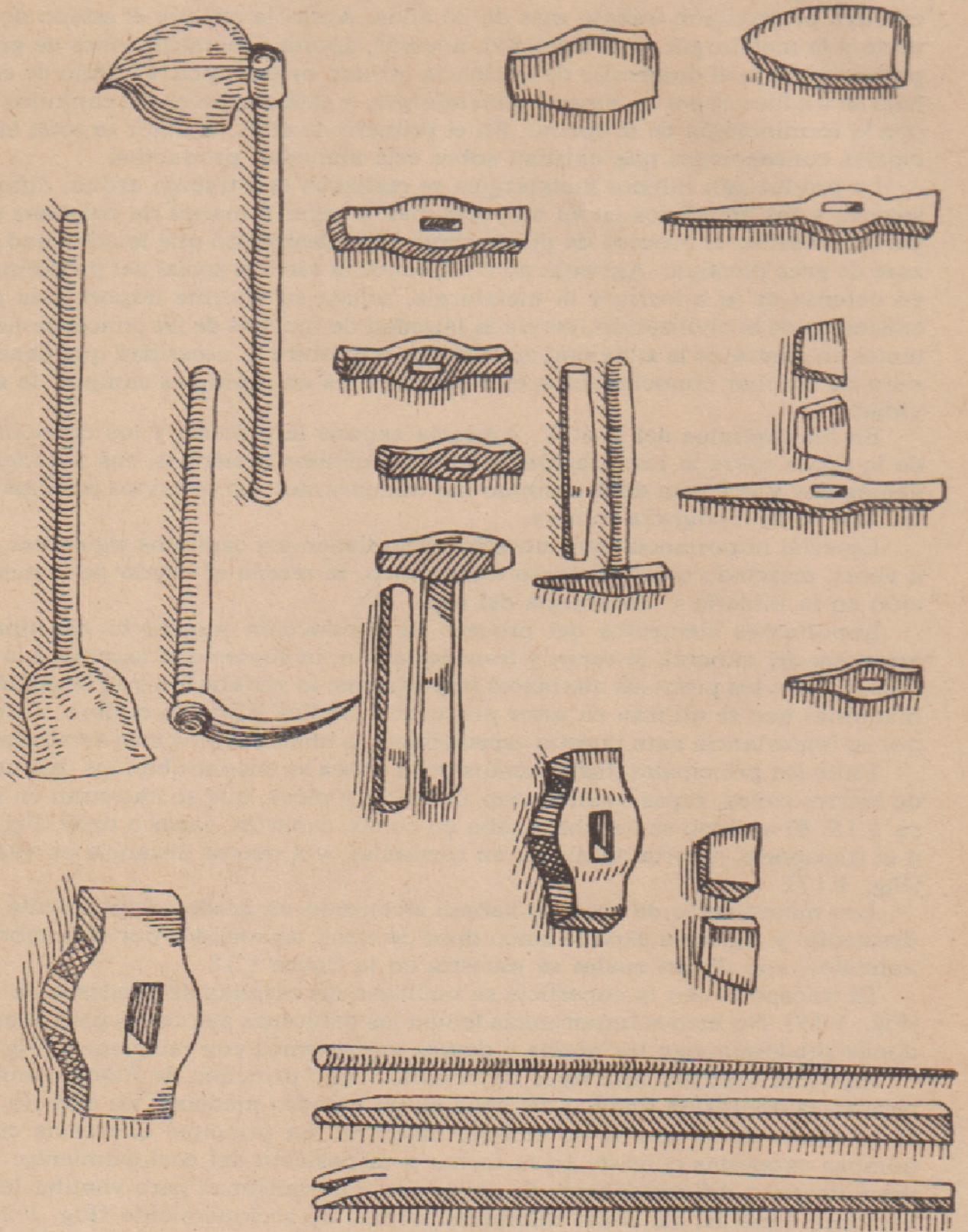
Los mecanismos de ascenso habían alcanzado un grado relativamente alto de desarrollo y Agricola expone cinco tipos de estos, accionados por el hombre o por animales, uno de los cuales se muestra en la figura 1.18.

El transporte en la superficie se realizaba en carretas de ruedas o de esquies (Fig. 1.19). No menos importancia tenían las máquinas auxiliares para el desagüe, donde predominaban las norias y demás mecanismos con recipientes (Fig. 1.20).

Agricola describe siete tipos de bombas, cuyo principio de funcionamiento se basa en la impulsión forzada del agua en un cilindro mediante un émbolo, que es el antecesor de la bomba de émbolo moderna. La principal diferencia entre las bombas expuestas consiste en la forma y disposición del accionamiento. Por último, describe diferentes tipos de máquinas y mecanismos para ventilar las excavaciones mineras, así como diferentes formas de accionamiento (Fig. 1.21).

En la medida que el autor describe los diferentes procesos de selección, preparación mecánica, beneficio (concentración) y metalurgia, muestra los diferentes equipos que se utilizaban en la época, en particular, molinos, trituradores, cribas y hornos, esto principalmente en los capítulos VIII, IX y X.

Fig. 1.15 Instrumentos de hierro



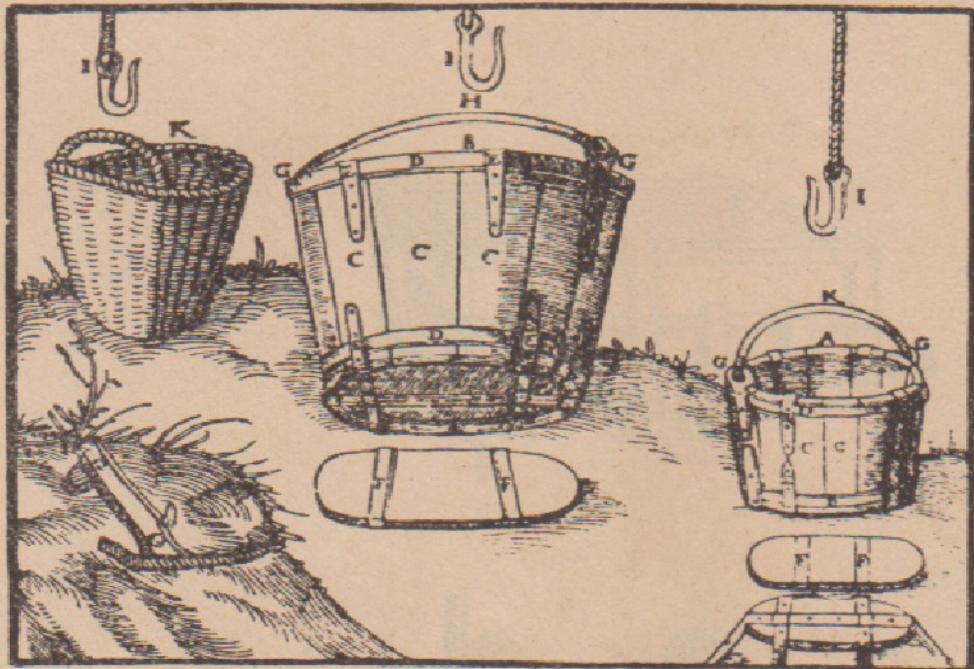
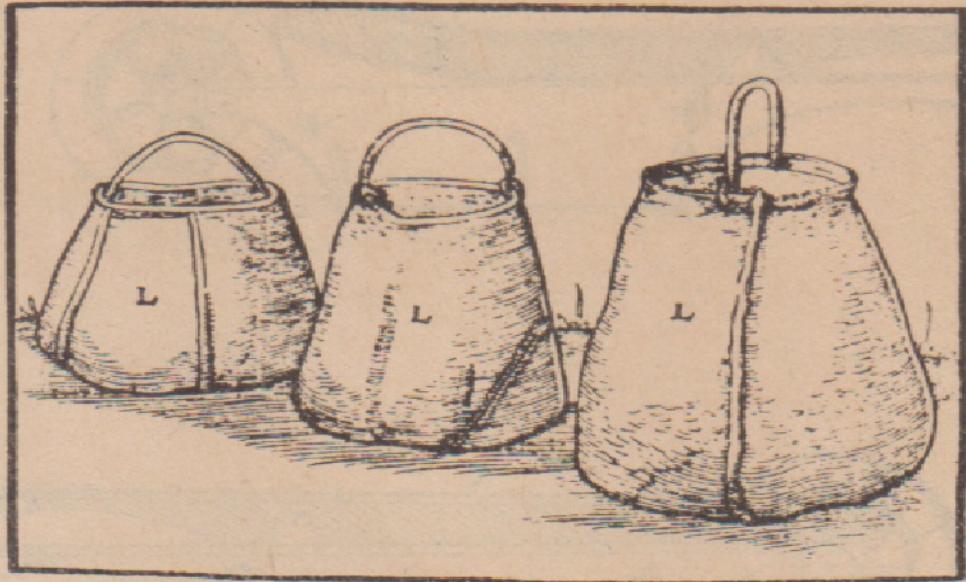


Fig. 1.16 Recipientes de ascenso

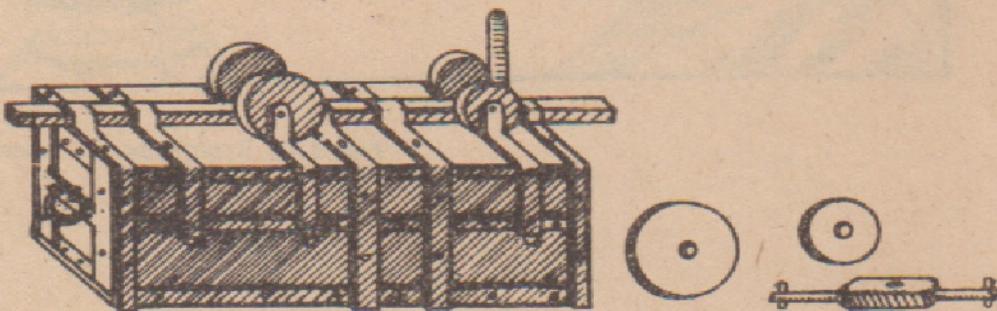
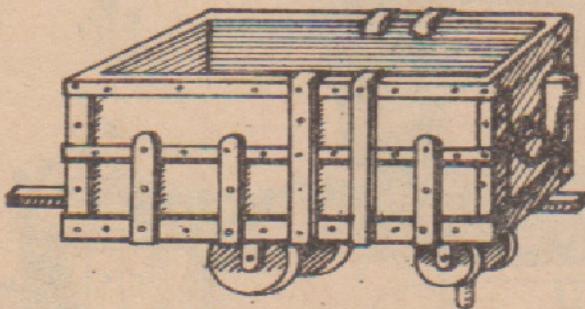
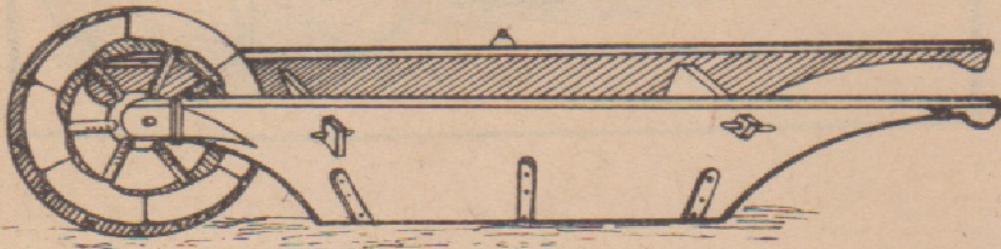
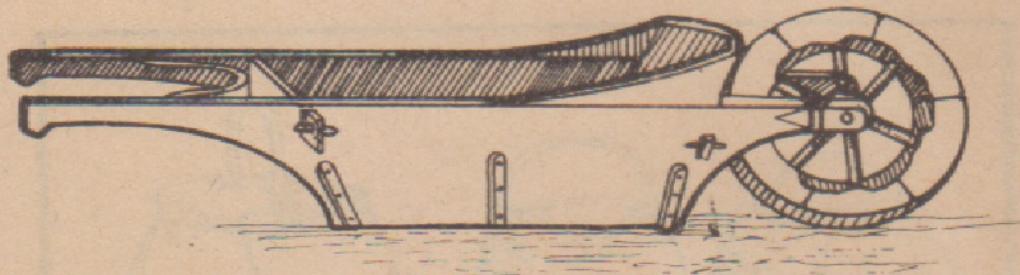


Fig. 1.17' Medios de transporte para cortas distancias

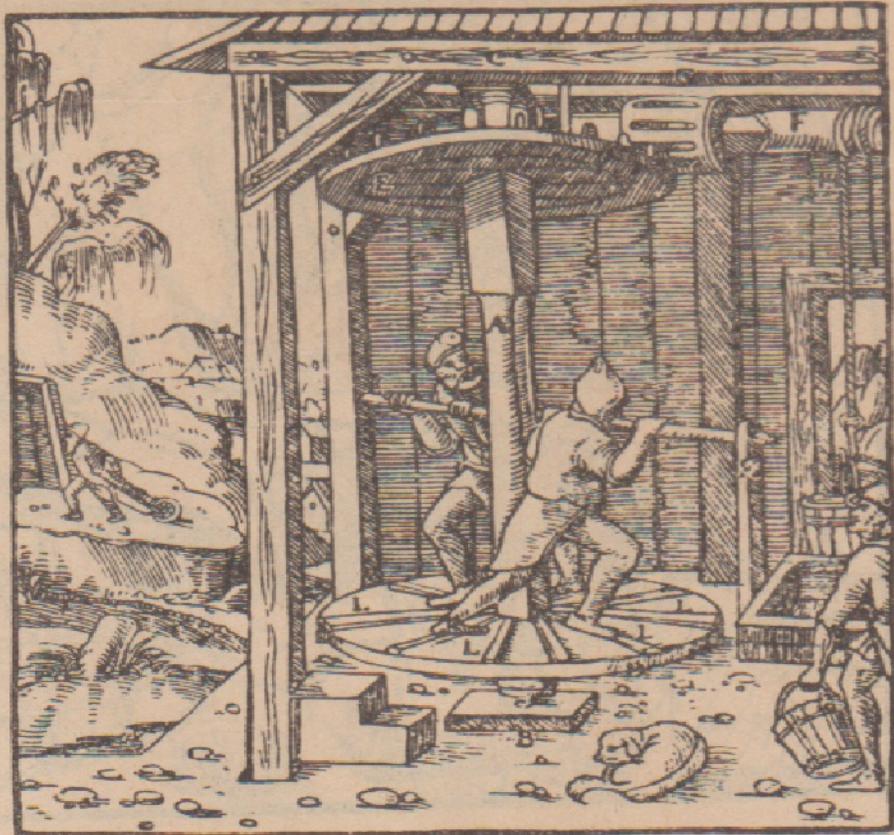


Fig. 1.18 Mecanismos de ascenso

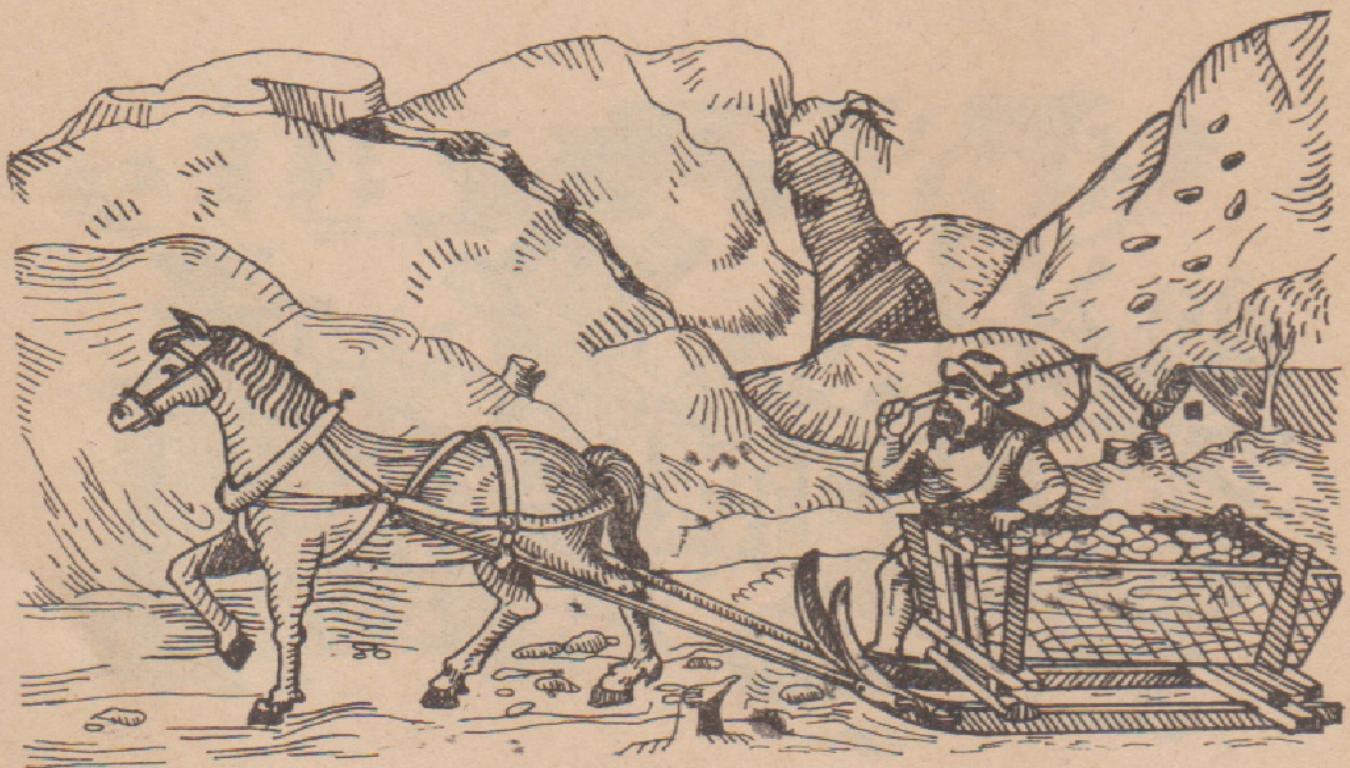


Fig. 1.19 Transporte de superficie

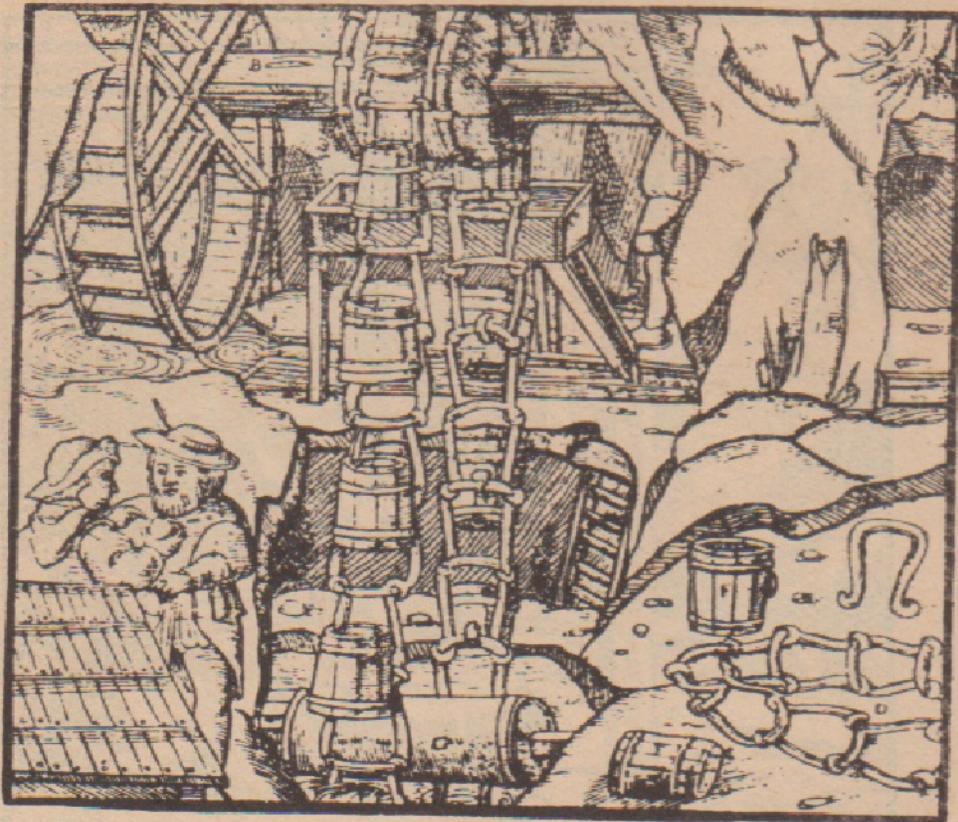


Fig. 1.20 Noria de desagüe

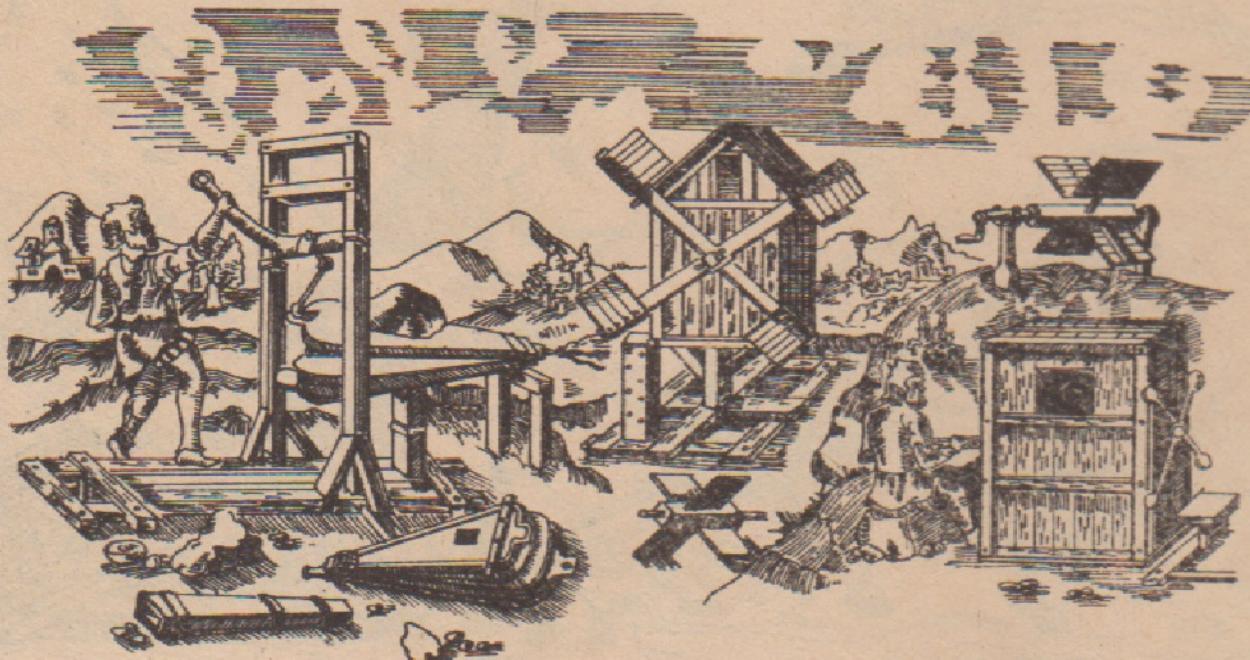


Fig. 1.21 Máquinas de ventilación

El desarrollo, en la sociedad feudal, de nuevas relaciones de producción, planteó a su vez el problema del desarrollo de las fuerzas productivas y, aunque estas, con anterioridad, se mantenían bajas, surgieron nuevas posibilidades.

Simultáneamente con la amplia utilización de la selección manual de los minerales, surgieron nuevos métodos de elaboración mecánica de los materiales. Un paso progresivo, sin lugar a dudas, lo constituye la utilización del machacador de caída libre (Fig. 1.22), verdadero antecesor del molino de martillo actual.

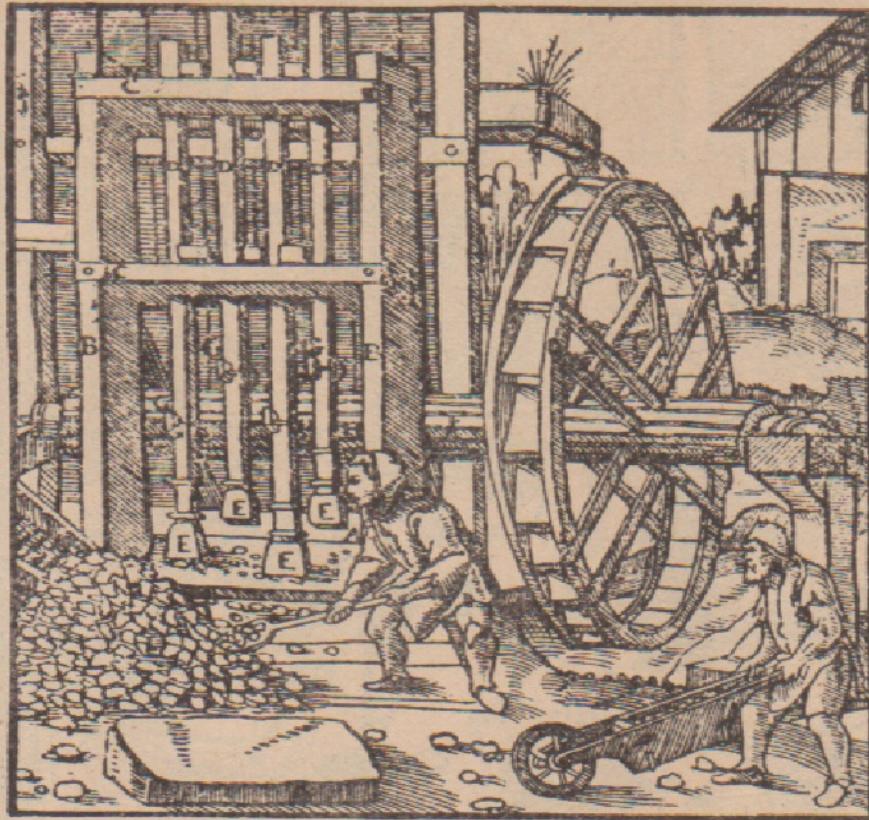


Fig. 1.22 Machacadora de caída libre

Llaman la atención las diferentes cribas descritas por el autor en este capítulo VIII (Fig. 1.23). Seguidamente, describe tres tipos constructivos de molinos (Fig. 1.24) accionados por la energía muscular del hombre o de los animales, por energía hidráulica o del viento también tienen interés los dispositivos de lavado, de los cuales describe seis.

Por último, en el capítulo XI, a medida que se exponen los procesos metalúrgicos se muestran múltiples tipos de hornos utilizados en la época (Fig. 1.25).

El equipamiento de la industria minero metalúrgica no varió mucho hasta la revolución técnica del siglo XVIII, que dio paso a la gran industria y a las máquinas que se utilizan en la actualidad y que veremos, en forma general, en este curso.

La historia de las máquinas eléctricas y la utilización de esta energía, es mucho más reciente que la de las máquinas de vapor. Los fundamentos teóricos que permitieron transformar el calor en otro tipo de energía, se comenzaron a fijar a partir del siglo XVIII, pero la electricidad entonces no tenía ninguna aplicación práctica; esto se hizo posible en el siglo XIX.

La electrónica fue la primera rama de la técnica en la que la aplicación práctica fue precedida por la acumulación de conocimientos científicos.



Fig. 1.23 Cribas y cribado

El primer motor eléctrico de aplicación práctica lo construyó, en 1838, el ruso Yakovy; sin embargo, no es hasta 1870 que el belga Z. Gramme logró una construcción de máquina eléctrica en la cual se aplicaba el principio de la reversibilidad, establecido por E. C. Lenz en 1834; es decir, que si se pone a trabajar la máquina por medios mecánicos, proporcionará energía eléctrica, y a la inversa, si se le suministra corriente es capaz de realizar trabajo mecánico.

El 1873 se transmitió energía del generador de Gramme hasta un motor situado a una distancia de 1 km. Ya en 1880 se logró aumentar esta distancia hasta 10 km. En 1882 M. Deprez construyó una línea de transmisión eléctrica hasta una distancia de 57 km.

Todas estas fuentes e instalaciones se construyeron sobre la base de la corriente directa, con grandes pérdidas de energía en la transmisión. La utilización de la corriente alterna permitió aumentar la longitud de la transmisión. Con la invención de la máquina de corriente alterna, mostrada por el ingeniero ruso Dolibo-Dobrovolskiy en la exposición de Francfort del Meno (Alemania), en 1891, se hizo posible la transmisión de energía a grandes distancias y comenzó la era de la electricidad en la industria moderna.



Fig. 1.24 Molinos con diferentes formas de accionamiento

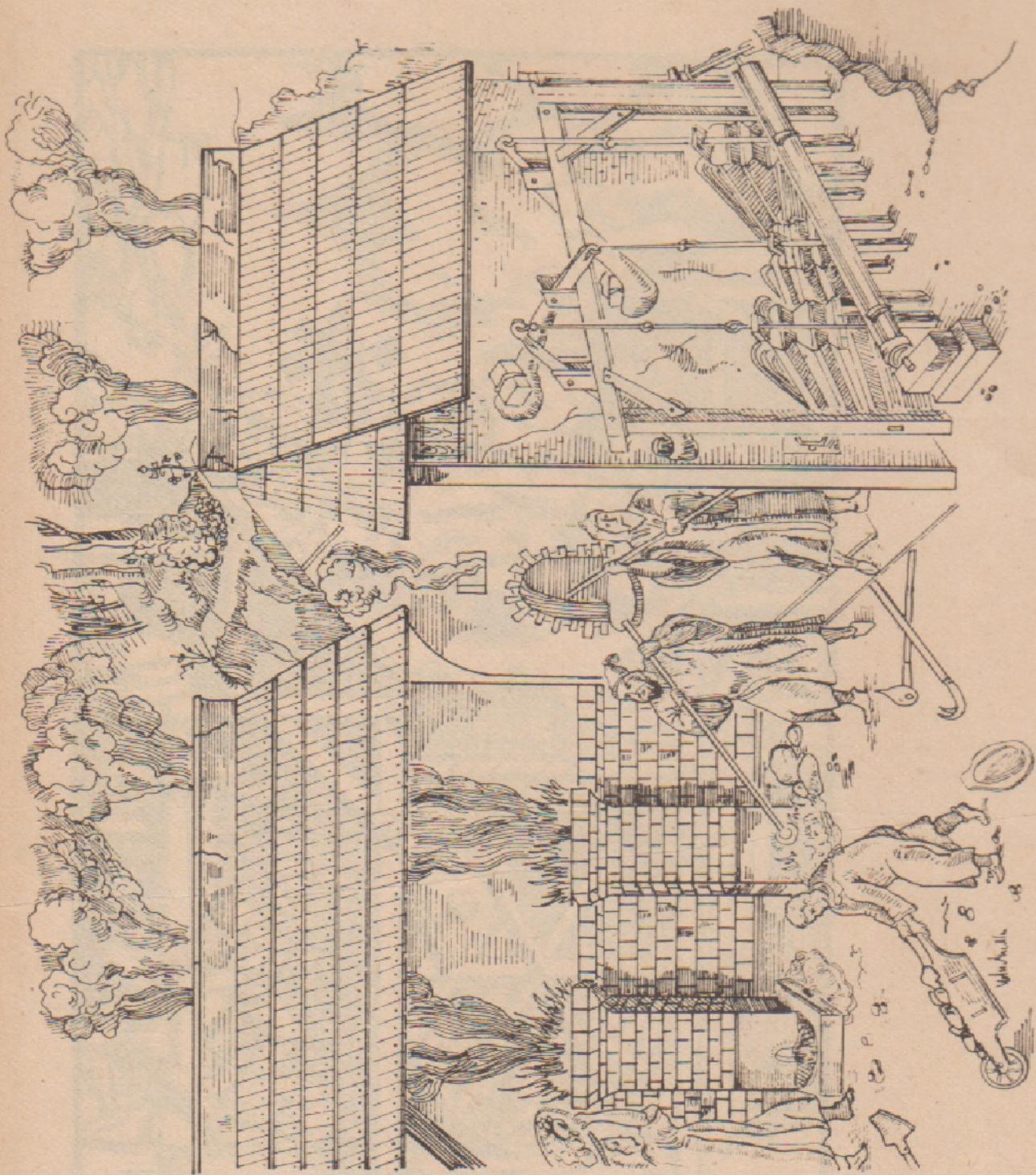


Fig. 1.25 Hornos

Ciencia sobre las máquinas

El triunfo de la máquina en el siglo XVIII, obligó a profundizar en el estudio de las leyes de transmisión del movimiento y de interrelación e interacción de las diferentes partes de los mecanismos, cuyo objetivo era el perfeccionamiento del movimiento del órgano de trabajo, lo que permitía obtener máquinas más rápidas y exactas; en última instancia, máquinas más productivas.

Los mecánicos creadores del siglo XVIII, ya intentaron generalizar los procesos y fenómenos observados en sus mecanismos, lo que permitía elegir elementos mucho más rápidamente y repetir con exactitud en las máquinas, los movimientos del hombre o de los animales. La experiencia práctica obtenida, sirvió de punto de partida para la investigación científica en el campo de las máquinas.

Los primeros trabajos teóricos en este campo aparecieron en Rusia y Francia. En este último país, C. A. Coulomb publicó en 1771 su *Teoría sobre las máquinas simples*, y años más tarde, Monge fundó la Escuela politécnica parisina, que se convirtió en uno de los principales centros científicos de la construcción de maquinarias.

Precisamente Monge demostró que las máquinas más complejas son, en última instancia, una combinación de un pequeño número de elementos, e introdujo por primera vez en la Escuela politécnica parisina un curso de Teoría de mecanismos, que hasta el presente está contenido en los planes de estudio de las especialidades mecánicas.

Posteriormente, en el siglo XIX, la Escuela politécnica de París desempeñó el papel de cultivador de la ciencia acerca de las máquinas, e influyó en todo su desarrollo en Europa. En los primeros años del siglo XIX, J. V. Poncelet publicó el *Curso de mecánica aplicada a las máquinas e Introducción a la mecánica industrial* después de los cuales aparecieron múltiples investigaciones en mecánica teórica, que hoy en día están contenidas en programas analíticos de diferentes asignaturas de mecánica.

En Rusia el primer trabajo en estos temas apareció en 1722, *Ciencia estática o mecánica*, de Sornyakov-Pisaryev, al cual siguieron algunos otros trabajos, hasta que en 1857, P. L. Chevishev presentó ante la Academia de Ciencias su trabajo, en el cual, con métodos de la matemática superior, establecía las leyes exactas de la construcción de los mecanismos cuyo elemento ejecutor podía realizar un movimiento de una recta y que, poco después, generalizó para permitir determinar las formas de los mecanismos y dimensiones de sus partes, capaces de reproducir cualquier movimiento dado con anterioridad. Los trabajos de Chevishev se convirtieron en clásicos de la ciencia de los mecanismos. Junto a Chevishev se pueden mencionar otros científicos rusos tales como M. V. Ostrogradsky, M. N. Vishnyegradsky y N. A. Petrov y, sobre todo, en los últimos años, el genial N. E. Zhukovskiy, todos los cuales, de una forma u otra, se basaron en los trabajos de Chevishev.

Los descubrimientos de Chevishev resolvieron los problemas sobre la geometría del movimiento en los mecanismos, es decir, sobre la trayectoria del movimiento y la interrelación de las dimensiones de las partes del mecanismo. Sus continuadores tomaron en consideración la acción de las fuerzas que surgen en la máquina en el proceso de movimiento de sus partes, de las vibraciones y de la fricción. Zhukovskiy publicó su trabajo *Tareas sobre el movimiento de mecanismos bajo la acción de una fuerza dada*, y con ello creó un nuevo capítulo en la ciencia de las máquinas: la dinámica de las máquinas.

Ostrogradsky y Vishnyegradsky se convirtieron en los fundadores de la teoría de la regulación automática de las máquinas, indispensable para mantener constante el número de revoluciones de un árbol de leva (accionado en aquel entonces por una máquina de vapor), cuando varía (disminuye o aumenta) la carga de trabajo.

Por último, N. A. Petrov trabajó sobre la fricción en las máquinas y elaboró la teoría hidrodinámica de la fricción, posteriormente ampliada por N. E. Zhukovskiy y otros, que crearon la base de la teoría de la lubricación en las máquinas. En particular, N. A. Petrov estableció que a una misma temperatura del lubricante, la fuerza de fricción depende de la viscosidad del aceite, de la magnitud de la superficie del cojinete, de la velocidad de rotación y del espesor de la capa lubricante.

Todas las máquinas se construyen de los mismos elementos. En una máquina estos elementos pueden ser miles, pero se repiten con mayor o menor frecuencia. Muchos de ellos son parte del cuerpo de la máquina o de sus mecanismos móviles. Existe una gran cantidad de elementos de fijación, como tornillos, espigas, dientes, etc., y de elementos auxiliares como muelles y resortes. Si consideramos entre los más importantes a aquellos mecanismos que transmiten el movimiento al órgano de trabajo, se puede establecer que los elementos primarios de toda máquina son solo tres: la rueda, la palanca y el plano inclinado, cuya esencia fue analizada en el tercer epígrafe. Cada uno de estos elementos tiene múltiples variedades que forman una familia, por ejemplo, al grupo de la rueda pertenecen: el volante, la polea, las ruedas dentadas, las ruedas de fricción, el trinquete, la catalina, las excéntricas, las cajas de bola, los rolletes, etc. A su vez, cada uno de estos elementos tienen diferentes variedades. En particular, todos los que rotan tienen su origen en la rueda. Esto hace que su familia sea numerosa.

De la misma manera se forma la familia de la palanca, a la que pertenecen: las manivelas, las levas, las varillas, los vástagos, las barras, las manijas, las palanquillas, los brazos, etc., y la del plano inclinado, que aunque menos numerosa, agrupa los tornillos, las hélices, los tensores, los sinfines, los diferenciales helicoidales, las espigas, los tirafondos, etc. La posibilidad de combinar estos elementos, permite obtener diferentes máquinas, y deja, como regla, la huella de su constructor.

Con estos elementos se aprendió a construir el eslabón, por ejemplo, un árbol y una rueda dentada montada sobre él (Fig. 1.26). De la misma manera se pueden montar eslabones de dos, tres o cuatro elementos, pero en cada eslabón uno de los elementos extremos juega el papel de enlace. Un eslabón se une con otro por medio del enlace, y su importancia es tal, que la forma y velocidad de movimiento de un eslabón depende de la forma y velocidad de movimiento del otro. Esta pareja de eslabones se denomina par, es decir, se conoce por par cinemático al acoplamiento móvil de dos cuerpos sólidos en contacto, donde cada uno de ellos constituye un eslabón y puede estar formado por más de un elemento. Por ejemplo, si tomamos dos eslabones con ruedas montadas sobre ellos, unimos los dientes de las ruedas y hacemos girar uno de los árboles, obligatoriamente girará el otro, y su movimiento, dirección y velocidad estarán determinados por la dirección y velocidad del primer árbol. En este caso la combinación de dos elementos, árbol-rueda dentada, forman un eslabón, y la unión de dos eslabones, un par cinemático. De la misma manera se puede hacer con cualquier otro par. Si están formados por ruedas dentadas, el movimiento será rotatorio, pero se puede elegir el par con elementos de diferentes familias, de tal forma que se obligue al segundo eslabón a realizar movimientos especiales, ya sea una trayectoria recta o curva.

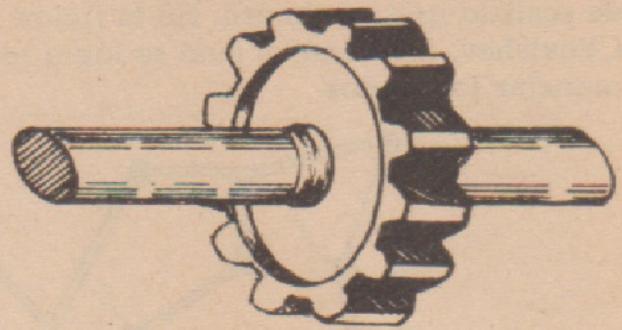


Fig. 1.26 Eslabón formado por un árbol y una rueda dentada

En la práctica, los movimientos que se desean lograr suelen ser muy variados y casi nunca es posible obtenerlos con uno o dos pares, para lo que se suelen unir varios eslabones en una cadena, y de tal forma se logra el movimiento deseado.

Ahora bien, para que el movimiento en una cadena formada por eslabones y pares tenga sentido, es indispensable unir el primer y último par de elementos de la cadena mediante un eslabón inmóvil. Por ejemplo, para que el par formado por los árboles y ruedas pares del ejemplo anterior trabaje, es necesario situar los cojinetes que estaban montados sobre apoyos inmóviles (Fig. 1.27). Entonces, una cadena cerrada de tal manera, constituye un mecanismo que puede estar formado por tres o más pares. La máquina se arma con un conjunto de mecanismos y así se obtiene la cadena: elemento-eslabón-par-mecanismo-máquina. A partir de esto se ha llegado al concepto de mecanismo y de máquina. También se le llama mecanismo de eslabones unidos recíprocamente y destinados a realizar un movimiento dado.

Se conoce por máquina al mecanismo o conjunto de mecanismos destinados a realizar un trabajo útil, relacionado con la producción o transformación de energía, transporte, etcétera.

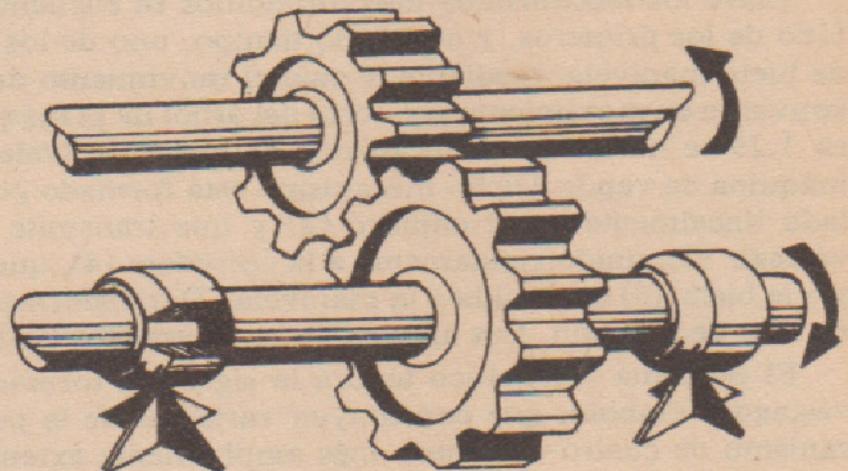


Fig. 1.27 Mecanismo formado por una cadena semicerrada con un eslabón inmóvil

Chevishev, en el siglo pasado, creó varios mecanismos uniendo barras (palancas) mediante bisagras, conocidos por mecanismos de charnela, y en los cuales al mover una palanca motora se movían los demás por trayectorias anteriormente determinadas, hasta que la última palanca producía un movimiento dado, capaz

de realizar un trabajo útil. En la figura 1.28 se muestra uno de los mecanismos de Chevishev, mediante el cual se logra reproducir el movimiento de las manos para manejar los remos.

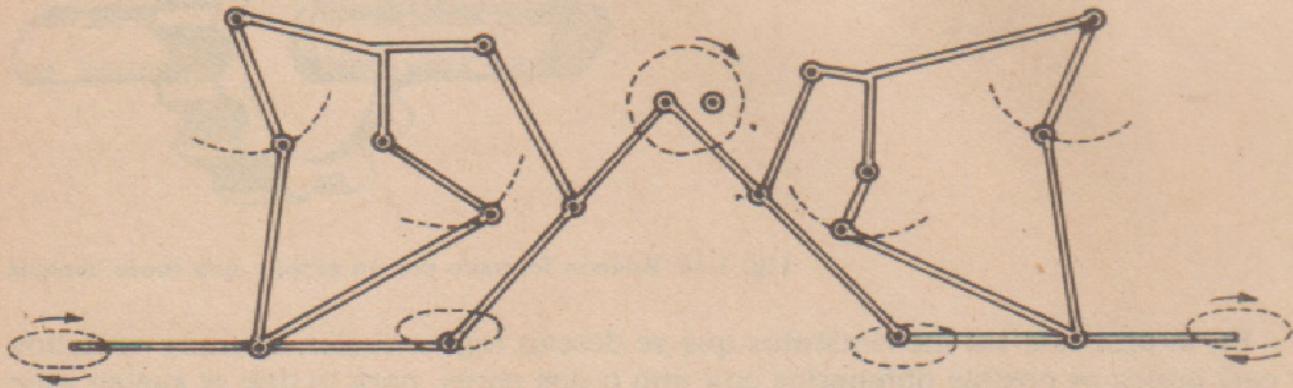


Fig. 1.28 Mecanismo de Chevishev que reproduce el movimiento de las manos de un remero

La importancia de Chevishev consiste en que logró, con la ayuda del análisis matemático, establecer los puntos en que es indispensable unir la charnela con las diferentes palancas, para así obtener el movimiento deseado. Con esto aceleró el trabajo que anteriormente se venía realizando en forma experimental mediante ensayos repetidos que lo hacían extremadamente lento y difícil. De tal forma, los mecanismos de charnela se extendieron rápidamente en la construcción de máquinas, y se comenzó a utilizar, con mayor frecuencia, en las transmisiones del movimiento desde el motor hasta el órgano de trabajo; de esta forma, la palanca, conocida desde la antigüedad, pasó a ser uno de los elementos primarios principales en la construcción de máquinas modernas.

En la práctica, para realizar el análisis del mecanismo y poder determinar sus parámetros de movimiento; o sea, velocidad, aceleración y espacio recorrido por diferentes puntos de los elementos móviles, se representan todos los elementos y mecanismos en lo que es conocido como esquema cinemático.

Entre los mecanismos más difundidos se encuentran los de cuatro eslabones. Uno de los primeros, y al mismo tiempo, uno de los más útiles, es el mecanismo de biela-manivela, mediante el cual el movimiento de traslación de un émbolo se convierte en movimiento rotatorio del árbol de la máquina, o viceversa. En la figura 1.29 se muestra un mecanismo de biela-manivela que realiza el trabajo en la máquina de vapor. Dicho mecanismo está formado por un émbolo (1) que se traslada linealmente en el cilindro (2) y que transmite el movimiento mediante el vástago (3), unido rígidamente a la corredera (4), que se mueve en el espacio (5), y a la biela (6) que unida a la manivela (7) transforma el movimiento de traslación en uno de rotación. Los apoyos de los elementos móviles se denominan bastidor.

El esquema cinemático tendrá la siguiente forma: manivela, biela, corredera, vástago y émbolo, que constituyen variantes de la palanca y que forman el mecanismo de cuatro eslabones más ampliamente extendido, de los utilizados en la técnica moderna. Este mecanismo de biela-manivela constituye la base de los motores de combustión interna, máquinas de vapor, bombas y compresores de émbolo, entre otros.

Los pares cinemáticos formados son los siguientes: bastidores-manivela, manivela-bloque y bloque-bastidor. El bloque constituye un eslabón formado por la corredera, el vástago y el émbolo. Existen tres eslabones más: manivela, biela y bastidor.

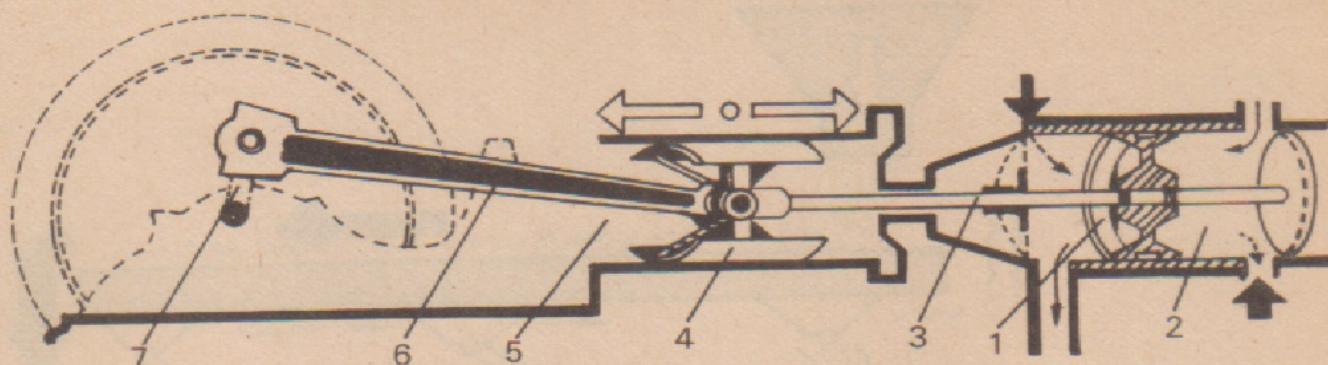


Fig. 1.29 Mecanismo de biela-manivela: 1) émbolo; 2) cilindro; 3) vástago; 4) corredera; 5) espacio; 6) biela; 7) manivela

Al grupo de mecanismos de cuatro eslabones pertenece también el de balancín (Fig. 1.30), mediante el cual el movimiento rotatorio de la manivela (1) a través de la biela (2), se convierte en movimiento oscilante de la barra (3), conocida por balancín, cuyo esquema cinemático se muestra en la figura. El mecanismo de balancín constituye otro ejemplo de palanca ampliamente difundida. En la figura 1.31 se muestra uno de los posibles usos del mecanismo de balancín en la industria minero metalúrgica.

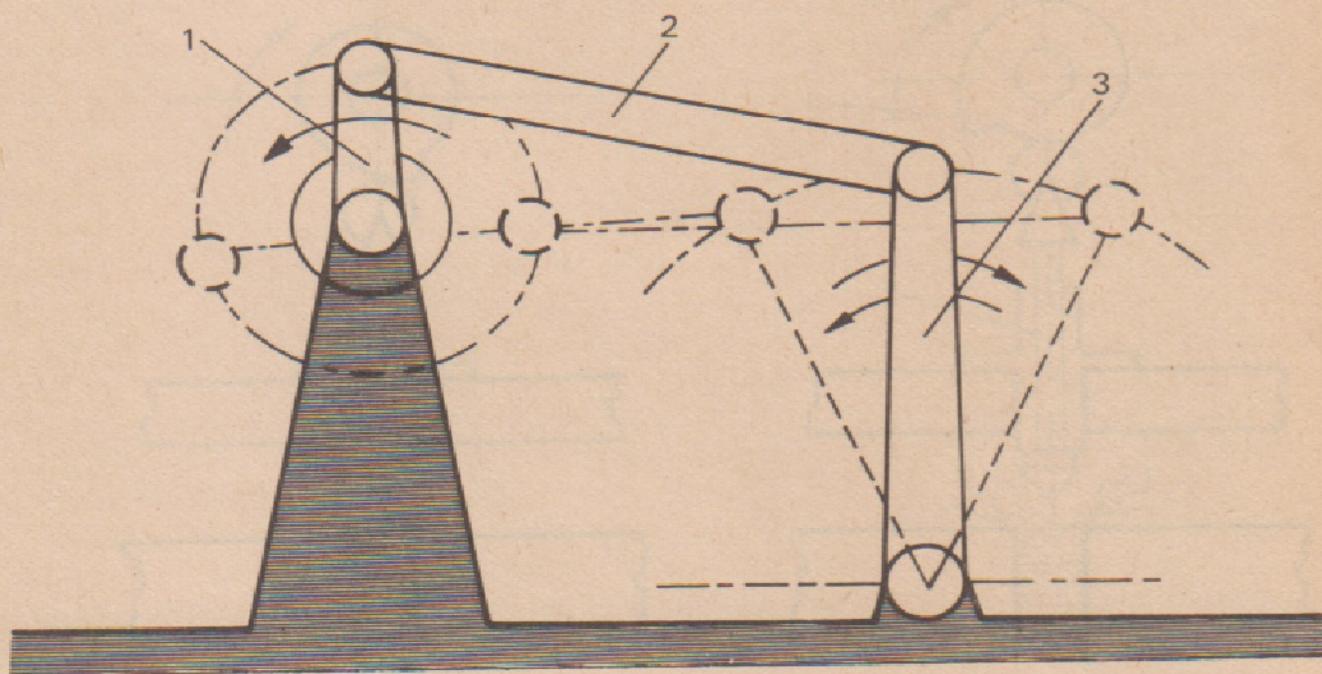


Fig. 1.30 Mecanismo de balancín: 1) manivela; 2) biela; 3) barra

Otro ejemplo de la utilización de la palanca lo constituye el mecanismo de leva, cuyo esquema se muestra en la figura 1.32 y consta de la leva (1) y el seguidor (2). En este caso, se transforma el movimiento de rotación en movimiento de traslación alternativa, muy utilizado, entre otras cosas, para garantizar el movimiento de la válvula en los motores de combustión interna y también en máquinas herramientas automáticas y semiautomáticas.

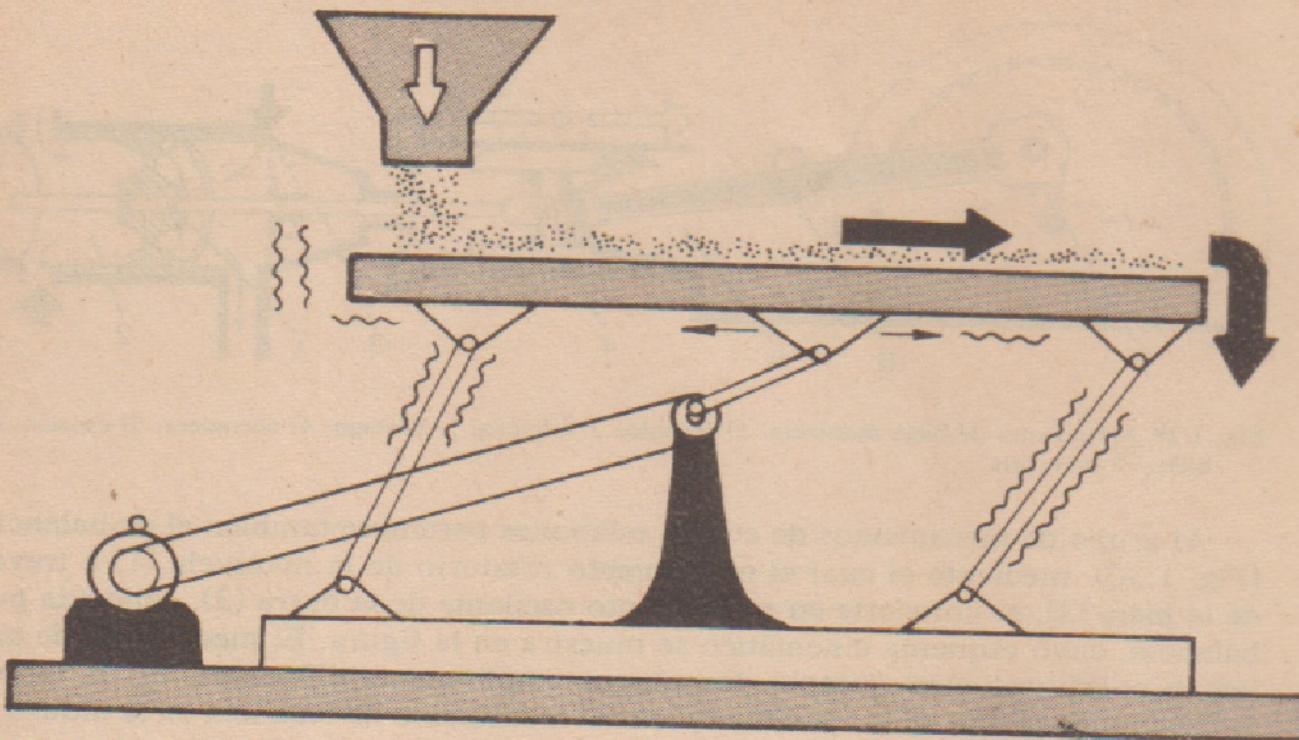


Fig. 1.31 Aplicación del mecanismo de balancin

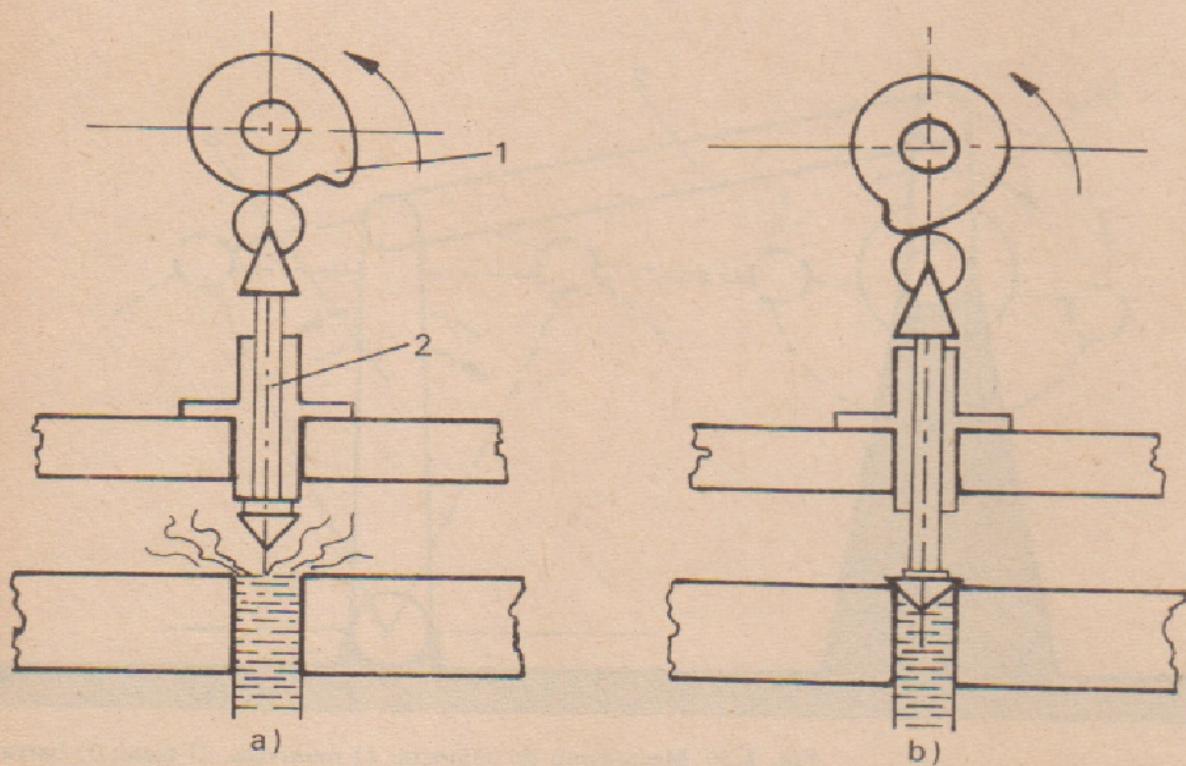


Fig. 1.32 Mecanismo de leva: 1) leva; 2) seguidor, a) posición abierta, b) posición cerrada

Fuentes de energía

El problema del aseguramiento de las fuentes de energía tiene características mundiales, no solo por la irregular distribución o posible escasez de estas, que como regla no abundan en las zonas de mayor consumo, obligando a realizar

grandes gastos en su transporte, sino por la concentración del consumo de los recursos energéticos en los países altamente industrializados. En la actualidad el 30 % de la población del mundo que habita estos países, consume, inada menos!, que el 90 % de la energía, mientras que el 70 % de la población restante, que habita en países subdesarrollados, consume solo el 10 % de la energía que se produce en el mundo. Esta situación se agrava por el orden social existente, que determina la tendencia a hacer cada vez mayor esta diferencia.

La explotación de las enormes riquezas del subsuelo cubano en beneficio del pueblo, se dificulta por la notoria carencia de fuentes energéticas en el país. La solución de este problema es una de las principales tareas en la construcción de la base material y técnica del socialismo en Cuba.

Por otra parte, la energía eléctrica constituye la base de la civilización moderna y se puede afirmar que sin energía eléctrica no es posible la vida normal de la sociedad actual. De aquí la enorme importancia que tiene su producción y utilización racional.

La energía eléctrica se puede obtener de formas diferentes, y a partir de fuentes distintas. La principal fuente de energía en la tierra la constituye el sol, que despide anualmente la fantástica cifra de $3,48 \cdot 10^{30}$ kW/h, y se calcula que de ella llega a la tierra $7,5 \cdot 10^{17}$ kW/h, lo que supera en diez mil veces el consumo medio anual, en los últimos años, de todas las fuentes primarias de energía, y que es de $7,5 \cdot 10^{13}$ kW/h. No obstante, la utilización de esta energía en gran escala, en forma directa para producir energía eléctrica, aún no es posible.

Se han logrado grandes éxitos en la utilización de la energía solar para la calefacción. En nuestras condiciones tienen amplias perspectivas la utilización de la energía solar para obtener frío, tanto industrial como para atenuar los efectos del calor.

En la industria moderna las principales fuentes primarias de energía son los combustibles orgánicos: el petróleo, el gas natural y el carbón de piedra, que constituyen el 85 % de las fuentes primarias de energía; pero las reservas, principalmente de las dos primeras, son limitadas.

La energía eléctrica se obtiene quemando estos combustibles en centrales termoeléctricas, las cuales trabajan por el siguiente esquema:

combustible — calor — trabajo mecánico — energía eléctrica.

Como se ve, las termoeléctricas transforman la energía del combustible orgánico en energía mecánica primero, y en eléctrica después, para lo cual utilizan motores térmicos. Estos motores térmicos se diferencian por el cuerpo de trabajo que utilizan: vapor o gas; así como por el principio de acción: máquinas de émbolo o rotativas.

Entre las máquinas de émbolo se encuentra la máquina de vapor, prácticamente sin uso en la actualidad, y el motor de combustión interna, utilizado en la industria cubana en las instalaciones de fuerzas móviles o estacionarias, de pequeña potencia, así como en máquinas de transporte.

En las termoeléctricas estacionarias se utilizan turbinas de vapor o de gas. En la figura 1.33 se muestra el esquema de trabajo de una termoeléctrica que utiliza una máquina de vapor como máquina principal. En este caso, en el generador de vapor (caldera) se obtiene el vapor, mediante el calentamiento del agua con el calor producido al quemar un combustible orgánico, la cual penetra con gran temperatura y presión en el cilindro y desplaza el émbolo con un movimiento de traslación alternativo, que mediante un mecanismo de biela y manivela se transforma

en rotación y se transmite al generador. El vapor utilizado pasa a un condensador donde se licua y se envía de nuevo a la caldera, cerrando así el ciclo.

En la figura 1.33 también se muestra esquemáticamente el intercambio de calor (condensador) y la forma de enfriamiento. En todos los casos el agua es impulsada por bombas, que en el esquema se muestran en forma de cilindros con émbolos y de vástagos.

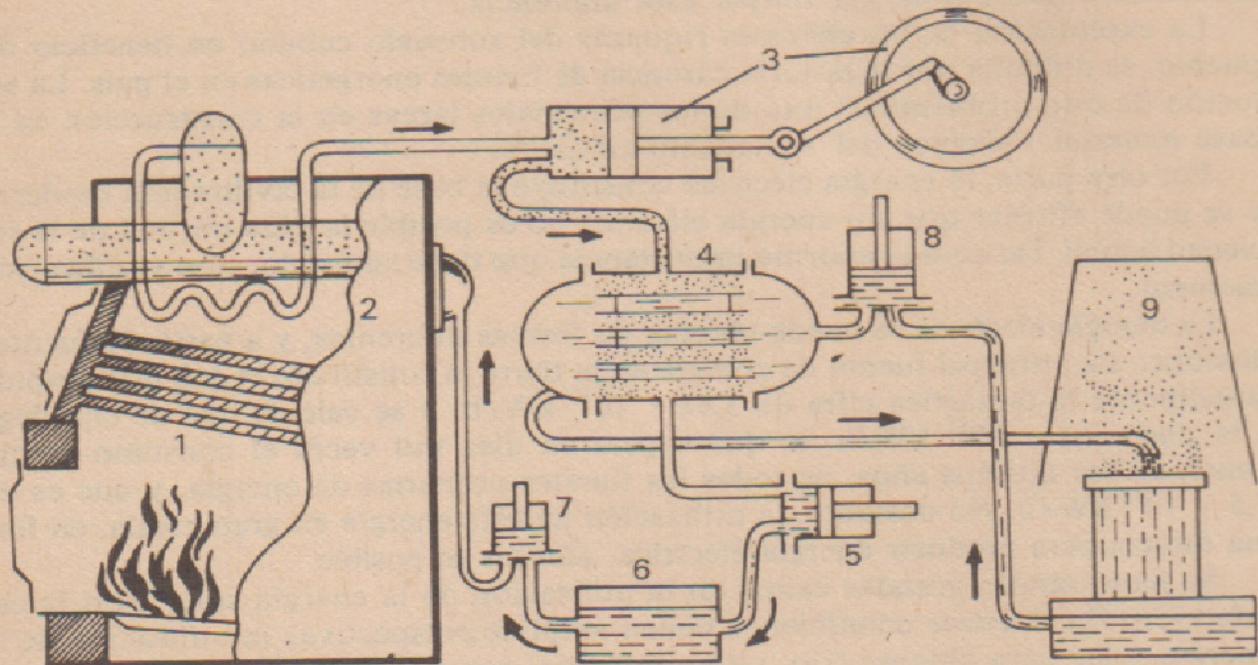


Fig. 1.33 Esquema de trabajo de una termoeléctrica equipada con máquina de vapor: 1) generador de vapor; 2) calentador de vapor; 3) máquina de vapor; 4) condensador; 5) bomba de condensado; 6) tanque del agua de alimentador de alta presión; 7) bombas de circulación; 8) enfriador

Con el objetivo de aumentar el rendimiento de la instalación, en lugar de máquinas de vapor se utilizan turbinas especiales, que permiten extraer parte del vapor ya utilizado para usarlo en un proceso tecnológico, mientras que el resto sigue un proceso parecido al anteriormente descrito.

La energía atómica está llamada a sustituir gradualmente a los combustibles orgánicos. La primera instalación eléctrica atómica se construyó en la URSS en 1954, y 20 años después en el mundo existían más de cien estaciones eléctricas atómicas, lo que atestigua el más rápido desarrollo en todas las ramas de la técnica, conocido hasta el momento. En estas instalaciones se utiliza un reactor nuclear, en el cual tiene lugar una reacción en cadena dirigida, de separación del núcleo de uranio, debido al bombardeo de neutrones (fig. 1.34).

Como se muestra en la figura 1.34, al chocar el neutrón con el átomo de uranio 235, lo separa en dos núcleos (pedazos) y desprende algunos nuevos neutrones que, al chocar con los núcleos de uranio, provocan nueva separación, y traen como consecuencia una reacción en cadena. Cuando la masa de uranio es suficientemente grande, los neutrones, al chocar con los núcleos de uranio 235 los separan y desprenden nuevos neutrones, y así sucesivamente. La reacción en cadena tiene lugar en forma instantánea y si no se detiene ocurre la explosión. Para evitarla se introducen en la masa de uranio unas varillitas de un material que absorbe neutrones. Moviendo estas varillitas se logra regular la ocurrencia de la reacción en cadena. Esto es lo que se conoce como reacción en cadena dirigida.

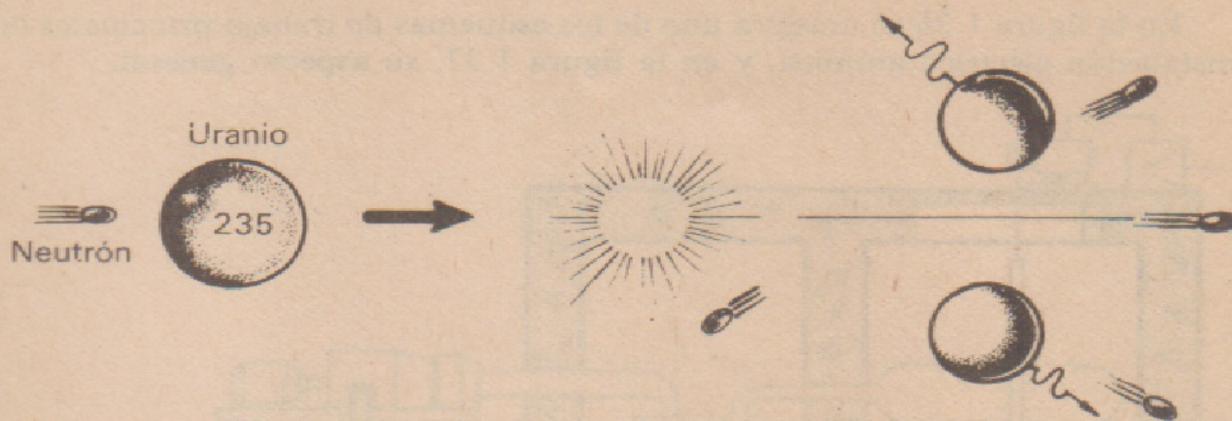


Fig. 1.34 Esquema de separación del núcleo de uranio, mediante el bombardeo de neutrones

Las estaciones eléctricas atómicas no dependen prácticamente de la situación de la fuente de materia prima, ya que debido a las pequeñas dimensiones del combustible atómico su transporte es relativamente fácil. Se supone que el dominio de la energía de descomposición atómica, debe duplicar la magnitud de los recursos energéticos actuales.

Por otra parte, las instalaciones eléctricas exigen un gran consumo de agua de enfriamiento (de mar o dulce), por lo que deben estar situadas cerca de las fuentes.

Es necesario señalar que actualmente la energía se obtiene debido a la descomposición del uranio 235, mientras que su otro isótopo, el uranio 238, no participa en la reacción. Esto crea el problema de la utilización racional del mineral de uranio compuesto en más del 99,3 % por el uranio 238. Por esta causa se trabaja en el ciclo de reproducción de combustible atómico, sobre la base de neutrones rápidos. Actualmente se conoce el ciclo de la reproducción de plutonio a partir del uranio 238, del uranio 233 y del torio 232 (Fig. 1.35), todos buenos combustibles atómicos.

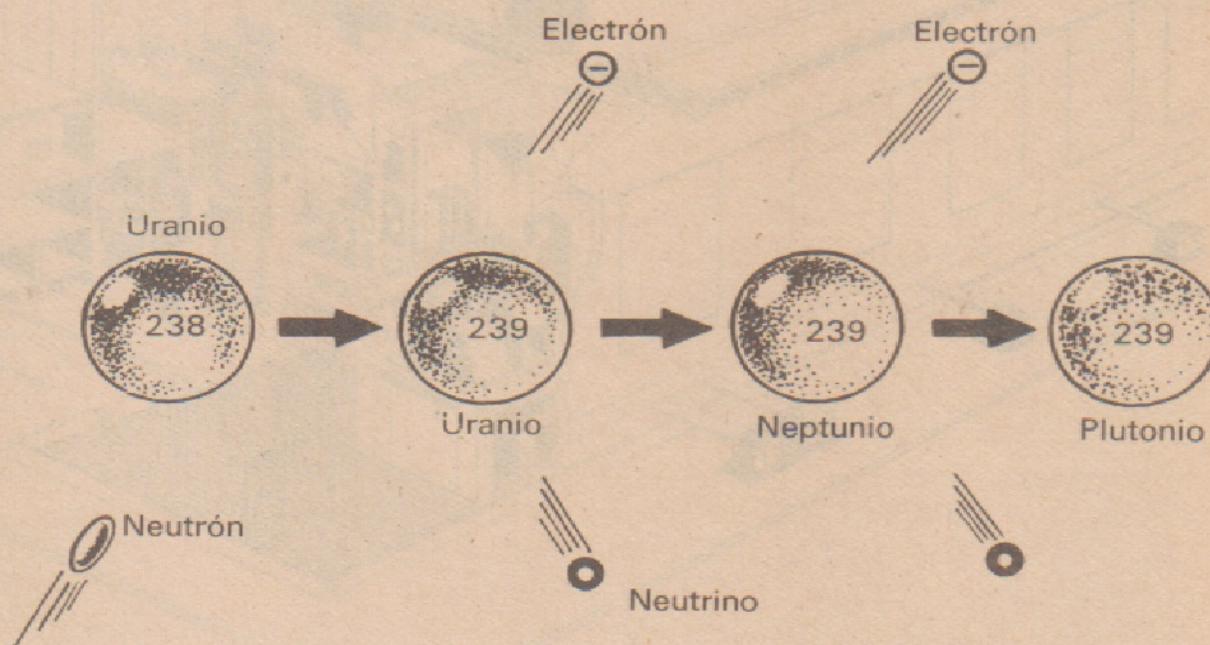


Fig. 1.35 Esquema de ciclo de reproducción del plutonio, a partir del uranio 238

En la figura 1.36 se muestra uno de los esquemas de trabajo principales de una instalación eléctrica atómica, y en la figura 1.37, su aspecto general.

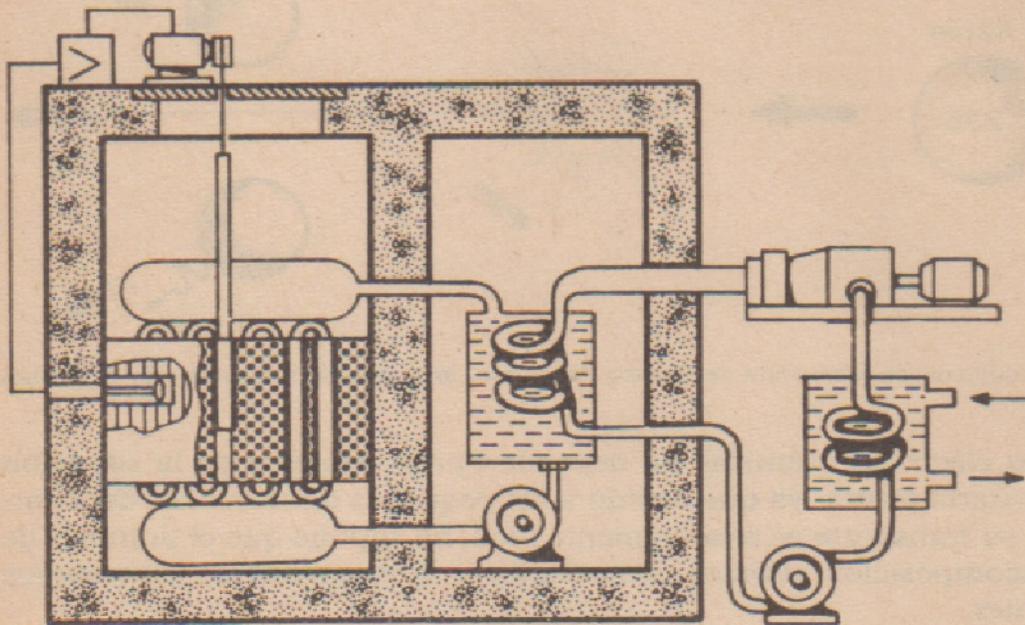


Fig. 1.36 Esquema de trabajo de una atomoeléctrica.

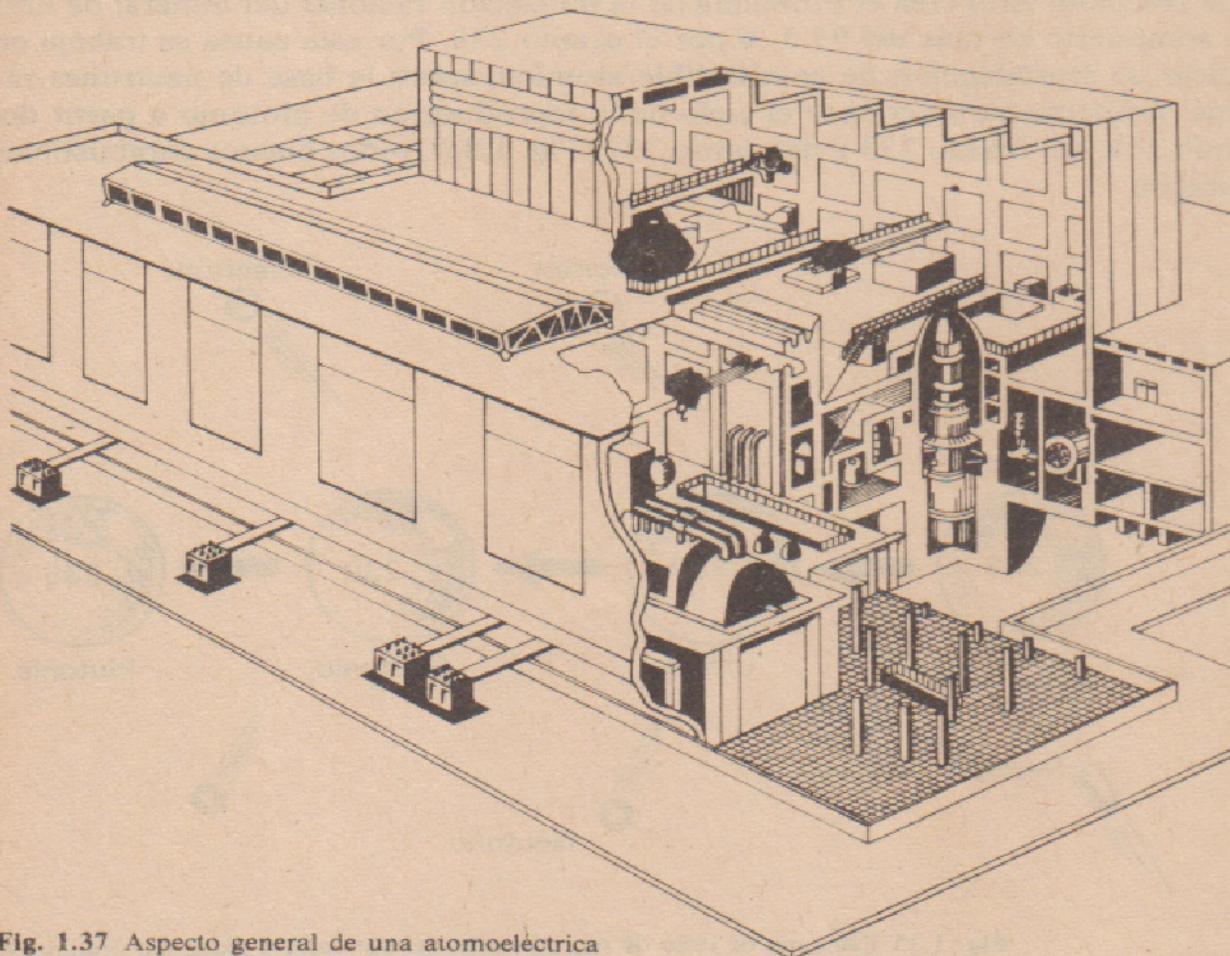


Fig. 1.37 Aspecto general de una atomoeléctrica

El reactor atómico constituye el elemento principal de la estación atomoeléctrica, y está compuesto por la zona activa; la pantalla (reflector); el sistema de enfriamiento; el sistema de mando, regulación y control; el cuerpo y la protección biológicas.

En los canales de trabajo de la zona activa se sitúa el combustible atómico, en forma de varillas de uranio o plutonio, cubiertas herméticamente con una capa de metal. En estas varillas tiene lugar la reacción nuclear acompañada de gran desprendimiento de calor. El número de varillas en la zona de trabajo puede alcanzar varios miles. En la zona activa se coloca el detector de neutrones, a través de ella también pasa un flujo de una sustancia portadora del calor. Como portador de calor se utiliza agua común, agua pesada, vapor, metales fundidos y gases inertes (gas carbónico, helio), etc.

Esta sustancia baña, con circulación forzada, la superficie de las varillas, calentándose y arrastrando el calor para su utilización ulterior. La zona activa está rodeada de una pantalla reflectora que regresa a los neutrones, los cuales tienden a escaparse. La potencia del reactor depende de la capacidad del líquido para arrastrar el calor de la zona activa.

El mando del reactor se lleva a cabo por varillas especiales que absorben los neutrones. Estas varillas se introducen en la zona activa, una vez allí, disminuyen el flujo de neutrones y, con ello, la intensidad de la reacción nuclear. El calor que se desprende en un reactor se puede utilizar en la industria con diferentes esquemas.

La seguridad del trabajo en las instalaciones eléctricas atómicas, depende principalmente del sistema de enfriamiento de la zona activa, por lo cual se hace necesario tomar medidas especiales. Por último, las estaciones eléctricas atómicas contaminan la atmósfera en mucho menor grado que las termoeléctricas corrientes, que envían a la atmósfera los residuos de su combustión; además, un buen proyecto siempre es capaz de garantizar un trabajo seguro y fiable.

Una fuente de obtención de electricidad afianzada en el mundo moderno, la constituyen las hidroeléctricas, que producen cerca del 5 % de la energía eléctrica mundial. En las hidroeléctricas se transforma la energía mecánica de un flujo de agua en energía eléctrica, mediante máquinas llamadas turbinas.

Cualquier flujo posee la energía cinética de su masa en movimiento, $E = \frac{mv^2}{2}$, la energía potencial; $E_p = mgH$, determinada por el peso de esta. El agua en movimiento presiona cualquier objeto que encuentre en su camino, esta presión se denomina dinámica. El agua en reposo presiona con una fuerza igual al peso de la columna de un líquido situado sobre una superficie (γH); esta presión se denomina presión estática. Como se conoce en las fórmulas mostradas, m es masa, v velocidad y H altura.

La potencia (N) de un flujo se puede expresar por la siguiente fórmula:

$$N = \frac{QH\rho g}{102}, \text{ kW};$$

donde: Q - caudal, m^3/s ; H - altura, m ; ρ - densidad del líquido, $kg \cdot s^2/m^4$; $\rho g = \gamma$ - peso específico, kg/m^3 ; g - aceleración gravitacional, m/s^2 .

En la práctica, esta magnitud es mucho menor debido a las pérdidas de energía, tanto mecánicas como hidráulicas, que tienen lugar en la máquina. La relación existente entre la energía que llega a la máquina y la que sale de ella, se conoce como

rendimiento. El rendimiento es un índice de aprovechamiento energético y es siempre inferior a la unidad.

En las turbinas hidráulicas tiene lugar la transformación de la energía hidráulica en energía mecánica, la cual hace rotar su árbol. Las turbinas se denominan activas si su principio de acción se basa en la utilización de la presión dinámica del agua, y reactiva si se basa en la utilización de la presión mediante la reacción. En la figura 1.38 se muestra un esquema de una estación hidroeléctrica.

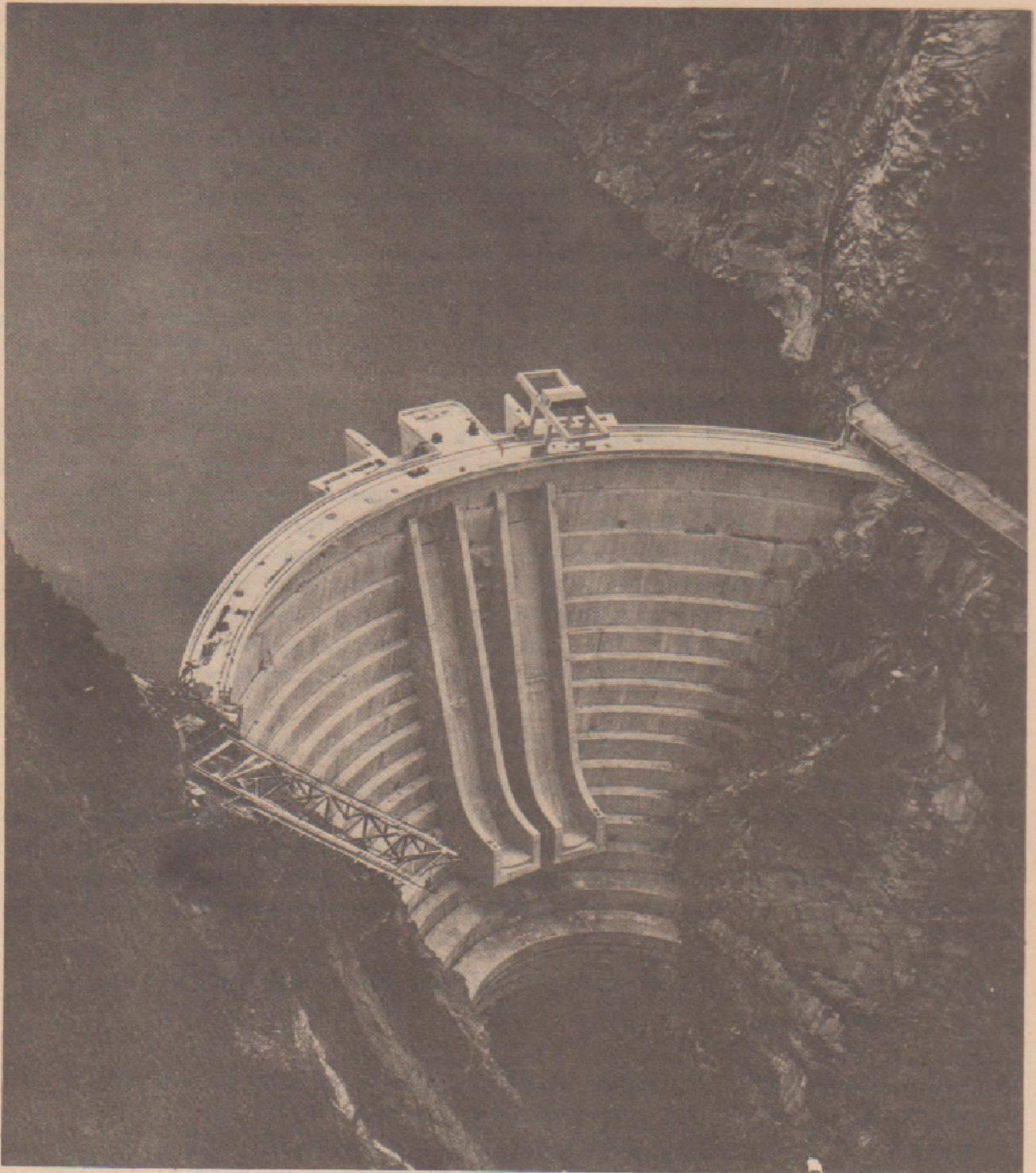


Fig. 1.38 Aspecto general de una hidroeléctrica

Existen otras fuentes de energía cuya utilización está limitada, como la energía de las mareas, del viento, de las olas, del calor interno de la tierra, de la diferencia de temperatura entre las aguas de la superficie y del fondo del mar, etcétera.

De estas formas de energía, tiene un gran interés, por su posible utilización, la energía del viento. La utilización de las centrales eólicas se dificulta debido a: la irregularidad de la posible obtención de energía, la necesidad de regular la instalación para estabilizar los parámetros de la energía, y otros problemas. Su aplicación puede tener interés en Cuba, solo como pequeña fuente de energía local.

De tal forma, una de las principales líneas del desarrollo la constituye el crecimiento acelerado de la industria energética, y las principales formas de producción de energía eléctrica son las termoeléctricas, donde se quema combustible atómico; y también, aunque en menor grado, las hidroeléctricas, cuya utilización está limitada a la existencia de grandes recursos fluviales que no existen en Cuba. A este respecto, la Plataforma Programática del Partido Comunista de Cuba plantea:

Se desarrollará la industria energética, para lo cual se requiere la instalación de nuevas capacidades de refinación de petróleo y de generación y transmisión eléctrica, incluyendo la construcción de la primera planta electronuclear en Cuba, vía que se presenta como la solución más económica y perspektivamente más segura.

Al mismo tiempo se continuarán realizando investigaciones geológicas en la búsqueda de yacimientos minerales, entre ellos, el petróleo.

La producción de energía eléctrica en Cuba aumentó de 1 760,4 millones de kWh en 1958 a 5 412,8 millones en 1975, mientras que la potencia instalada de 397 000 kW en 1959, ya se había triplicado en 1975, ambos índices han continuado su ritmo acelerado de crecimiento hasta el presente.

Cerca del 35 % del combustible en el país, lo constituye el bagazo de caña que se quema en los hornos de los ingenios azucareros. El petróleo importado de la URSS constituye nuestra principal fuente energética, que se basa en plantas termoeléctricas. Como quiera que la producción nacional de este combustible ha variado alrededor de un 4-5 % de acuerdo con las necesidades de consumo, y Cuba es uno de los principales consumidores per cápita de América Latina, la cantidad de petróleo que es necesario importar y la distancia a transportarlo se hace considerable. Por lo tanto, cobra gran importancia la localización y explotación del petróleo en el ámbito nacional, cuestión esta que se plantea en la *Plataforma Programática del Partido Comunista de Cuba*.

No menos importancia tiene la tarea de ahorrar petróleo (combustible en general), para lo cual existen dos vías principales:

- a) la aplicación de medidas organizativas que eliminen el gasto innecesario;
- b) la utilización de máquinas y procesos de mayor rendimiento, en particular la utilización de máquinas en regímenes racionales de trabajo y procesos, en forma más efectivas.

Estas tareas forman parte esencial del contenido de trabajo de los ingenieros de explotación y de procesos.

² *Plataforma Programática del Partido Comunista de Cuba*, p. 62.

En Cuba hay más de 50 termoeléctricas de uso general, y entre las mayores se encuentran la del Mariel, proyectada para una capacidad de 500 kW, y su similar, la Renté, en Santiago de Cuba, construida con la ayuda de la URSS.

Es necesario señalar que para poder producir en las plantas níquelíferas "René Ramos Latour", de Nicaro y "Pedro Soto Alba", de Moa, se hizo necesario construir termoeléctricas en cada una de ellas, con potencias de alrededor de 20 000 kW. En las nuevas plantas también se proyecta la construcción de termoeléctricas. Al mismo tiempo se proyecta la construcción en Cienfuegos, en el próximo quinquenio, de la primera atomoeléctrica, equipada con dos reactores de 440 000 kW, para una potencia total instalada de 880 000 kW, superior a toda la potencia eléctrica instalada en el país en 1958. En Cuba funcionan dos hidroeléctricas, una en el Hanabánilla, con una potencia de 30 000 kW, y otra en Guaso, Guantánamo.

No menos importancia ha tenido la creación del sistema energético nacional, que ha unido las principales centrales eléctricas en un sistema único, mediante la construcción de líneas de transmisión, entre ellas, la primera línea de 220 kV, que une Santiago de Cuba con Nuevititas y tiene una longitud de 280 km. En 1978 se llevó a cabo la unión del este de la provincia de Holguín, Moa, con el sistema energético nacional, mediante una línea de transmisión de 33 kV y actualmente se construye una línea de 220 kV.

Breve reseña histórica de la producción minero metalúrgica en Cuba

La minería de los aborígenes cubanos se encontraba en la etapa recolectora; conocían algunos minerales y posiblemente los lugares donde estos abundaban, muchos de los minerales pertenecían a las llamadas piedras tintoras, las cuales utilizaban para la fabricación de tintes que a su vez empleaban con el objeto de protegerse de los insectos, embellecer el cuerpo y en diferentes rituales religiosos. Utilizaban instrumentos de piedra y dominaban la alfarería, es decir, no utilizaban los metales y, por ello, la metalurgia; también desconocían la rueda.

El descubrimiento de América cortó en forma brutal el desarrollo natural de la sociedad aborígen, que en Cuba se encontraba en plena edad de piedra. Este hecho relevante en la historia de la humanidad, constituyó para los indígenas una verdadera desgracia. Los conquistadores españoles en poco tiempo impusieron las ventajas de su nivel de desarrollo y esclavizaron la población indígena. La actividad minera se centró en la búsqueda de oro, el cual se encontraba en yacimientos superficiales y placeres, diseminados por toda la isla; aún existen vestigios de estos cerca de Holguín, en la zona de Güaimaro, en el Río Arimao, al sur de la parte central del país y en la Isla de la Juventud.

La primera fundición de oro en la Isla de Cuba, se estableció en la Ciudad de Bayamo, en 1512 y fue trasladada poco tiempo después a Santiago de Cuba, a la residencia del gobernador Diego Velázquez, que hoy día se conserva como museo y se considera la edificación española más antigua en América.

La escasez de oro no ofrecía perspectivas al conquistador, cuyo único objetivo consistía en el enriquecimiento rápido y fácil. La actividad minera decayó rápidamente y poco tiempo después del descubrimiento, miles de colonizadores hispanos abandonaron el país tras las huellas de Hernán Cortés hacia la conquista de México, lo que unido al casi total aniquilamiento de la población indígena provocado por la matanza en masa, las enfermedades y la expoliación inhumana a que fueron sometidos, determinó la casi total despoblación de la isla en el siglo XVI.

La actividad minera en el país fue muy limitada en la primera parte del período colonial, y se reducía principalmente a la obtención de materias primas para la construcción y la alfarería. Sin embargo, desde el descubrimiento era conocida la existencia en el país de hierro y cobre. En 1530 se fundió por primera vez cobre del mineral obtenido en el cerro de Cardenillo, cerca de Santiago de Cuba. En 1540 comenzó la fundición de cobre con minerales de este yacimiento, alrededor del cual se fundó un pueblo denominado, a fines del siglo XVI, Santiago del Prado. Estas labores constituyeron la primera explotación minera de cobre en América; la historia de las luchas sociales de los habitantes de esta región, enclavada en el actual poblado de El Cobre, constituye una de las primeras y más persistentes manifestaciones de lucha contra la explotación. La extracción se llevó a cabo en forma irregular e inestable, determinada por los intereses de proveedores y usuarios de este metal en la metrópolis.

Durante decenios estas minas pasaron por etapas alternas de auge y decadencia, pero a pesar de eso, Cuba llegó a ser la segunda exportadora de este metal en el mundo. El producto se llevaba principalmente a Inglaterra, que era el primer consumidor después de la revolución técnica del siglo XVIII. Estas minas se encuentran actualmente en explotación mediante el sistema de laboreo a cielo abierto, junto a las viejas excavaciones subterráneas, y se ha instalado una pequeña planta de beneficio en la cual se obtiene un concentrado con un 18-20 % de contenido de metal.

A fines del siglo XVI se creó una fundición en La Habana, con el objeto de producir metales para fabricar la artillería indispensable para las fortificaciones de la ciudad; esta fundición utilizaba materia prima de las minas de Bacuranao, las cuales se agotaron rápidamente y obligó a poner en actividad las antiguas minas de El Cobre, comenzando así una etapa de gran auge en su explotación. Las necesidades nacionales de este metal se incrementaron a fines del siglo XVII, debido al desarrollo de la industria azucarera.

La historia de la minería en Cuba está muy ligada a la historia del cobre. Durante todo el siglo XVII la minería cubana prácticamente no existió, limitándose a la extracción de cobre en pequeñas cantidades, solo con importancia local. A comienzos del siglo XVIII empezó de nuevo la extracción de cobre en diferentes yacimientos, tanto en la parte oriental como central de la isla, determinada por las necesidades crecientes de la industria azucarera; sin embargo, el poco volumen de producción creó la necesidad de importar este metal de Nueva España y Perú.

La situación precaria en la industria minera se mantuvo hasta la década de 1830 a 1840, donde se nota un incremento de esta industria. Como en años anteriores, el principal producto de la industria minera lo constituyó el cobre que se extraía en la zona oriental, aunque se conocían otros yacimientos de este mineral en distintas partes de la isla, por ejemplo en Bayatabo (1846), cerca de Nuevitas; San Fernando (1856), en la región de Cienfuegos y en Bacuranao, cerca de La Habana. Otros yacimientos de mineral de cobre están dispersos por toda la isla.

En 1846 comenzó la explotación de los mármoles de Isla de Pinos. Como en épocas anteriores continuó la extracción, con características locales, de cal, yeso, arcilla para tejas y ladrillos, así como otros materiales de construcción que se encontraban diseminados por todo el país. Entre 1840 y 1860 aparece en Cuba una metalurgia que utiliza equipos mecánicos y cuya principal labor consiste en la fundición de piezas y elementos de hierro para la industria azucarera.

La guerra liberadora cortó la explotación de la riqueza minera cubana y, en particular, la extracción de cobre en la parte oriental de la isla. En 1887 comenzó

la extracción, cerca de Santiago de Cuba, de mineral de manganeso. Durante años la extracción obtenida se dedicó a la exportación hacia los Estados Unidos, país que no cuenta con yacimientos significativos. Con la penetración del capital norteamericano después de la guerra, comienzan a explotarse, en gran escala, una serie de yacimientos, principalmente de hierro y manganeso.

En 1883 comienza la extracción de hierro cerca de Santiago de Cuba, que posteriormente se amplió a otras regiones de las antiguas provincias de Oriente, Camagüey y Las Villas. Los trabajos fueron iniciados por la compañía norteamericana *Juragua Iron Company* y, posteriormente, en 1892, se constituyó la *Spanish American Iron Company*, que explotó los yacimientos de Daiquiri (Santiago de Cuba). La primera de estas compañías extrajo más de seis millones de toneladas, y la segunda, más de once, producción que fue vendida a precios muy bajos.

La dominación norteamericana llegó a Cuba prácticamente con el siglo XX y con ella aumentó la extracción de hierro y manganeso, así como de otras materias primas indispensables para la industria metalúrgica norteamericana. La extracción de hierro se intensificó desde 1899 hasta 1920, cesando en 1939; mientras que el manganeso se extrajo durante todo el periodo de la seudorrepublica y se incrementó su extracción particularmente durante la Segunda Guerra Mundial (1940-1945). El más grande de los yacimientos de manganeso cubano, el de Charco Redondo, produjo un mineral con alto contenido de metal y su explotación cesó en 1969.

Tanto el hierro como el manganeso y demás minerales, se extrajeron como materia prima para la industria norteamericana, que lo obtenía a bajos precios y no estaba interesada en el desarrollo de la industria nacional. La metalurgia de estos metales prácticamente no existió, limitándose la transformación de los minerales a su enriquecimiento en pequeñas plantas de beneficio, situadas junto a los yacimientos. La mayor de estas instalaciones fue la planta de calcinación y flotación de El Cristo (Santiago de Cuba), montada en 1929 y que funcionó hasta 1941.

Antes de la Primera Guerra Mundial (1914-1918), se comenzó la extracción de minerales de cobre en nuevos yacimientos. En 1913 se inició la explotación de la mina Matahambre, actualmente en funcionamiento y principal productora de cobre del país. En 1918, junto a esta mina se construyó una planta de concentración por flotación para beneficiar el mineral, que estuvo en funcionamiento hasta 1956 y, seguidamente, la mina Francisco, en 1915, en explotación hasta 1957.

Otro metal de cierta importancia en la industria minera nacional, en la época de la seudorrepublica, lo constituyó el cromo, que se usa en la producción de aceros aleados y ampliamente en los recubrimientos inoxidable, además de que sus minerales se utilizan en la fabricación de ladrillos refractarios. Los minerales de este metal se extrajeron en Camagüey y Oriente, en esta última provincia, en la zona de Cayo Güam, cerca de Moa, actualmente provincia Holguín, donde aún hay yacimientos en explotación.

A principios del presente siglo comienza la explotación de los yacimientos lateríticos cercanos a Mayarí, en el norte de la antigua provincia Oriente. La extracción de estos minerales se llevó a cabo con el objeto de utilizar el hierro como materia prima, para satisfacer las necesidades crecientes de la industria siderúrgica norteamericana. Durante algunos decenios fue conocido en el mercado mundial el acero "Mayarí", fabricado con el hierro de estos minerales ricos en componentes útiles, entre ellos el níquel. La gran demanda de níquel como material estratégico y la utilización del proceso de lixiviación amoniaca, para su extracción de las lateritas, permitió que en 1939, a comienzos de la Segunda Guerra Mundial, el capital norteamericano construyese una planta metalúrgica para la obtención de este

metal en Lengua de Pájaro (Nicaro), cerca de Mayarí. Esta planta fue construida con urgencia para satisfacer las necesidades armamentistas norteamericana, y se cerró al concluir la guerra; pero comenzó de nuevo a funcionar al iniciarse la Guerra de Corea. Actualmente se encuentra en funcionamiento y constituye la Empresa "René Ramos Latour" con un proceso completo para la obtención de óxido de níquel con un contenido de 88 % de metal.

Desde 1939 las lateritas comenzaron a utilizarse como fuente de níquel y cesó la extracción de hierro de ellas. Las grandes ventajas en la obtención de níquel, indujo a los inversionistas americanos a construir una segunda planta en Moa, la cual, al triunfo de la Revolución en 1959, aún no se encontraba en funcionamiento. La puesta en marcha de esta planta en 1961, que actualmente lleva el nombre de "Pedro Soto Alba", mártir de la Revolución caído en la toma del poblado de Moa, en 1958, constituye uno de los grandes logros de los ingenieros y obreros cubanos y de la ayuda internacionalista de especialistas soviéticos. Esta planta utiliza el proceso de lixiviación ácida, diferente al utilizado en Nicaro. Su proceso es incompleto pues en ella se obtiene sulfuro de níquel, con un contenido de 54 % de metal, el cual debe someterse a un proceso posterior para la obtención del níquel.

Como en épocas anteriores, en el siglo XX continuó la extracción de diferentes materiales de construcción para uso local, pero además se intensificó la producción de minerales no metálicos.

En conclusión, durante todo el periodo de la colonia y la seudorrepública, la minería cubana fue fuente abastecedora de materia prima para el desarrollo creciente de la industria de grandes potencias: España primero, Inglaterra y Estados Unidos más tarde, con todas las desventajas politicoeconómicas que se derivan de tal condición. La explotación se llevó a cabo en forma irracional, extrayéndose los minerales de mayor contenido con el mínimo de inversión. Las industrias que utilizaban esta materia prima, se construían en los países importadores, los cuales adquirirían estas a precios muy bajos, en detrimento de los intereses nacionales, que veían cómo sus riquezas no renovables iban a formar parte de la base técnicomaterial de otros países.

La minería de materiales de construcción o de otros materiales indispensables a las industrias locales, conservó ciertas características nacionales, siempre como procesos auxiliares, indispensables a un proceso de producción principal que utilizaba la materia prima en forma directa o con una transformación primaria, y cuya realización en el lugar era económicamente ventajosa.

La metalurgia tuvo también estas mismas características y en el mejor de los casos, se logró la fundición de piezas y elementos, pero no la producción de metal a partir de minerales del país, en particular hierro y acero, que constituyen la base del desarrollo técnico material. Una excepción lo constituye el níquel, que fue una de las formas de explotación de la riqueza nacional por el capital extranjero, y cuya metalurgia se encontraba bastante desarrollada en el país.

Las necesidades de la guerra obligaron a construir la planta de Nicaro con un proceso completo, pero con una construcción transitoria; el incremento posterior de la demanda del metal determinó la construcción de la nueva planta en Moa; esta vez con un diseño de mayor alcance, pero solo se construyó una planta en la que se realiza una parte del proceso, mientras que el producto terminado se podía obtener en la segunda parte de la planta, la cual concluía el proceso, pero que se construyó en Louisiana, Estados Unidos.

La mecanización de la industria minerometalúrgica fue la mínima indispensable para garantizar el proceso de producción en las diferentes etapas. Las máquinas eran de importación y en Cuba no se desarrolló una verdadera industria de construcción de maquinarias. Sin embargo, las necesidades de la producción obligaron a introducir muchos adelantos técnicos de la época.

La máquina de vapor se introdujo por primera vez en 1819, para mover los molinos del ingenio "Cambre", en Güines (la Habana) y durante años se utilizó solo en la parte occidental de la isla. La región oriental empleó su primera máquina de vapor en 1843.

Las penurias de la industria azucarera obligaron a introducir el ferrocarril en 1837, necesidad técnica de la época que aún no se utilizaba en la metrópolis, siendo Cuba el segundo país donde se aplicó.

Es interesante que los problemas del transporte constituyeran una de las principales dificultades de la explotación minera, sobre todo cuando los yacimientos se encontraban alejados de la costa y la producción era considerable. La principal forma de transporte consistía en arrias, y en el caso de la mina de El Cobre, se llegaron a importar camellos con el objetivo de transportar el mineral al puerto, hasta que en 1843 se construyó un ferrocarril. Un complejo de transporte novedoso y de gran interés, fue el inclinado de los Pinares de Mayarí; construido en 1909 con el objetivo de descender el mineral de hierro desde la Sierra de Pinares. Actualmente en funcionamiento. Este inclinado está formado por dos instalaciones equipadas con winches, accionados con máquinas de vapor; tiene una longitud de 2 066 m, la mayor, y algo más de medio kilómetro la menor; además, posee nueve trenes de carros con una capacidad de carga de 50 t, cada uno.

Otra instalación de transporte de gran interés, se construyó años después para trasladar el mineral de cobre desde Matahambre hasta el puerto de Santa Lucía, y consiste en un funicular con una longitud de unos 11 km. El accionamiento se lleva a cabo mediante motores eléctricos y tiene un sistema automatizado para la carga y descarga del mineral.

Durante años, la principal forma de energía en Cuba fue la muscular (indios y negros esclavos, así como animales domésticos). La energía hidráulica de los ríos se utilizó en pequeña escala, principalmente para mover molinos de tabaco y producir polvo rapé, de gran aceptación en el mercado mundial en una época.

Al triunfo de la Revolución, la potencia eléctrica total instalada en la isla, como ya se ha dicho era de 397 000 kW y con máquinas bastante envejecidas. La lucha, en el período de la seudorrepublica, contra la explotación de la compañía eléctrica, conocida como el "pulpo eléctrico", es un ejemplo reciente de la lucha del pueblo cubano contra la explotación extranjera y por preservar nuestras riquezas, contenida en la que se destacó Antonio Guiteras.

Estado actual y perspectivas de la industria minero metalúrgica en Cuba

El desarrollo de la industria minero metalúrgica en Cuba, en los años posrevolucionarios, se caracterizó por la transformación de la minería, de una actividad esporádica determinada por leyes de desarrollo ajenas a los intereses nacionales, en un proceso de producción planificado para mejorar las condiciones de vida del pueblo. Al mismo tiempo, esta industria constituye una fuente estable de divisas, necesarias para el desarrollo. En los próximos años la minería cubana deberá con-

servar estas características principales, pero experimentará evoluciones estructurales que gradualmente la irán convirtiendo en fuente de materia prima para nuestra propia industria.

La industria pesada, en particular la metalurgia, constituye la base del desarrollo económico actual de la humanidad, de aquí la enorme importancia que tiene el crecimiento de la industria minero metalúrgica nacional. Pero el desarrollo de cualquier industria está determinado por leyes de carácter social, económicas y por condiciones técnicas. Al triunfo de la Revolución se crearon las condiciones indispensables para el desarrollo proporcional y planificado de nuestra sociedad, en beneficio de todo el pueblo. Es decir, que existen condiciones sociales para la explotación racional de nuestros recursos y el aumento del nivel de vida del pueblo.

Los minerales lateríticos, cuyos recursos se calculan en unos 3 000 000 de t, depositadas principalmente en el nordeste de la provincia de Holguín, constituyen nuestra principal riqueza minera actual. Las lateritas son minerales de color carmelita rojizo, de consistencia arcillosa que se han originado a partir de una roca inicial, la serpentina, con una composición diferente por la acción de la lluvia en condiciones climáticas y topográficas favorables.

El principal componente de las lateritas lo constituye el hierro, cuyo contenido alcanza un 48 % y más. La alúmina, mineral de aluminio (Al_2O_3), llega a alcanzar hasta un 14 %. Pero además, en la laterita se encuentra níquel, cobalto, cromo, manganeso y otros metales. Desde el punto de vista industrial, tiene gran importancia el contenido de níquel, mineral que se extrae actualmente. Cuando el contenido de níquel alcanza más de 1,35 %, las lateritas se suelen denominar niquelíferas. Por debajo de este contenido se denominan ferruginosas.

La producción de níquel en las dos plantas existentes, Nicaro y Moa, ha sido de 36 000 t de metal al año. Actualmente se lleva a cabo la reconstrucción de ambas plantas, lo que permitirá aumentar la producción hasta 48 000 t. Al mismo tiempo se construye, con la ayuda de la URSS, en Punta Gorda, a 12 km de Moa, una tercera planta que utilizará el mismo proceso tecnológico que la actual planta de Nicaro, y que debe alcanzar su capacidad de producción de 30 000 t de metal en el presente quinquenio 1981-1985.

Con la ayuda del Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME), se llevan a cabo los estudios para la instalación de una cuarta planta productora de níquel, con una capacidad en su primera línea de 30 000 t, y una capacidad final de 60 000 t, que será construida en Camarioca, en la misma región. Es decir, que la reconstrucción de las plantas existentes y la construcción de dos nuevas plantas deben aumentar la producción de este metal cuatro veces más, o sea, 138 000 t.

La obtención de un producto con un alto contenido de níquel, constituye un proceso metalúrgico, y estas plantas son verdaderos complejos minero-metalúrgicos. Las reservas mineras existentes, el buen precio del metal en el mercado mundial y su gran demanda, hacen que las inversiones en esta industria se recuperen (se amorticen) en un tiempo inferior a los periodos de amortización característicos de la industria metalúrgica, y además, el desarrollo de esta riqueza debe servir de base para la industrialización del país y, con ella, la creación de la base técnico-material del socialismo.

A este respecto en la Plataforma Programática del Partido Comunista de Cuba, se dice:

La producción de níquel recibirá un impulso acelerado, lo cual entraña importantes inversiones tanto en la rehabilitación de las dos plantas existentes como

en nuevas plantas, de manera que en la próxima década se convierta en un renglón de mucha mayor importancia.³

La industria siderúrgica constituye la base indispensable para la industrialización. Es la encargada de alimentar de materia prima nuestra industria mecánica, pivote de la industrialización proyectada. El inicio de la producción siderúrgica integrada, en el nordeste de Holguín y la elaboración de laminados y perfiles en la próxima década, permitirá a Cuba elevar, a los niveles requeridos, a su base metalúrgica. Es necesario continuar la investigación científica dedicada al estudio de los yacimientos de hierro laterítico y a la búsqueda de materiales de reducción que resulten adecuados para Cuba, pues nuestro país no posee una base carbonífera.

Como señalamos anteriormente, las lateritas níquelíferas contienen otros metales además del níquel. El cobalto se obtiene simultáneamente del proceso de extracción del níquel, sin que se separe del producto final. Otro de los componentes de gran importancia para el desarrollo de la industria minero metalúrgica nacional, lo constituye el hierro.

Los procesos tecnológicos aplicados actualmente para la producción de acero, no utilizan minerales oxidados de hierro. En la práctica, para poder utilizar el hierro como materia prima para la obtención de fundición, se hace necesario reducirlo previamente, es decir, disminuir el contenido de oxígeno y con ello, aumentar el de hierro en el compuesto químico. Esta reducción se lleva a cabo en hornos que utilizan carbón de piedra, como principal elemento reductor. El proceso consume gran cantidad de energía en forma de combustible que no existe en nuestro país; por esta causa, la utilización del mineral oxidado para la obtención del hierro bruto, se convierte en un proceso costoso. Sin embargo, en el proceso de lixiviación amoniaca del níquel, es indispensable reducir a metal, previamente, el óxido de níquel contenido en el mineral, y con ello se reducen también los minerales de hierro. Es decir, la reducción del hierro se lleva a cabo de todas formas en el proceso de reducción del níquel, de esta manera se obtienen como desechos del proceso, grandes cantidades de mineral o de hierro reducido (colas), aptas para ser utilizadas en el proceso de producción del hierro bruto (en la obtención de una tonelada de níquel aparecen como desecho 70 t de hierro reducido).

Como quiera que estos minerales contienen además un grupo de componentes considerados útiles en el acero, como el cromo, el manganeso y los residuos de níquel; estas colas se convierten en un material ya extraído que puede ser utilizado para la obtención de aceros especiales (aleados como componentes útiles). Mucho más si se toma en consideración que los gastos para la reducción, realizados a costa de la obtención del níquel (proceso por sí solo rentable), deben compensar las dificultades creadas por la ausencia de hulla (carbón mineral utilizado para la fabricación del coque y que es el combustible empleado en la obtención del hierro en los altos hornos).

Con estas consideraciones se proyecta actualmente un enorme complejo metalúrgico, que se construirá cerca de Mayarí, y el cual debe producir 1 800 000 t anuales de acero de alta calidad, a partir de las colas de Nicaro. Este complejo constituye una obra industrial grandiosa, comprendida dentro del plan de desarrollo integral de explotación de las lateritas del norte de Holguín; una de las vías más plausibles para el desarrollo industrial del país.

³ *Plataforma Programática del Partido Comunista de Cuba*, p. 62.

De tal forma, la utilización rentable de las colas de lateritas níquelíferas cubanas, en la industria metalúrgica es una realidad actual y está planteada en la *Plataforma Programática del Partido Comunista de Cuba*. Sin embargo, las posibilidades de utilización industrial más completa de lateritas ferroníquelíferas, de fácil extracción, plantean la solución de una serie de tareas científicotécnicas a largo plazo, ellas son:

- a) beneficio industrial (rentable) de los minerales de hierro oxidado;
- b) separación industrial (rentable) del cobalto;
- c) separación industrial (rentable) del cromo;
- d) separación industrial (rentable) del aluminio.

Todas estas tareas son técnicamente solubles, pero queda aún el problema de la rentabilidad del proceso industrial, la solución del cual debe ser una realidad no lejana, por lo menos en los dos primeros casos señalados. La producción de materiales de construcción es otra de las líneas fundamentales de desarrollo de la minería nacional. La gran demanda que impone el crecimiento económico del país, plantea la necesidad del desarrollo acelerado de esta industria, en la cual se han logrado grandes éxitos en los últimos años.

La producción de cemento en Cuba aumentó de 758 000 t a 2 700 000, desde 1958 a 1978; a las antiguas fábricas del Mariel y Santiago de Cuba, existentes antes del triunfo de la Revolución, se les agregaron las fábricas "26 de julio", de Nuevitas; "Sigüanea", de Sancti Spiritus y "Mártires de Artemisa", de La Habana, cuya primera línea fue inaugurada en 1980.

La necesidad de este producto obliga a prever la construcción de nuevas fábricas en el país, y los cálculos demuestran que la producción debe alcanzar más de 7 000 000 de t, a finales de siglo.

Por otra parte, se deberá incrementar la producción de otros materiales de construcción, principalmente de áridos, entre los cuales reviste gran importancia la arena, el rajón, la piedra, la gravilla, etc. Estos materiales se obtienen mediante la fragmentación, en mayor o menor medida, de rocas calizas y areniscas, para lo cual se ha instalado y se preve instalar un número de plantas con capacidades de 100 000 a 500 000 m³, lo que elimina de esta actividad su característica artesanal para convertirla en un verdadero proceso industrial.

Algunos materiales de construcción como la arena o la grava, se obtienen en forma natural, o sea, depositada en diferentes yacimientos. En estos casos la preparación se reduce al lavado, operación que se lleva a cabo en plantas instaladas al efecto. Sin embargo, la acumulación (sedimentación) de estos materiales en ríos antiguos y actuales, o en el mar, no abunda, por lo que en muchos casos es necesario obtenerlos mediante la trituración, molienda y cribado de rocas de mayor tamaño; esto es lo que suele hacerse en muchas plantas del país.

Estas dos líneas de producción serían suficientes para hablar de las posibilidades del desarrollo de la rama minero metalúrgica en nuestro país, que posee pequeña extensión territorial y población. Sin embargo, estas posibilidades son aún mayores por la presencia de otros materiales útiles.

El cobre es otra de las ramas con perspectivas significativas para el desarrollo minero nacional. Actualmente, el mineral de este metal se extrae en las antiguas minas de "El Cobre" y en la unidad minera "Capitán Alberto Fernández", en Matahambre. En ambos casos, junto a la unidad de producción existe una planta de concentración de mineral.

En el país se conocen otros muchos yacimientos de cobre de mayor o menor tamaño, principalmente en la zona de Pinar del Río. Actualmente se construye una mina subterránea para la extracción de minerales de cobre, en Júcaro, cerca de Bahía Honda. Es indudable que en años venideros debe continuar el desarrollo de esta industria, y se crea la interrogante acerca de la creación de la metalurgia de este metal, capaz de producir cobre para la industria nacional.

Cerca de Matahambre, en Pinar del Río, se encuentra la mina "Julio Antonio Mella", que produce pirita (sulfuro de hierro), como materia prima para la producción de ácido sulfúrico en la planta de Santa Lucía, poblado que está junto al puerto del mismo nombre, y la cual es capaz de recuperar algunos metales no ferrosos, constituyendo otra de las instalaciones con posibilidades metalúrgicas de importancia en el país. Las reservas de esta unidad minera se están agotando, por lo que en años venideros comenzarán a extraerse las grandes reservas de este mineral que se encuentran en las propias minas de cobre de Matahambre.

Grandes perspectivas presentan los yacimientos polimetálicos de Santa Lucía y Castellanos, cuya explotación debe comenzar en los próximos años y que deben ser fuentes abastecedoras de diferentes metales, principalmente de plomo y zinc. En dicha zona también se extrae baritina, material no metálico que se destina a la producción de pintura, entre otros usos, y fosforita, que se emplea como base para la obtención de fertilizantes fosfatados.

Como se ve, la zona norte de la provincia de Pinar del Río constituye un territorio de importancia minera para el país, con grandes perspectivas de desarrollo. En esta provincia también se conocen yacimientos lateríticos de mucho menos importancia que los orientales, y se ha detectado la presencia de bauxita, principal mineral en la obtención del aluminio. Por último, además de los materiales de construcción que se extraen en Pinar del Río, como en el resto del país, se obtiene arena sílice, materia prima de gran importancia para la obtención del vidrio, del cual se ha construido un gran combinado en La Habana, con la ayuda de la República Popular Democrática de Hungría.

La sal común es otro de los productos de nuestra industria minera, que se obtiene mediante la evaporación natural de las aguas de mar. En el país existen 12 salinas, de las cuales la mayoría situada en la zona de la Bahía de Guantánamo. La más grande de estas salinas, la "Frank Pais", en Caimanera, situada junto a la Base naval norteamericana enclavada en nuestro territorio nacional, posee una pequeña planta de lavado, molienda y clasificación de sal; otras salinas se encuentran en Puerto Padre, las Tunas; en Santa Lucía, junto a la playa del mismo nombre, conocido balneario de la provincia Camagüey; dos más en el norte de Las Villas y, por último, la salina de Bidó, situada cerca del poblado de Itabo, en la provincia de Matanzas. La mayor parte de estas salinas cuentan con pequeñas plantas de molienda y envase del producto.

La producción de sal común en el país sobrepasa las 250 000 t, pero su desarrollo en los próximos años debe ser acelerado para poder satisfacer las necesidades de la industria química, la ganadería y la industria alimentaria. Ante esta industria se plantea no solo la obtención del cloruro de sodio, sino también de diferentes sales de gran importancia, que se encuentran disueltas en el agua de mar. Con este fin se proyecta la construcción, en Puerto Padre, de un combinado salinero, que no solo debe ampliar la producción de sal común, sino también obtener otros productos. En diferentes lugares del país se lleva a cabo la extracción de minerales no metálicos, de gran perspectiva en la minería nacional; a este grupo pertenece el mármol, que se extrae cerca de Bayamo y en Isla de la Juventud; el ca-

olin, en Isla de la Juventud y las provincias orientales; el feldespató, en la zona de Holguín y de Camajuani, etcétera.

Otro de los metales que se extrae en el país es el cromo. Actualmente se explotan los yacimientos de Yamanigüey, que se benefician en una pequeña planta situada en el poblado de Punta Gorda, cerca de Moa. Las reservas existentes en la zona permiten predecir el desarrollo de esta industria.

Es necesario señalar que en el país se conocen yacimientos de otros minerales, en particular manganeso, cuya explotación estará en dependencia de determinadas coyunturas favorables. No menos importancia, desde el mismo punto de vista, tienen los enormes yacimientos de turba, combustible fósil ligero de reciente formación, creado por la descomposición, en un medio pobre de oxígeno, de vegetales ricos en carbono, y que posee cierto poder calorífico, existente en la península de Zapata, cuya explotación podrá crear una nueva línea de la producción minera en el país. Estos materiales pueden utilizarse como combustible, o lo que es aún mejor, como materia prima para la industria química.

Con respecto a la metalurgia ferrosa, la producción de acero ha pasado de 24 000 t en 1958, a 350 000 t, en 1978. Los principales combinados están situados en El Cotorro, y en Guanabacoa, ambos en la provincia Ciudad de La Habana. La ampliación de las capacidades existentes en el país permitirá aumentar la producción de metal. Sin embargo, aunque con procesos diferentes, hornos Martin y arco eléctrico, estas plantas obtienen el acero a partir de la chatarra, la cual, en gran parte, es de importación. El 50 % del acero que se obtiene en el mundo se logra a partir de la chatarra, pero en nuestro caso se plantea evidentemente la tarea de recuperar y seleccionar más eficazmente este desecho, producido cuando se desactivan máquinas y equipos, tarea en la que indudablemente participan los ingenieros electromecánicos, especialistas en explotación de estos equipos. Por otra parte, esta característica aumenta la importancia de la obtención del hierro bruto a partir de las colas lateríticas orientales.

Por último, aunque algo más alejado del campo de acción de nuestra especialidad, tiene gran importancia la existencia de diferentes fundiciones y fábricas del país, que construyen equipos, principalmente para la industria azucarera, entre las cuales se puede citar el combinado mecánico "Fabric Aguilar," de la ciudad de Santa Clara y el combinado mecánico "26 de Julio," en la ciudad de Holguín, ambos construidos por la Revolución.

De estudiante a profesional

Trabajo del estudiante en el Centro de Educación Superior

Una de las tareas más difíciles que se le presentan al estudiante de nuevo ingreso en los Centros de Educación Superior (CES), lo constituye la adaptación a nuevos métodos y formas de enseñanza, sin la que es imposible alcanzar el objetivo inmediato de concluir exitosamente los estudios superiores. Las principales dificultades están determinadas por el hecho de que, en la enseñanza superior el trabajo estudiantil es mucho más independiente que en la enseñanza precedente, y exige una intensificación del trabajo individual, tanto dentro como fuera del aula, y en correspondencia con una personalidad adulta.

A pesar de los grandes logros alcanzados en el trabajo metodológico como actividad sistemática y permanente encaminada a elevar la calidad del proceso de educación, una parte considerable de los estudiantes del primer año de las especialidades técnico ingenieriles del país, abandonan, en el transcurso de sus estudios, el subsistema de educación superior por bajo aprovechamiento docente.

Para obtener éxito, el alumno debe aprender a estudiar independientemente, en un tiempo relativamente corto, y esto constituye una de las principales dificultades; pero al mismo tiempo, debe conocer, sobre la marcha, las dificultades concretas en las nuevas disciplinas objeto de estudio y, sobre todo, el modo de superarlas.

Las formas organizativas de las actividades docentes con las que se encuentra el estudiante durante el primer año de estudio, lo constituyen las clases, las consultas y la autopreparación.

Clases

Las clases se imparten en cuatro modalidades diferentes: conferencias, clases prácticas, prácticas de laboratorio y seminarios.

Conferencias. Las reglamentaciones existentes la definen como una forma organizativa del proceso docente educativo en la que se realiza la exposición de un contenido científico lógicamente estructurado, con una secuencia sistemática que puede incluir demostraciones, experimentos y puede valerse de ilustraciones mediante

esquemas, maquetas, gráficos y otros documentos. Aborda los aspectos esenciales y las cuestiones más complejas de la asignatura en los temas objeto de estudio, y persigue el objetivo de que los estudiantes conozcan los lineamientos teóricos de una rama determinada del conocimiento, así como la metodología propia de la ciencia de que se trate, promoviendo la reflexión y el interés acerca de los problemas más importantes en los asuntos de estudio y orientando a los alumnos hacia un trabajo independiente, investigativo y práctico.

La conferencia constituye una importante actividad docente educativa, en la que se hace llegar al estudiante los aspectos esenciales de los temas objeto de estudio, y persigue no solo comunicar estos conocimientos, sino que debe hacerlo en forma activa, promoviendo y motivando la reflexión. La conferencia se imparte por los profesores de mayor experiencia y debe constituir más del 50 % de las clases del plan de estudios, por lo tanto, el estudiante debe, no solo adquirir el conocimiento de los aspectos esenciales que se desarrollan, sino lo que es mucho más importante, aprender a enfocar independientemente los problemas.

Como quiera que la conferencia es la principal fuente de conocimientos teórico científicos, ocupa gran volumen de tiempo en el plan de estudios y debe enseñar a pensar. Tiene gran importancia para el transcurso de esta actividad, y para el logro de sus principales objetivos, que el estudiante desde los primeros días, conozca y utilice las formas y métodos de intensificación de su propio trabajo en la actividad.

El estudiante debe aprender a distinguir el contenido esencial de la conferencia, para lo que debe basarse no solo en los objetivos y resúmenes parciales que exprese y realice el profesor, sino en la manera de exposición, entonación y demás formas con que este subraya los aspectos más importantes. La habilidad para lograr esto no se adquiere inmediatamente, sino mediante la autodisciplina y concentración de la atención, encaminada a obtener el mayor rendimiento de la actividad. El estudiante puede y debe esforzarse por comprender la esencia del tema en el transcurso de la conferencia, y dedicar solamente la atención necesaria a los aspectos secundarios relacionados con los detalles, es decir, debe buscar la lógica del razonamiento y la esencia de estos métodos, sin perder tiempo en los aspectos superficiales. Al mismo tiempo, debe esforzarse para que la conferencia no se convierta, por su parte, en un proceso mecánico donde él toma notas sobre las principales conclusiones expuestas o dictadas por el profesor y escribe las fórmulas finales o el material escrito en la pizarra.

Los materiales expuestos en la conferencia constituyen el punto de partida, deben fijarse y dominarse posteriormente, por lo tanto es indispensable tomar notas de clase; pero esta labor no debe convertirse en la única actividad de la conferencia. La fijación del tema se realiza sobre la base de las notas de clase, con la ayuda del libro de texto, de los libros de consultas y mediante la aclaración de las posibles dudas en las consultas programadas o en el intercambio de opiniones con los propios compañeros de estudio. De tal forma, las notas de clase constituyen el documento básico que debe guiar el trabajo individual extraclase y, por lo tanto, su correcta confección cobra gran importancia.

Una de las principales dificultades con las que tropieza el estudiante en su primer año de estudio en la enseñanza superior, está determinada por su incapacidad para tomar notas. Con frecuencia, el estudiante escribe en forma mecánica, sin tratar de razonar aquello que el profesor dicta y expone lentamente, y en casos extremos, no es capaz de tomar una nota sobre una idea que se repite, si el profesor cambia de expresión, aunque mantenga el mismo sentido.

Para tomar una nota no es necesario escribir la idea exactamente en la misma forma que el profesor la expone, salvo en aquellos casos que constituyan una definición importante y que para velar por su precisión este prefiera dictar.

Es de gran importancia comprender la idea y luego escribirla, utilizando tanto los recursos expresivos del profesor como la capacidad de condensación propia. Solo si se lleva a la libreta la idea comprendida y expresada con los recursos antes mencionados, y no la copia mecánica de lo expuesto, se logra utilizar eficientemente el tiempo de la conferencia.

En el primer caso se logra una asimilación activa del material y el estudiante se encuentra en condiciones de responder en cualquier momento a las preguntas, que con objeto de comprobar la comprensión del auditorio, el profesor realiza durante el desarrollo de la conferencia. En el segundo caso el oyente no razona y solo copia mecánicamente, pierde la intercomunicación con el profesor y con ello las ventajas de la disertación en vivo, el tiempo, o sea, reduce el proceso a escribir en forma suscita, debido a las limitaciones de tiempo, lo que puede encontrar más explícitamente en un libro de texto.

Es necesario señalar que con el trabajo diario el estudiante puede, gradualmente, formar los hábitos necesarios para asimilar exitosamente la conferencia.

Comoquiera que la principal tarea del estudiante en la conferencia consiste en la asimilación razonable de los temas que se exponen y al mismo tiempo, tomar las notas de clase, es de vital importancia el desarrollo de hábitos correctos desde los primeros días, de forma tal que le permita utilizar racionalmente el tiempo en esta labor. Es evidente que las formas de tomar notas dependen de las peculiaridades del estudiante y que cada uno debe elaborar su propio método. Sin embargo, existen algunas recomendaciones de carácter general. Las notas de clase deben tomarse preferiblemente con tinta, pues las notas con lápiz dificultan su lectura, pierden nitidez con el transcurso del tiempo, y disminuyen en última instancia la eficiencia del proceso.

Las notas deben tomarse en una libreta habilitada al efecto y en ningún caso en papeles u hojas aisladas. Al margen de la página, donde se efectúan las anotaciones, debe dejarse un espacio que permita hacer observaciones con posterioridad, completar o realizar señalamientos tomados del texto o que han sido objeto de explicaciones posteriores del profesor o compañeros de clase. Los apuntes serán claros y con letra grande. Cuando se hace una glosa incorrecta, con el objeto de ahorrar el tiempo, debe tacharse y proseguir a continuación. En las anotaciones de las conferencias pueden utilizarse abreviaturas, tanto aceptadas generalmente como de uso personal.

Mientras se escucha la conferencia deben anotarse las preguntas y los aspectos que no estén claros, con el objeto de solicitar al profesor su aclaración en el momento oportuno, ya sea al concluir un resumen parcial, al final de la actividad o cuando este pregunta si hay dudas. Se debe ser cuidadoso para no interrumpir el curso de la idea del profesor que realiza un trabajo, y puede perder el hilo de la exposición, el tiempo y la eficacia en el proceso. Por otra parte, es muy frecuente que la duda que le surja al estudiante se esclarezca poco tiempo después, mediante las explicaciones del profesor en el desarrollo de la conferencia, y no haya necesidad de realizar la pregunta.

En la clase deben evitarse expresiones o gestos que puedan perturbar al profesor o a los demás compañeros y no coadyuven al mejoramiento de la actividad. No se debe olvidar que la conferencia es un trabajo en conjunto del profesor con todos

los estudiantes del aula, una interrelación dinámica, y de ninguna manera un proceso individual.

Con el objeto de hacer llegar a los alumnos más fácilmente un material determinado, el profesor suele auxiliarse además de la pizarra, con ilustraciones, gráficas, pancartas, diapositivas, proyecciones, etc. Aquí es muy importante prestar gran atención a las peculiaridades del medio auxiliar que se utiliza, saber mirar y, sobre todo, reproducir en la libreta, de forma clara y precisa, los esquemas más sencillos, haciendo hincapié no tanto en la belleza del dibujo, como en su precisión técnica y claridad.

La capacidad para la reproducción rápida, sencilla y precisa de los materiales, se adquiere con el entrenamiento y constituye una necesidad del ingeniero actual. En el caso de figuras más complejas cuya reproducción sea muy larga o dificultosa, se deben establecer las fuentes donde se puedan encontrar, apuntarlas en la libreta y prestar especial atención a su descripción, anotando los aspectos más sobresalientes que serán de uso posterior al utilizar el gráfico en la fuente bibliográfica que se señale.

A pesar de los esfuerzos que puede realizar un profesor para mantener la intercomunicación indispensable, esta no siempre es posible, y la principal causa reside en que, para mantenerla solo sobre la base a las palabras del profesor y los medios auxiliares que este utilice, es difícil, sobre todo una vez avanzado el curso, cuando los temas exigen conocimientos previos impartidos en conferencias anteriores.

Independientemente del grado de comprensión que se pueda lograr en la actividad, es indispensable leer las conferencias anteriores antes de cada nueva. Es rememorar durante 20 o 30 minutos una conferencia de 2 horas, lo que no constituye realmente la fijación de esta, pero aporta los elementos necesarios para poder recibir los nuevos contenidos en forma activa. El estudiante no siempre siente la necesidad de prepararse para la actividad y no comprende que, por mucho esfuerzo que realice en ella, no es posible mantener la atención sobre la base de las palabras del profesor.

Cuando el alumno no refresca conocimientos anteriores, indispensables para la próxima clase, no le es posible, en la breve introducción del profesor, fijar todos los elementos de la conferencia anterior, por lo que se queda sin base, no es capaz de seguir el hilo de los razonamientos, deja de participar en forma activa, pierde gradualmente el interés hacia la disertación y se incorpora al trabajo mecánico de tomar notas, ya en estas condiciones, ninguna maestría pedagógica es capaz de establecer la intercomunicación.

Ante las condiciones anteriores, la conferencia pierde su carácter de intercambio vivo para convertirse en una pérdida de tiempo, se torna aburrida, insoportable y desgraciadamente inútil. En estos casos el estudiante espera con desesperación la hora de salida y suele recordársela al profesor con apresuramiento y falta de tacto.

Si esta situación se reitera, las clases pierden sentido, el proceso docente se convierte en una tarea desagradable tanto para el profesor como para el estudiante y no es posible rendir exitosamente las evaluaciones sin un trabajo complementario individual mucho más voluminoso, menos eficiente, para el cual no siempre existe el tiempo suficiente o la fuerza de voluntad necesaria. En estos casos los exámenes terminan con un fracaso y el estudiante se ve obligado a abandonar los estudios superiores.

Para la lectura sistemática de la conferencia es imprescindible forjar cierta autodisciplina, sobre todo en las primeras semanas de clases. Cuando se logra este rasgo del carácter indispensable al ingeniero en formación, la tarea se convierte en

algo cotidiano y sencillo, la labor futura en el CES se facilita y el éxito se garantiza. La preparación cotidiana es importante, además, porque en la introducción de las conferencias y con el objeto de verificar los conocimientos, el profesor realiza preguntas como parte de la evaluación frecuente de la asignatura, las cuales son calificadas y, sus resultados, comunicados inmediatamente al colectivo.

Clases prácticas. Es otra de las formas organizativas del proceso docente, la cual, de acuerdo con las reglamentaciones existentes, permite profundizar en el conocimiento científico técnico, particularmente en el dominio de los métodos y técnicas de trabajo de la asignatura que corresponde y cuyos objetivos son:

- a) contribuir al dominio de los métodos y técnicas de trabajo de la asignatura, que permitan desarrollar las habilidades para utilizar los conocimientos;
- b) contribuir a profundizar, ampliar y fortalecer los conocimientos científico técnicos obtenidos en las conferencias, libros de texto y manuales.

Es decir, en las clases prácticas, como regla, no se aportan nuevos conocimientos científico técnicos, sino que se aprenden a dominar, mediante ejemplos concretos, ejercicios, etc., las premisas impartidas en las conferencias. En estas clases el estudiante se ejercita y entrena en el dominio de métodos y formas de cálculo propias de una asignatura, siempre con la presencia del profesor, que controla, corrige y dirige este proceso, además de preocuparse por interesar a los estudiantes en la asignatura, revelar su importancia científica y práctica, así como mostrar las perspectivas de su desarrollo.

Para poder aprovechar racionalmente la clase práctica, el alumno debe prepararse para ella. Independientemente del resumen generalizador o de la introducción que hace a la clase el profesor o el estudiante que se señale, con el objeto de recordar los materiales a emplear en la actividad, estos no pueden asimilarse en un pequeño intervalo de tiempo y, realmente, no debe hacerse. Estos materiales generalmente se imparten en la conferencia y el estudiante debe fijarlos antes de la clase práctica, como parte de su autopreparación para aprovecharla eficientemente.

La necesidad del estudiante de prepararse previamente para la clase práctica, tiene tal importancia que, el Reglamento del trabajo docente metodológico, documento que rige el proceso educativo docente en la enseñanza superior, establece que para acudir a la clase práctica el educando debe haber estudiado el contenido de las conferencias relacionadas con el tema objeto de estudio, así como la bibliografía necesaria. Solo a partir de esta premisa es posible la realización de la clase práctica. El estudiante que acude a las clases prácticas sin la preparación adecuada no solo las desaprovecha, sino que perturba el trabajo del colectivo y obliga en muchos casos al profesor a tomar medidas individuales que le permitan la conclusión exitosa de la actividad. La presencia de tal estudiante es inútil y perturbadora.

Como en el caso de la conferencia, el trabajo que es necesario desarrollar para formar hábitos y dominar métodos que no se realizan en la clase práctica, en vivo, es indispensable realizarlos posteriormente en forma individual sin la ayuda directa del profesor, y exige tiempo complementario para estudiar lo que debió consolidarse en el intervalo de la clase.

Por último, no es posible resolver problemas, ejercicios y tareas, sin una preparación previa. A la tensión del estudiante, provocada por la desagradable ansiedad del que espera a que se detecte o no la falta de preparación, se agrega la incomodidad del que aguarda mientras transcurre la clase, que su estado nervioso hace interminable. Las vicisitudes de este estudiante son vergonzosas e insoportables,

mientras el trabajo que es necesario realizar para prepararse, cuando es sistemático, se convierte en una costumbre agradable y útil, que evita el peligro de no aprobar la asignatura.

La preparación previa para la clase práctica es indispensable, pues esta se evalúa; además, su resultado se comunica a los estudiantes y forma parte del criterio integral del profesor con respecto al trabajo, las posibilidades, el aprovechamiento del alumno y la decisión final sobre recomendar o no el derecho a examen.

Práctica de laboratorio. Esta es otra de las modalidades de la clase, de gran importancia en el proceso docente educativo. Las instrucciones existentes la definen como forma organizativa del proceso a través de la cual se profundiza, mediante el experimento, los fundamentos teóricos y científicos de la asignatura, se aprenden los métodos más adecuados, los equipos y aparatos especiales en los cuales el estudiante realiza la actividad con un alto grado de independencia.

Sus objetivos son:

- a) profundizar en los fundamentos científico teóricos de la asignatura por medio de la experimentación;
- b) contribuir al dominio de los métodos y hábitos de la experimentación, empleando los medios necesarios.

Como en el caso anterior, exige la preparación previa del tema en cuestión y los materiales indicados. Todos los razonamientos anteriores son aplicados a esta actividad, aunque debe señalarse que el profesor, en este caso, evalúa no solo la preparación y el desarrollo del trabajo, sino también el informe final que el estudiante debe confeccionar, y es precisamente en este donde se refleja la calidad y magnitud de la tarea realizada.

Seminario. Forma organizativa del proceso docente educativo, en la cual los estudiantes profundizan en el contenido de la asignatura que estudian, a través de su exposición, en forma clara y precisa. El seminario expresa los aspectos generales y esenciales de dicho contenido.

Sus objetivos fundamentales son:

- a) ampliar el campo del conocimiento científico general de los estudiantes, con el fin de que al adentrarse en el estudio o en la investigación de problemas particulares no olviden el sentido y valor de las regularidades generales;
- b) consolidar los conocimientos adquiridos de la conferencia, en el estudio individual y colectivo;
- c) contribuir a que los estudiantes aborden el estudio de la solución de los problemas, utilizando los métodos de la investigación científica, lo que supone un adecuado dominio en la aplicación de la metodología de la ciencia en particular;
- d) desarrollar en los estudiantes sus capacidades de expresión y análisis, así como la utilización de la bibliografía y el ordenamiento lógico del contenido de las ciencias.

Esta modalidad es característica de las ciencias sociales, y en el primer curso de la especialidad es exclusiva de la disciplina filosofía marxista-leninista. Como en los casos anteriores, la preparación previa del estudiante, que incluye el estudio de la conferencia y la organización de los materiales sobre la base de la bibliografía recomendada, es una forma que estará en dependencia del desarrollo creciente y de las posibilidades del alumno y debe ser orientada por el docente.

Autopreparación y consultas

La producción actual exige especialistas de alta calificación con determinadas cualidades de la personalidad, sin las cuales no es posible resolver los complejos problemas que se le presentan; entre estas se encuentran la independencia y la iniciativa. Los métodos y formas de la organización del trabajo docente educativo del CES, toman en consideración la necesidad de forjar en el proceso de estudio estos rasgos del carácter. Por esta causa, entre otras, ya en este nivel el estudiante toma decisiones de gran importancia para su especialidad futura, y una de estas la constituye la distribución de su tiempo libre, es decir, de sus actividades extraclases.

La principal dificultad consiste en la incapacidad del estudiante para distribuir racionalmente este tiempo en la primera etapa de su vida en el CES. Un grupo considerable de alumnos que ingresa en este nivel, carece de hábitos de estudio independiente y, en particular, de estudio sistemático. En muchos casos están acostumbrados a trabajar bajo tutela, mientras que en la enseñanza superior el profesor orienta y controla, pero no puede ni debe sustituir el trabajo que realizará el estudiante en aras de su propia formación. Durante las primeras semanas, cuando el volumen de material impartido es aún pequeño, la carga extraclase orientada, como regla, es también pequeña, y el alumno sin hábitos de estudio, reduce su trabajo, en muchos casos, a la asistencia a clases, lo cual, incluso cuando esto se aprovecha satisfactoriamente, es insuficiente. Luego aparecen las primeras evaluaciones, y para muchos, los primeros fracasos; el material se acumula y el estudiante, con gran tensión, comienza a estudiar desordenadamente aquellas asignaturas que en ese momento él decide, pero no estudia, ni puede hacerlo, la información que sigue recibiendo cotidianamente. Con el transcurso del tiempo y el devenir de las pruebas, la situación se torna muy difícil y muchos no logran superarlas. El estudiante comienza a hablar de sobrecarga y, como regla, él no padece de esta, sino de irregularidad de la carga, provocada por la falta de sistematicidad en el estudio.

Si se quieren concluir exitosamente los estudios de enseñanza superior, y lo que es más importante aún, convertirse en un especialista de alta calificación, capaz de resolver complejos problemas de producción, se deben desarrollar hábitos de estudio independiente y sistemático. Los hábitos no solo tienen importancia para vencer con calidad la primera etapa de vida en el CES, sino para toda la futura. A la larga, esta forma de estudio no solo produce resultados cualitativamente superiores, sino que además deja más tiempo libre, permite llevar una vida más variada y plena, y economiza fuerzas físicas y nerviosas.

En el primer año el problema se complica más, pues las asignaturas se basan en los conocimientos que se adquirieron en la enseñanza precedente, y muchos alumnos carecen de hábitos de estudio independiente y sistemático, además, tienen "lagunas" de conocimientos o no recuerdan materiales indispensables. Esta situación influye considerablemente en las bajas que ocurren en el primer año de los principales CES técnico ingenieriles.

Las primeras semanas de estudio tienen gran importancia para obtener resultados satisfactorios en el semestre. El estudiante debe aprovechar este tiempo en dos direcciones fundamentales:

- a) estudio sistemático de los materiales cotidianos;
- b) repaso de los materiales precedentes indispensables.

Para lograr esto es necesario intensificar el trabajo individual, es decir, utilizar racionalmente el tiempo dedicado a las actividades docentes dentro y fuera del aula. ¿Cómo hacer esto?

En primer lugar es indispensable asistir a clases. La asistencia, en la enseñanza superior cubana, tiene un carácter obligatorio y constituye un deber fundamental del estudiante, pero además una necesidad, sobre todo para los de nuevo ingreso.

En la clase, como se señaló ya anteriormente, la participación debe ser activa, y en particular en la conferencia, la principal tarea del estudiante consiste en comprender el material, aprender a enfocar el problema y tomar las notas que sirvan de guía para la autopreparación. Con la ayuda del profesor, desde el primer día de clases, se establece la bibliografía mínima necesaria.

Antes de las clases prácticas o los laboratorios, es indispensable revisar cuidadosamente los contenidos estudiados; ampliar los conocimientos con ayuda de la bibliografía existente; anotar dudas y dificultades, después de haber agotado todas las posibilidades de "resolverlas personalmente", con el objeto de evaluarlas en consultas con el profesor o con los compañeros de estudio. La preparación para la clase práctica o los laboratorios incluye el estudio cuidadoso del material recibido, así como la solución de posibles problemas o tareas orientadas por el docente.

El estudio de la asignatura debe ser integral, es decir, es imprescindible obtener una idea general de ella y, al mismo tiempo, distinguir los aspectos fundamentales y dominar sus métodos. Hemos observado que muchos alumnos, con frecuencia, conciben sus conocimientos sobre algunas asignaturas, como la capacidad para resolver un problema dado; como regla, estos estudiantes dedican todos sus esfuerzos a los métodos de cálculo, son capaces de resolver con facilidad un límite, pero sin comprender este concepto ni la forma de aplicarlo.

Hay que señalar que esta concepción errónea se ve a veces fortalecida por algunos profesores o departamentos, que confeccionan y aprueban exámenes donde solo se reflejan aspectos prácticos de la asignatura. Esta forma de trabajo es incorrecta, no cabe duda que es indispensable dominar los métodos de las disciplinas del plan de estudio para la resolución de ejercicios prácticos, pero esto no es lo único. El objetivo fundamental de la enseñanza consiste en formar un ingeniero capaz de asimilar y crear lo nuevo, pensar creativamente, plantearse problemas científicos, técnicos, y solucionarlos; solo una parte de los conocimientos que recibe el ingeniero en el instituto, los aplica en su trabajo práctico, sin embargo, él debe ser capaz de resolver enigmas nuevos y además, de plantearse los, pues sin el desarrollo integral esto no es posible y para lograrlo tiene gran importancia la teoría como uno de los grandes logros del pensamiento humano. Entre la teoría y la práctica existe una relación bien conocida. Lenin afirmaba que la teoría sin la práctica es irreal y la práctica sin la teoría es estéril. Los métodos de solución de problemas concretos hay que dominarlos, pero es indispensable también aprender a pensar en forma abstracta, es decir, a generalizar, y esto se logra mediante el estudio teórico.

En el proceso de autopreparación tiene gran importancia que el estudiante agote todas sus posibilidades para resolver los problemas, es decir, que debe indagar en el texto y en las notas a su alcance, y solo después acudir en busca de ayuda. En este caso la cooperación, como regla, no exige una explicación completa del tema, sino una orientación que permite continuar el trabajo individual. De tal forma se pueden utilizar, regular y provechosamente, las consultas programadas.

Algunos estudiantes, con el objeto de entregar o mostrar al profesor los ejercicios resueltos en las clases prácticas, suelen copiarlos de sus compañeros. No distinguen en este acto el fraude, el cual diferencian perfectamente en exámenes y pruebas; pero esto igualmente es un engaño y los primeros en ser engañados, son ellos mismos. No tiene tanta importancia llevar los problemas resueltos, como comprender y dominar su forma de resolución. Si el copiar puede pasar inadvertido al profesor, a la larga este detectará la falta de conocimientos, y el tiempo, que si bien es menor al necesario para comprender y fijar los ejercicios, se ha perdido inútilmente. El examen que se rinde de forma individual termina en un fracaso. Por otra parte, la obtención de ventajas pasajeras con estos métodos no solo es inmoral sino que no es estable. Si es posible sortear las dificultades de una clase práctica, es a su vez imposible concluir los estudios y además capacitarse para realizar su trabajo creativo.

Por último, es conveniente, cada cierto tiempo, echarle una ojeada al conjunto de los contenidos estudiados, en forma integral. La frecuencia de esta actividad debe variar, tanto en dependencia del volumen de información recibida como de las dificultades que presente cada estudiante, pero en ningún caso se debe permitir que se acumulen los contenidos de más de dos semanas de clases sin realizar este tipo de actividad, incluso cuando se estudia cotidianamente.

Gran importancia tiene el intercambio de experiencias y opiniones sobre los diferentes temas de estudio con los demás compañeros. En esta reciprocidad no solo se detectan aspectos que al profesor le han pasado inadvertidos, sino que además se establecen peculiaridades de enfoque, se aprende a escuchar, a evaluar otras ideas y a transmitir las propias.

Cuando la intensificación del trabajo individual en el aula permite la comprensión de los principales aspectos tratados, que se amplían y fijan mediante el trabajo extra clase en forma sistemática, el éxito se garantiza con mínimos esfuerzos.

En múltiples ocasiones hemos señalado que en el proceso de enseñanza es esencial comprender, pero al mismo tiempo hay que fijar para poder transmitir estos conocimientos adquiridos. El hecho de que una de las formas principales de evaluación se lleva a cabo en una actividad, en que el estudiante tanto en forma oral como escrita expone sus conocimientos, induce a muchos a memorizar aquellos materiales que consideran pueden ser objeto de evaluación. Este método es incorrecto. En primer lugar es imposible memorizar toda la información que se recibe en un semestre y, en segundo lugar, los conocimientos memorizados de tal manera son "muertos" e inestables. La repetición mecánica y continua de un material hasta que se logra memorizar, como método de estudio es estéril y no debe utilizarse. Sin embargo, la memoria es un elemento sin el cual no es posible el conocimiento, esta se puede y debe desarrollar mediante la ejercitación. En la práctica, muchos conceptos se utilizan frecuentemente en forma memorística, sin que haya necesidad de determinar su esencia en este momento. Por ejemplo, las tablas de multiplicar y las letras que simbolizan los sonidos; estas últimas las fijamos en la memoria y aprendemos las leyes que rigen su combinación, lo cual nos permite en cualquier momento leer una palabra, aunque desconozcamos su significado. Luego, la reiteración hace la lectura cada vez más fácil, hasta su completo dominio, y con ello se abre un gran campo al conocimiento.

Lo erróneo del método memorístico consiste en tratar de fijar exactamente lo que hemos recibido, y transmitirlo de la misma manera, sin que medie un proceso de comprensión. Sin embargo existen algunos elementos que, además de compren-

der, es necesario memorizar de una sola forma; a este grupo pertenecen los conceptos primario y algunas definiciones muy exactas, por ejemplo $1 + 1 = 2$.

Por esta causa es erróneo negar en forma absoluta la memoria. Esta, recalcamos, es un elemento esencial del conocimiento y debe desarrollarse. Repetir con el objeto de fijar lo que se ha comprendido, en muchos casos es inevitable.

De la misma forma, la reiteración de problemas de un mismo tipo, hasta dominar los métodos de su solución, constituye la esencia de la ejercitación práctica.

Mientras se estudian sistemáticamente los materiales que se reciben en las clases, es necesario, en las primeras semanas, cuando la carga es relativamente baja, refrescar los conocimientos indispensables de la enseñanza precedente. Estos materiales deben ser orientados por el docente, pero por cualquier causa se pueden solicitar en una consulta.

Autoorganización

El Estado cubano pone a disposición de la educación superior no solo instalaciones, aparatos, equipos y otros medios materiales, así como personal altamente calificado, sino que garantiza estipendio, mantenimiento y albergue a los estudiantes que residen fuera de la localidad donde está situado el CES. La magnitud de estos medios no son ilimitados, por lo que es imperioso que la administración del centro y los propios estudiantes se preocupen por su utilización racional.

Por otra parte, estos recursos se obtienen con el trabajo de todo el pueblo, lo que eleva la responsabilidad del estudiante ante el cuidado de la propiedad social y obliga a la administración a ser rigurosa en las exigencias de estos deberes, que deben incluir no solo los aspectos morales, sino también la necesidad de restituir los daños materiales que se ocasionan. El cuidado de la propiedad social y la actividad de ahorro de los recursos que se faciliten, son rasgos de una personalidad superior: la personalidad comunista. Una mayoría considerable de estudiantes es cuidadosa con muebles e instalaciones, pero confrontan dificultades para mantener la higiene de los albergues y zonas aledañas; frecuentemente no reaccionan ante el despilfarro de energía eléctrica, agua y otros recursos.

La tarea de mantener el orden y la higiene en los albergues corresponde a los propios alumnos, los cuales pueden ordenar sus vidas tanto mejor cuanto más capaces sean de organizar su trabajo. La administración está obligada a controlar el estado de los albergues y exigir un orden mínimo, así como tomar medidas rigurosas cuando este sea alterado. En los primeros días de vida colectiva, los estudiantes eligen sus representantes en las organizaciones de albergue y establecen sus normas de convivencia. Es frecuente que este orden se altere cuando un miembro del colectivo no cumpla la tarea asignada y el que le sucede se excuse con este hecho para no realizar a su vez la suya. Tal situación es inadmisibles. El colectivo debe exigir responsabilidades al infractor y de ninguna manera permitir que se detenga el trabajo o se obstaculice el orden.

Para poder realizar sus labores el estudiante debe descansar adecuadamente, y es inaceptable que uno o varios compañeros, en forma continuada, alteren el descanso. Algunos se incorporan a altas horas de la noche en forma bulliciosa, juegan dominó en zonas cercanas a los dormitorios o mantienen encendida la radio con un volumen muy alto. Todo esto constituyen violaciones graves del régimen de albergue, son sancionables por las reglamentaciones existentes y solo son posibles cuando el colectivo las admite.

En su vida en el CES los estudiantes se relacionan entre sí, conocen nuevos compañeros y conviven con ellos. Es lógico que la afinidad no sea la misma entre todos; peculiaridades de temperamento, carácter, etc., hacen más afines a unos que a otros. Las relaciones se establecen con entera libertad, transcurren de forma espontánea y es muy frecuente que las amistades de este período estudiantil perduren toda la vida. Sin embargo, suelen suceder conflictos, diferencias entre criterios, etc. Estas situaciones deben resolverse desde posiciones de un verdadero compañerismo. A menudo este concepto se representa de una forma falsa. Hemos visto casos en que debido a concepciones de un falso compañerismo se permiten actitudes inadmisibles. Cuando un estudiante actúa contra la propiedad social o ejecuta cualquier hecho sancionable, sus compañeros, embuidos de esta falsa camaradería, ocultan estos hechos, incluso cuando la administración sanciona a todo el colectivo y obliga a restituir los daños ocasionados. Esta posición no es de principios y es provocada por una noción falsa del concepto compañerismo. Es indudable que un estudiante o el colectivo puede darle la oportunidad al infractor de asumir la responsabilidad por sus actos, pero si la calidad moral de este no está a la altura del colectivo, deben tomarse las medidas necesarias para que responda por la falta cometida.

Por último, es necesario reiterar que una vida estudiantil agradable y exitosa no solo depende de las autoridades y de los recursos materiales del centro, sino en gran medida de la capacidad de los propios estudiantes para organizarla.

El que es capaz de organizar su vida, está mucho más capacitado para ordenar su trabajo. Con frecuencia escuchamos a los estudiantes lamentarse de lo aburrido que es estar durante los días libres albergados; con ello no muestran más que su propia incapacidad para organizar su vida. Con estas características es difícil coordinar el proceso de producción, tarea que constituye uno de los principales aspectos del contenido de trabajo de un ingeniero.

Aunque parezca vanal, es indispensable aprender a organizar la propia vida, no solo en el trabajo sino también en el descanso y la recreación. El descanso no consiste en la inactividad física o intelectual, sino por el contrario, en la participación activa en diferentes actividades.

Son las propias organizaciones estudiantiles las encargadas de arreglar y estimular el trabajo colectivo, tanto docente como de cualquier otro tipo. Una organización estudiantil fuerte es capaz de garantizar que el estudiante, después de cumplir con su principal deber, estudiar, tenga tiempo y condiciones suficiente para su descanso y recreación, con un nivel acorde con las exigencias espirituales de un alumno de la enseñanza superior cubana. Al mismo tiempo, es en estas organizaciones, donde conjuntamente con la instrucción técnica, se desarrollan cualidades de dirección indispensables al ingeniero en la producción, como futuro organizador y responsable de la actividad productiva en un colectivo de trabajadores.

La enseñanza superior cubana

La Universidad de La Habana, fundada en 1728, constituyó el único centro de enseñanza superior en Cuba por casi 220 años, y a pesar de tener un presupuesto estatal, mantenía en los años 50 su característica de autónoma y debía ser gobernada de acuerdo con sus propios estatutos. Desde la década de los años 30, la Universidad gozó de gran preponderancia políticosocial, ganada por la lucha de su estudiantado contra la dictadura de Machado y sostenida posteriormente en su per-

sistencia por una vida mejor. Este efecto fue motivo de preocupación de los gobernantes de turno de la seudorrepública, que buscaban la forma de menoscabarlo.

Con el objetivo de debilitar la estructura de la educación universitaria existente, que concentraba a todo el estudiantado superior, y daba pie a una lucha personificada contra los politiqueros de turno, la cual no estaba en correspondencia con la concepción de propiedad de la alta burguesía, se autorizó la creación de universidades privadas. Así, el 15 de agosto de 1946 abrió sus puertas la Universidad Católica de Santo Tomás, en Villanueva, perteneciente a los padres Agustinos, de procedencia norteamericana, cuyo primer curso académico comenzó el 1.º de octubre del propio año, y en la cual se agruparon estudiantes de la más alta burguesía nacional. Algún tiempo después, el 10 de octubre de 1949, se inauguró la Universidad de Oriente, y el 30 de noviembre de 1952, la Universidad Central "Martha Abreu", de Las Villas, ambas con el mismo estatus del que gozaba la Universidad de La Habana.

El 20 de diciembre de 1950 se aprobó la Ley 15, en la cual se autorizaba la constitución de universidades privadas y creaba los tribunales del Estado, cuyos reglamentos fueron apresuradamente aprobados por el gobierno de Batista.

Tanto las universidades de La Habana como la de Oriente, condenaron el golpe de estado del 10 de marzo de 1952 y poco después se sumó también la Universidad Central de Las Villas. El gobierno aceleró el establecimiento de los mecanismos legales que facilitaban la creación de las universidades privadas, con el objeto de disminuir la influencia de los centros autónomos, y el 7 de diciembre del propio año comenzó a funcionar el segundo centro superior privado del país, la Universidad Nacional Masónica "José Martí". A partir de entonces comenzaron a crearse una serie de centros denominados universidades privadas en diferentes lugares del país, Pinar del Río en 1953 y Camagüey en 1954, esta última se creaba como centro oficial y era gobernada por un patronato privado, status que un año después se le otorgaría a la Universidad de Pinar del Río; la Universidad de Holguín, en 1956, se creó con la misma característica de los centros anteriores. Todos eran centros de enseñanza superior cuando se comenzó la lucha en la Sierra Maestra. Después, aceleradamente, durante los años 57 y 58, se reconocían como universidades, los centros privados de Belén, Candler, Masónica de Cuba y Cienfuegos. La mayoría de estas instituciones no contaban con una base técnico-docente sólida, ni estaban en condiciones de formar a los especialistas necesarios para el desarrollo del país. Aparecieron en el período decisivo de la lucha contra el batistato, y aprovechaban, en beneficio propio, el cierre de las universidades de La Habana, Oriente y Las Villas, provocada por la posición de condena de la dictadura. Todos estos centros agrupaban la parte más reaccionaria e indiferente del estudiantado cubano, entre ellos, alumnos de las universidades oficiales que habían cerrado sus puertas a fines de noviembre de 1956.

El triunfo de la Revolución en 1959 puso fin a esta situación, y la Ley 11 del 14 de enero de 1959, reconoció como las únicas universidades oficiales del país, las de La Habana, Oriente y Las Villas, con lo que se extinguieron todas las otras creadas por la dictadura y que con su funcionamiento la apoyaron. En esta Ley se anulaban las calificaciones obtenidas después del 30 de noviembre de 1956, lo que constituía un acto de elemental justicia y de reconocimiento a la parte más progresiva del estudiantado que había mantenido una posición vertical contra la dictadura.

Durante los años post-revolucionarios, en lucha contra la vieja ideología burguesa, se creó el nuevo profesorado universitario, sobre la base de algunos anti-

guos profesores que se mantuvieron fieles a los principios de la Revolución, y de jóvenes valores formados ya con la enseñanza revolucionaria.

Al nuevo profesorado se plantea, entre las principales tareas:

- a) la profundización en el dominio científico-técnico de la especialidad;
- b) el dominio del marxismo-leninismo;
- c) el perfeccionamiento pedagógico hasta alcanzar la maestría;
- d) la participación decisiva en la creación de una ciencia nacional, capaz de resolver los complejos problemas de la formación de cuadros científicos ingenieriles y del desarrollo del país.

El estudiantado cubano también ha sufrido serias transformaciones. De 18 000 estudiantes en 1959, hoy día hay más de 240 000. La enseñanza superior, antes privilegio de la clase media acomodada, se ha convertido en derecho de todo el pueblo, y los hijos de obreros, campesinos y demás trabajadores manuales e intelectuales, así como los propios obreros, constituyen hoy la matrícula de la enseñanza superior cubana, que es financiada en su totalidad por el estado.

El estudiantado cubano se plantea como tarea fundamental, asimilar los conocimientos, desarrollar hábitos y convicciones que le permitan alcanzar una personalidad integral, en beneficio propio y de la sociedad. Al mismo tiempo debe estar alerta para aportar sus fuerzas físicas e intelectuales, en cualquiera de las tareas que la Revolución plantee.

En el año 1976 se creó el Ministerio de Educación Superior, que regula y dirige todo el proceso de preparación de cuadros ingenieriles y científicos en la nueva red de centros de enseñanza superior, la cual cuenta ahora con 39 instituciones, múltiples filiales y unidades docentes, que han difundido la educación superior a lo largo y ancho del país. Este ministerio ha racionalizado los planes de estudio y las especialidades, adaptándolas a las necesidades reales de la producción o de los servicios, proceso este en continuo desarrollo, determinado por las exigencias crecientes de la sociedad y acorde con el perfeccionamiento de la educación primaria, secundaria y preuniversitaria.

El Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa se fundó en el año 1976, con el objeto de formar los cuadros científicos ingenieriles indispensables a la industria minera metalúrgica, base de la industrialización del país. Este centro establecido en un lugar apartado, con un núcleo poblacional de reciente formación y crecimiento acelerado, sin tradiciones culturales, con una base técnica forjada sobre la puesta en marcha de la Fábrica "Pedro Soto Alba", en los primeros años de la Revolución, se concibe y es factible solo debido a la propia Revolución, que lleva una política encaminada a la creación de la base material y técnica del socialismo para disfrute del pueblo. Su primer curso académico comenzó el 1.º de noviembre de 1976.

Esta institución se formó sobre la base de las anteriores escuelas de Minas y Geología de la Universidad de Oriente, especialidades prácticamente creadas por el Gobierno Revolucionario (la Escuela de Ingeniería de minas existía nominalmente antes de 1959, pero no contaba prácticamente con estudiantes y nunca había graduado ningún ingeniero).

Desde los primeros años de la Revolución la enseñanza superior hacia esfuerzos para salir de las paredes universitarias y llegar a la producción, de tal manera se fundaron las unidades docentes de Moa, Nicaro y Matahambre (junto a los grandes cen-

tros de producción existentes), atendidas por la Universidad de Oriente, la última en coordinación con el ISPJAE.

La unidad docente de Moa pasó a formar parte del Instituto Superior Minero Metalúrgico, mientras que la de Nicaro es actualmente filial de este centro. La de Matahambre pasó al Centro Universitario de Pinar del Río, el que posteriormente se incorporó al mencionado instituto.

En el Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, se realizan estudios en cursos regulares diurnos, vespertino-nocturnos y por encuentros. En los cursos regulares diurnos se estudia la Ingeniería electromecánica minero metalúrgica. La Ingeniería de minas en las especialidades de Explotación de minas y Topografía minera, Geología con explotación de yacimientos, Hidrogeología e Ingeniería geológica y la Ingeniería metalúrgica en las especializaciones de Metalurgia no ferrosa y Beneficio de minerales. Todas las especialidades del centro son de nueva creación en el país, y se han formado después del triunfo de la Revolución incluso algunas son muy recientes, como la Ingeniería metalúrgica, creada en 1975, y la Ingeniería electromecánica, en 1976. En el centro también existen cursos regulares vespertinos-nocturnos y regulares por encuentros; en los primeros se estudian las especialidades de Ingeniería electromecánica y metalurgia, y en los segundos, las especialidades de Ingeniería de minas y geología. Esto permite la incorporación a la enseñanza superior de gran número de obreros sin abandonar sus puestos de trabajo, en particular, en la zona del nordeste de la provincia Holguín, así como en otras zonas del país, para el caso de las dos últimas especialidades.

El desarrollo industrial incesante hace prever el perfeccionamiento de las especialidades mencionadas, así como la preparación de especialistas, en particular el mecánico industrial.

Principales directivas del Partido y del Estado

En la *Plataforma Programática* se expresa que el objetivo final del Partido Comunista de Cuba es la construcción del Socialismo, para lo cual se basa en la doctrina marxista-leninista acerca de dos fases de la sociedad comunista: el socialismo o fase inferior y el comunismo o fase superior.

Estas fases tienen fundamentos comunes y un mismo objetivo básico a lograr: "... la satisfacción de las necesidades materiales y espirituales siempre crecientes del hombre y el desarrollo de un nuevo tipo de relaciones sociales camaraderiles y de ayuda mutua que garanticen la formación integral del hombre".⁴ Sin embargo, como se señala más adelante, entre ambas fases existen importantes diferencias: "La diferencia básica entre la fase socialista y la fase comunista reside en el nivel de desarrollo de las fuerzas productivas y en el grado de madurez de las relaciones de producción";⁵ esto determina que en la fase socialista la sociedad debe mantener el principio de distribución que garantiza la más estrecha combinación entre los intereses sociales e individuales: de cada cual según su capacidad, a cada cual según su trabajo.

Más adelante se precisa la etapa presente de la sociedad cubana y su principal objeto programático:

La sociedad cubana actual se encuentra en el periodo de edificación del socialismo, por lo cual el objetivo programático principal e inmediato del pueblo

⁴ *Plataforma Programática del Partido Comunista de Cuba*, pp. 55-56.

⁵ Ob. cit., p. 56.

cubano es el de continuar la construcción del socialismo sobre las bases científicas del marxismo-leninismo hasta arribar a la primera fase de la sociedad comunista.

Ello significa:

el desarrollo de la construcción de la base técnico-material del socialismo, para lo cual se requiere la mecanización de los procesos productivos fundamentales de la economía; el crecimiento de la productividad del trabajo, dejando muy atrás la alcanzada en nuestro pasado capitalista en todos los renglones económicos; el establecimiento de una estructura productiva de las ramas y sectores de la economía, que garanticen un ritmo elevado y estable en el crecimiento económico, asegurando un desarrollo rápido y proporcional de la electrificación, la química, la metalurgia, la industria mecánica y de materiales de construcción (...)⁶

La *Plataforma Programática* establece que: "... la tarea central de los planes de desarrollo y fomento de la economía nacional (...) será la industrialización del país".⁷ Al mismo tiempo señala que la tarea principal de la industrialización consiste en crear la base interna necesaria para desarrollar sistemáticamente las fuerzas productivas, abastecer de equipos y materiales a la agricultura y a la ganadería, elevar los recursos exportables, sustituir importaciones y producir variados artículos de amplio consumo de la población.

En el período inmediato se contempla llevar a cabo, como tarea central, un programa de inversiones industriales, conforme a los siguientes objetivos generales:

- a) Desarrollar las principales ramas industriales que generan exportaciones, con el fin de asegurar el financiamiento externo ulterior de la economía nacional. Con ese propósito se deberá consolidar y modernizar la industria azucarera de acuerdo a la ejecución de rehabilitaciones, ampliaciones y reconstrucciones generales de los actuales centrales azucareros, garantizando el desarrollo necesario de la agricultura cañera, e iniciar la construcción de nuevos centrales con el consiguiente fomento de las áreas cañeras correspondientes. Además, rehabilitar las plantas actuales de níquel y desarrollar un programa inversionista para la instalación de otras dos nuevas, todo lo cual elevará la capacidad de producción en los próximos años a más de 100 000 t (contenido metálico) al año.
- b) Promover una mayor integración de la economía nacional y la consiguiente sustitución de importaciones, a través de inversiones de ampliación, así como nuevas plantas destinadas al desarrollo de la producción nacional de equipos, piezas de repuesto y otros bienes intermedios.
- c) Desarrollar industrias que apoyen y contribuyan a garantizar el crecimiento de la producción agropecuaria del país, particularmente en lo referido a la quimización, el regadío y la mecanización.
- d) Crear capacidades industriales para la producción de bienes de consumo, particularmente en la industria alimentaria y en la textil.
- e) Consolidar y ampliar la industria de materiales de construcción, a fin de asegurar la ejecución de las inversiones previstas. Al mismo tiempo se debe conso-

⁶ Idem, p. 58-59.

⁷ *Plataforma Programática del Partido Comunista de Cuba*, p. 61.

lidar y ampliar la infraestructura económica del país, especialmente en lo relacionado con los programas inversionistas para la electrificación, y otros, con el objeto de sentar las bases para el ulterior crecimiento de la economía.

Para cumplir estos objetivos es necesario:

- a) Elevar la capacitación y calificación de los trabajadores técnicos y cuadros dirigentes de la economía nacional, tanto para lograr el máximo aprovechamiento de los recursos disponibles, como para poder asimilar eficientemente las inversiones que se ejecutarán.
- b) Prestar especial atención al incremento de la productividad del trabajo. Continuar el proceso de la vinculación de la norma con el salario; pasar, en el periodo, a la aplicación de los principios de la organización científica del trabajo, de las normas fundamentadas técnicamente y de otras medidas racionalizadoras.
- c) Orientar el empleo de la fuerza de trabajo simple y calificada hacia los sectores priorizados de la economía, particularmente para la construcción industrial, así como para las nuevas inversiones y ampliaciones que se ejecutarán en el periodo.
- d) Aprovechar las capacidades productivas, de transportación y de servicio, hasta el límite máximo que permitan los recursos disponibles, siempre con los menores costos posibles.
- e) Reducir el consumo material en la producción y los servicios, velando por el ahorro de combustibles, energía eléctrica, aceros, madera, cemento, materias primas básicas y demás bienes intermedios, especialmente de origen importado; así como elaborar las normas de inventarios, de consumo material y asegurar su estricta aplicación.
- f) Continuar elevando el papel de la emulación socialista en el desarrollo de la economía nacional. Perfeccionar la participación de los trabajadores en la dirección de las empresas de producción y servicios.
- g) Fomentar las iniciativas creadoras de los trabajadores que redunden en beneficio del perfeccionamiento técnico de la producción y desarrollar ampliamente la labor de racionalización e innovación.
- h) Garantizar la mayor eficiencia del proceso inversionista, así como la puesta en marcha de nuevas capacidades en los plazos previstos.
- i) Establecer y desarrollar un Sistema Nacional de Normalización, Metrología y Control de la Calidad, que garantice la disciplina tecnológica y la calidad de la producción, tanto de los bienes intermedios que se incorporan al proceso productivo, como de los bienes de consumo de la población, y los que forman fondos exportables de la nación. Al mismo tiempo debe continuarse la implantación del Sistema de Dirección de la Economía, que será el instrumento fundamental no solo para contribuir al logro de los objetivos del periodo sino, sobre todo, para las etapas siguientes del desarrollo económico y social del país.

Para el incremento industrial previsto en el actual quinquenio, se lleva a cabo la instalación de nuevas capacidades, ampliaciones, reconstrucciones y el aumento de la producción en distintas ramas. A estos fines siguen vigentes en las etapas inmediatas los siguientes requerimientos:

- a) Aprovechar las capacidades instaladas hasta el límite máximo que permitan los recursos disponibles; esto con la mayor eficiencia y los menores costos posibles.

- b) Disminuir el consumo material en el proceso productivo, haciendo especial énfasis en el ahorro de los abastecimientos de importación y cumpliendo estrictamente las normas de consumo (que deberán ser elaboradas).
- c) Mantener una estricta política de ahorro de energía eléctrica, combustible, aceros y metales no ferrosos.
- d) Incrementar la productividad del trabajo industrial mediante el mejoramiento de la organización de la producción, la normación técnica, la aplicación de mecanismos perfeccionados de remuneración del trabajo, la correcta combinación de los estímulos morales y materiales y la introducción de tecnologías más avanzadas.
- e) Propugnar producciones, en las plantas existentes, con destino a la exportación, así como estudiar y promover inversiones para nuevas producciones industriales que puedan constituir fondos exportables eficientes. Dichas iniciativas deberán ser avaladas con estudios de mercado y desarrollarse en estrecha coordinación de trabajo con los organismos y empresas que realizan las relaciones comerciales y económicas internacionales.
- f) Desarrollar producciones secundarias en las propias fábricas, para aprovechar los recortes y residuos de la producción: impulsar la recuperación de materias primas, fortaleciendo la base material y organizativa del acopio e introduciendo tecnologías modernas en dicha actividad.
- g) Elevar el nivel técnico y la calidad de la producción. Desarrollar la normalización, la metrología y el control de la calidad.
- h) Impulsar la capacitación de los trabajadores, así como la formación y el desarrollo de los cuadros.
- i) Mejorar los métodos de dirección de la industria, incluyendo la aplicación de técnicas modernas de planificación, gestión y control.

Las principales directivas ramales están aún vigentes y en nuestra especialidad son las siguientes:

Continuar el rápido crecimiento de la industria electromecánica, tanto en la instalación de nuevas capacidades y en la generación de electricidad, como en el mejoramiento de los medios técnico-económicos, en particular la reducción del consumo específico promedio de petróleo y la interconexión del sistema eléctrico nacional mediante líneas de alta tensión a 220 000 V, así como líneas de 110 000 V; estas últimas, redes menores que satisfagan la demanda de transmisión y distribución de energía y aseguren la flexibilidad del sistema.

En el campo de la geología:

- a) Continuar las investigaciones en las regiones más promisoras del país, para acrecentar el conocimiento y la evaluación de sus recursos minerales. En especial, investigaciones al norte de las provincias más orientales, y en Camagüey, Escambray y Pinar del Río, sobre minerales sólidos.
- b) Hacer énfasis en la evaluación y elevación de categoría de los yacimientos de níquel conocidos, así como desarrollar la búsqueda de nuevos depósitos, con el fin de consolidar las bases de materias primas minerales para las actuales plantas y las nuevas inversiones.

- c) Desarrollar la evaluación, prospección de yacimientos de cobre y polimetálicos, así como definir la tecnología de su óptimo aprovechamiento.
- d) Aumentar el conocimiento de las reservas en los yacimientos minerales en explotación, continuar el programa de búsqueda de petróleo y asegurar la localización de materias primas minerales para la industria de la construcción.
- e) Establecer la organización del Fondo Geológico, institución que garantice la preservación de las riquezas minerales del país y su mejor aprovechamiento.

En el campo de la minería y metalurgia:

- a) Ampliar la producción de la minería en general y del níquel en particular, mediante la rehabilitación de las fábricas existentes y la construcción de otras nuevas; así como elevar los índices técnico económicos y, específicamente, disminuir de forma progresiva los índices de consumo de combustible.
- b) Continuar aumentando la producción de la metalurgia ferrosa mediante la ampliación de las plantas existentes, elevar la producción de barras corrugadas e introducir nuevos productos, así como aumentar la calidad del acero.
- c) Seguir trabajando para la instalación de una planta siderúrgica integrada.
- d) Elevar, como en la producción en general, la productividad del trabajo.
- e) Proseguir el incremento de la producción de cemento, desarrollar la participación de tecnologías con menor índice de gasto de combustible y poner en marcha en un futuro inmediato, dos nuevas plantas con capacidad de tres millones de toneladas de este material.
- f) Continuar el incremento acelerado de la producción de materiales de construcción.

En el campo de la educación, la Plataforma Programática del Partido Comunista de Cuba establece que la política educacional se fundamenta en la concepción marxista-leninista y en los principios martianos acerca de la educación de las nuevas generaciones.

La educación tiene como fin formar a las nuevas generaciones en los principios científicos, ideológicos y morales del comunismo, convirtiéndolos en convicciones personales y hábitos de conducta diaria; promoviendo hombres plenamente desarrollados, aptos para servir y trabajar en la nueva sociedad, o sea, que el criterio básico de la política educacional cubana consiste en hacerla corresponder con el socialismo y los ideales que él expresa.

Esta finalidad se logra y consolida a través de la educación intelectual, científico técnica, político ideológica, física, moral, estética, politécnica laboral y patriótico militar. Las cuales contribuyen a la formación multilateral del individuo, que constituye el principio esencial de nuestra educación, y deben considerarse como elementos indispensables en una formación integral de la personalidad.

Los principios básicos de nuestro sistema de educación, según la tesis sobre la política educacional, son los siguientes:

- a) Función del Estado en el proceso docente-educativo, o sea, el carácter estatal de la estructuración y funcionamiento del sistema nacional de educación, orientados al desarrollo de la educación de las nuevas generaciones y destinado a formar al hombre nuevo en un proceso docente educativo único, continuo y dinámico, en constante desarrollo.

- b) Principio de estudio y trabajo, en el cual su variante fundamental es vincular la teoría con la práctica, la escuela con la vida y la enseñanza con la producción, tiene como fuente el ideario pedagógico martiano y los clásicos del marxismo.
- c) Carácter democrático de nuestra educación.
- d) La educación como derecho y deber de todos.
- e) Fundamentación del proceso docente en la pedagogía marxista-leninista.
- f) Correspondencia entre la planificación del desarrollo del sistema nacional de educación con el económicosocial del país.
- g) Enseñanza del Marxismo-leninismo y desde sus posiciones.
- h) Coeducación.

Problema ingenieril

El problema ingenieril surge cuando es necesario pasar de una situación o estado, de una forma y contenido a otro, por ejemplo:

<i>A</i>	_____	<i>B</i>
Energía eléctrica	_____	Luz, trabajo mecánico, calor, etcétera.
Mineral	_____	Metal
Metal	_____	Máquina o edificación
Macizo rocoso	_____	Mineral extraído

En todos los casos, las condiciones iniciales de la tarea se encuentran en el estado A, que podemos denominar entrada, mientras que en el estado B, lo que es necesario lograr y a lo cual llamaremos salida. Frecuentemente el problema presenta ciertas limitaciones, por ejemplo, es indispensable obtener energía eléctrica a partir de recursos hidráulicos y no con termoeléctricas. Esto constituye la limitación del problema.

De tal forma, se tiene un problema con unas condiciones iniciales (estado A), ciertas limitaciones y se desea lograr un estado final B.

Ahora bien, hay problema ingenieril solo cuando para lograr el estado final existen múltiples variantes, las cuales no son igualmente ventajosas ni evidentes. Si la solución es única o existen varias igualmente provechosas o evidentes, no hay problema ingenieril. Este existe cuando para pasar de un estado a otro, hay más de una solución posible y estas no son evidentes.

El ingeniero resuelve un problema que generalmente se formula como exigencia general para el funcionamiento de un instrumento, una máquina, etcétera. Realiza esta tarea en condiciones concretas: una instalación o un proceso tecnológico. En todos los casos debe lograr la ejecución técnica, que sea económicamente racional y fiable desde el punto de vista de la seguridad del trabajo. Para ello está obligado a aplicar no solo sus conocimientos, sino también su ingenio para elegir entre múltiples variantes posibles, la mejor. Esta variante correcta se elige a partir de criterios que, con frecuencia, son contradictorios. Por ejemplo, es conocido que las pérdidas de energía que tienen lugar en una conductora aumentan a medida que disminuye el diámetro de la tubería, lo que implica el crecimiento del consumo de energía indispensable para transportar un fluido y, con ello, los gastos de explotación. Por otra parte, el aumento del diámetro de la tubería implica un incremento del consumo de metal, el costo del montaje y las inversiones.

Si en un sistema de coordenadas, situamos el costo (C) en la ordenada y el diámetro (D) en la abscisa, se obtienen los gráficos de los diferentes costos en función del diámetro (fig. 2.1)

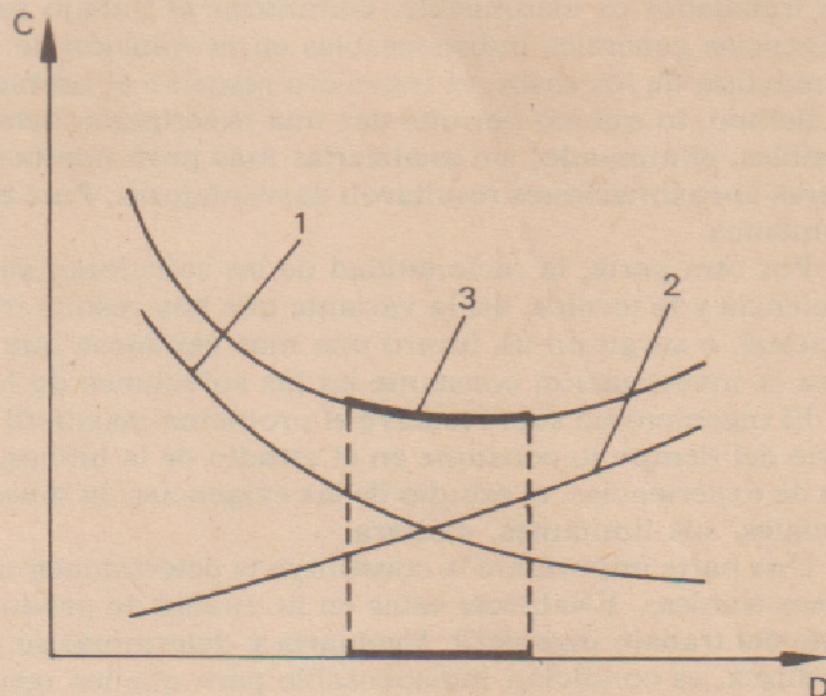


Fig. 2.1 Relación entre el diámetro y el costo de una conductora: 1) costos de explotación en función del diámetro; 2) costos de inversión en función del diámetro; 3) costos totales en función del diámetro

La curva 1 nos muestra la variación de los gastos de explotación en función del diámetro, los cuales disminuyen con el aumento de este. La curva 2 muestra la variación de los costos iniciales (inversiones), que crecen directamente proporcionales al aumento del diámetro.

Si sumamos para cada diámetro los costos de las inversiones y la explotación (para lo cual se suman geoméricamente las ordenadas), obtenemos la curva 3, resultante de los costos totales (inversiones + explotación). Es evidente que el diámetro racional, se encontrará en la zona que corresponde al mínimo de la mencionada curva. No obstante, pueden existir otras limitantes, como la posibilidad de obtener en el mercado el diámetro deseado, la existencia de fuentes de energía limitada, etc., lo cual puede obligar al ingeniero a elegir una variante de compromiso.

Cualquier solución debe ser no solo técnicamente correcta, sino económicamente racional. Los recursos que posee el ingeniero no son infinitos y deben utilizarse de la forma más ventajosa posible. Son raros los problemas en los cuales los índices económicos pasan a un segundo plano. En la mayoría de los casos el logro del estado final es rentable. Es decir, aporta beneficios: el valor real del producto obtenido debe ser mayor al de los recursos utilizados, o sea, el precio del producto puede y debe superar el costo de producción. En la mayoría de los casos es prácticamente imposible obtener soluciones adecuadas si se desprecian los índices económicos. De aquí se hace evidente la enorme importancia que tienen para el ingeniero los conocimientos de la economía aplicada.

En la sociedad socialista, el proceso de producción se lleva a cabo con medios que acciona y controla el hombre, para beneficio de él mismo. Por eso la gran im-

portancia que posee el hecho de que las soluciones elegidas garanticen la protección del ser humano en el trabajo.

En nuestra sociedad, cualquier decisión que ponga en peligro la vida o salud del trabajador es inadmisibles. Garantizar el trabajo seguro constituye otra de las exigencias generales indispensables en la solución de un problema ingenieril. En la mayoría de los casos, el ingeniero resuelve el problema en un periodo limitado de tiempo, lo que no permite dar una descripción detallada de todas las variantes posibles, eliminando, sin analizarlas más profundamente, aquellas que en las primeras aproximaciones resultaron desventajosas. Para esto se apoya en sus propios elementos.

Por otra parte, la racionalidad de las soluciones suele variar con el avance de la ciencia y la técnica, así la variante que hoy resulta irracional, puede mañana ser racional, o surgir en un futuro una más ventajosa que la actual. Esto abre campo para la investigación constante en las soluciones de los problemas ingenieriles.

El ingeniero no solo resuelve el problema ingenieril en la mesa de dibujo. Gran parte del tiempo lo consume en el estudio de la bibliografía existente, el intercambio de experiencias, el estudio de las exigencias, la investigación de las condiciones iniciales, sus limitantes, etcétera.

Una parte importante la constituye la determinación y evaluación de las nuevas tareas técnicas. Establecer estas en la unidad de producción es un aspecto importante del trabajo ingenieril. Evaluarla y determinar su importancia o el efecto que produzca, es condición indispensable para que los resultados de su solución sean útiles a la sociedad. De lo que se deduce que el contenido ingenieril no es un trabajo técnico puramente.

Por último, es necesario diferenciar la actividad ingenieril de la labor de un técnico o un obrero calificado. En la mayoría de los casos el ingeniero debe pensar en forma abstracta, juzgar, y rara vez trabajar directamente con el instrumento, montarlo o repararlo. Aún más, las maquetas elaboradas o las instalaciones proyectadas por él, son armadas por obreros calificados y técnicos. De lo que se deduce que en el trabajo ingenieril no siempre es indispensable la habilidad manual. Un joven que posea estas habilidades, o sea capaz de reparar un automóvil, equipos electrodomésticos, etc., puede obtener éxitos en el trabajo; pero iguales logros puede alcanzar un joven que carezca de estas aptitudes. Sin embargo, la solución no se puede materializar sin el trabajo del obrero calificado o el técnico. Por otra parte, el pensamiento abstracto abre el camino a la ciencia. Se hace evidente que para garantizar la actividad productiva de la sociedad, es indispensable mantener una relación adecuada entre obreros, obreros calificados, técnicos, ingenieros y científicos.

Ingeniería, ciencia y técnica

La ingeniería actual se basa en dos grandes logros de la humanidad: la ciencia y la técnica.

La *ciencia* es el campo del conocimiento que explica los fenómenos de la naturaleza y su interrelación. Los científicos pretenden ampliar estos conocimientos y trabajan para estudiar, explicar y clasificar dichos fenómenos. En búsqueda de nuevos conocimientos investigan. Las investigaciones que acumulan conocimientos, sin una aplicación inmediata, se denominan básicas o puras; pero cuando son utilizables en un proceso de producción dado y se acercan más al trabajo ingenie-

ril, se denominan aplicadas. En cualquiera de los casos, la proporción entre estos tipos de investigaciones debe estar determinada por las condiciones concretas de la sociedad.

La *técnica* materializa estos conocimientos en forma de instrumentos, máquinas, instalaciones, procesos tecnológicos, etcétera.

Durante siglos estas dos ramas de la actividad humana se desarrollaron con independencia una de otra. Hoy en día, la ciencia se ha convertido en una fuerza productiva más, que incrementa los conocimientos sobre los fenómenos naturales; mientras que la técnica materializa estos conocimientos y permite su utilización en provecho de la sociedad y, al mismo tiempo, aporta medios que permiten profundizar cada vez más en el conocimiento científico. Entre ciencia y técnica existe una interrelación bien definida, el desarrollo de cada una de ellas acelera el desarrollo de la obra.

El trabajo del científico y del ingeniero se diferencia por su actividad diaria y el resultado final: los conocimientos del primero y el proyecto de una instalación, un proceso tecnológico o un instrumento, el otro.

El objetivo del científico es ampliar los conocimientos de la sociedad, mientras que el ingeniero pretende hacer estos conocimientos útiles. Él crea: la termoeléctrica, la atomoeléctrica, la fábrica metalúrgica, las computadoras, el automóvil, etc., son resultados del trabajo ingenieril.

El ingeniero lo hace en el proceso de proyección, y el proyecto constituye su principal tarea; así como la investigación la es del científico.

Ingeniero es una profesión. El profesional proyecta instalaciones, instrumentos, procesos tecnológicos, e incluso, su materialización: ejecución y montaje, así como las posibilidades humanas, de tal forma que sean capaces de satisfacer las necesidades de la sociedad.

En la práctica existen múltiples especialidades ingenieriles. A todas ellas le son comunes las características generales señaladas anteriormente, pero tienen a su vez, peculiaridades determinadas por el campo donde se desarrolla la actividad. La enorme cantidad de información acumulada obliga a racionalizar el proceso de conocimiento y el campo de actividades del ingeniero. La profundidad de la especialización en cada sociedad concreta, está determinada por sus necesidades. El ingeniero, antes que todo, realiza un trabajo útil (de aplicación inmediata) a la sociedad.

Por otra parte, el proceso de formación de ingenieros es costoso y exige racionalidad. En la mayoría de los casos es imposible prever en el proceso todas las situaciones con las cuales este puede encontrarse en su trabajo, por lo que se hace necesario la formación de un especialista de amplia base, con alto desarrollo del pensamiento abstracto y con los conocimientos especiales más indispensables para su exitoso desenvolvimiento en una rama determinada. La especialización en perfiles más estrechos constituye una etapa posterior y está determinada por las necesidades y características de la producción.

El tiempo de formación del especialista y sus posibilidades son limitadas, por lo que no es posible ni racional el estudio de todas las peculiaridades de una rama.

El proyecto es la esencia del trabajo ingenieril, y en este el ingeniero se preocupa por garantizar los resultados técnicos, la economía y la seguridad. El científico persigue el reconocimiento de su teoría, su ratificación mediante experimentos, y que su descubrimiento aumente la significación de la investigación de la naturaleza. En la actualidad el trabajo científico y el ingenieril se acercan cada vez más.

Pero la preparación de amplia base lo debe formar para acometer la solución de problemas ingenieriles no estudiados con profundidad en el proceso docente.

El ingeniero electromecánico proyecta, monta, explota, mantiene y repara instalaciones electromecánicas de amplio uso en la industria minerometalúrgica. Constituye un ingeniero de base mecánica, con conocimientos profundos de electricidad, que les permitan proyectar, elegir, explotar y mantener racionalmente estas instalaciones.

Sin el trabajo ingenieril no es posible la civilización moderna. El nivel de vida actual, en gran medida está determinado por el trabajo ingenieril. Sin él no es posible el desarrollo ni el uso de los conocimientos científicos. Ahora bien, la calificación no determina por sí misma la importancia del ingeniero. Ingeniero es aquel que resuelve problemas ingenieriles, en nuestro medio, para beneficio de la sociedad, y no el que ocupe un cargo o posea un diploma con tal denominación.

Cualidades indispensables del ingeniero. Plan de estudio

Las principales cualidades que debe poseer un joven ingeniero son: conocimientos reales, maestría profesional, criterio propio, espíritu de superación y fidelidad a los principios de nuestra sociedad.

El proceso docente persigue formar en el joven estas cualidades. El ingeniero no es solo un conjunto de conocimientos y habilidades, sino además es una personalidad con rasgos bien definidos.

Como vimos anteriormente, el trabajo ingenieril no es solo técnico, lo que explica, en ocasiones, el hecho de que estudiantes con buenos resultados docentes no logren éxitos en la producción. No obstante, si bien es cierto que el conocimiento y la maestría no son suficientes para obtener logros en el trabajo ingenieril, su ausencia excluye la obtención de logros reales y, sin ellos, los éxitos en este campo son aparentes y fugaces.

Si el estudiante comprende que a él, como futuro ingeniero, le son indispensable estas cualidades, la eficiencia del proceso docente aumenta considerablemente.

La firmeza de criterio constituye una cualidad indispensable para el trabajo ingenieril. Pero esta tiene que basarse obligatoriamente en el conocimiento profundo, de lo contrario se convierte en terquedad, o autosuficiencia. Si el criterio propio es un rasgo positivo e indispensable del carácter, la terquedad y la autosuficiencia son defectos graves.

La preparación del especialista se lleva a cabo por medio de actividades planificadas en el proceso docente, en el propio proceso de producción y mediante la autopreparación. En todos los casos es indispensable el espíritu de superación. El ingeniero que no profundiza, que no actualiza sus conocimientos, se estanca; no puede resolver nuevos problemas, y su desarrollo se detiene; por ende, su trabajo deja de tener importancia ingenieril y no puede ofrecer satisfacción personal ni reconocimiento social.

El proceso docente se planifica con el objetivo de lograr cualidades, y el joven ingeniero se forma no solo mediante las actividades docentes, sino también en el conjunto de actividades complementarias que tienen lugar durante su estancia en la enseñanza superior.

El modelo del especialista del ingeniero electromecánico incluye no solo los principales objetivos en su formación, sino que agrega el campo de actividades, el perfil ocupacional y el contenido de estas tareas.

Sobre la base de este modelo se confecciona el plan de estudios. El plan de estudios del ingeniero electromecánico está formado por el conjunto de materias denominadas básicas, las asignaturas peculiares de la rama ingenieril, conocidas como básico específicas, y las asignaturas de la especialidad. Además, se incluyen un grupo de disciplinas de preparación general y otras de preparación socio políticas.

En el proyecto de estudios estas asignaturas se distribuyen aproximadamente de la siguiente forma:

<i>Disciplinas</i>	<i>Horas lectivas</i>
Básicas	1 144
Básico específicas	1 068
Especiales	1 228
De formación general	352
Sociopolíticas	414

A las disciplinas básicas pertenecen: Matemática, Física, Química, Geometría descriptiva y Dibujo básico. En los planes de especialidades ingenieriles suelen liberarse algunos capítulos de las ciencias básicas e impartirse como asignaturas independientes, por ejemplo: Álgebra lineal, Probabilidades, Estadísticas, y algunas más específicas como la Computación.

A las disciplinas básico específicas pertenecen: Mecánica teórica, Resistencia de materiales, Mecanismos y elementos de máquinas, Termotecnia, Hidráulica, Electrotécnica y Electrónica, así como el Dibujo aplicado.

Entre las especiales se encuentran: Tecnología de los metales, Máquinas de proceso, Máquinas de transporte, Suministro y accionamiento eléctrico, Equipos e instalaciones de plantas metalúrgicas, Automatización, Protección del trabajo, Economía, organización y planificación, etc., que constituyen disciplinas profesionales aplicadas.

Al grupo de materias de formación general pertenecen el idioma y la Educación física y al de las disciplinas sociopolíticas: Historia del movimiento obrero cubano, Filosofía marxista-leninista, Economía política y Comunismo científico. Por último se incluye en los planes de estudio la preparación militar.

Además de las actividades lectivas, se contemplan las prácticas de producción y el trabajo científico-docente.

Las prácticas de producción se realizan anualmente e incluyen las prácticas de familiarización en los primeros años, con objetivos de carácter educativo, para asimilar hábitos de trabajo y acumular experiencias sociales en el campo de la profesión, ligada en el primer año a la Introducción de la especialidad y que continúa en el segundo año del plan de estudios.

La práctica técnica general que se lleva a cabo en el tercer año, persigue adquirir y reforzar conocimientos técnicos relacionados directamente con la especialidad.

En nuestro país, los conocimientos y habilidades indispensables al ingeniero en cada especialidad se planifican en un documento base denominado *Modelo del especialista**, donde se recogen las principales tareas a desarrollar por el futuro profesional, así como los conocimientos y habilidades que debe adquirir, en forma de categorías denominadas *Debe conocer, Debe saber, Debe hacer*.

* El docente debe familiarizar a los alumnos con los modelos del especialista, propios de cada especialidad. (N. del A.)

La práctica especializada comienza en el cuarto año y concluye con el prediploma, en el último curso. Estas se ligan a disciplinas especiales donde se fijan, generalizan e integran conocimientos adquiridos, y se forman hábitos en el ejercicio de la especialidad. En su última etapa, la práctica especializada persigue crear condiciones necesarias para la realización del proyecto o trabajo de diploma.

La actividad científica docente de los estudiantes se lleva a cabo mediante los trabajos y proyectos de curso, el Trabajo o Proyecto de Diploma y la práctica prediploma, los cuales persiguen contribuir a la formación de hábitos y habilidades indispensables para el ingeniero y, en particular, al desarrollo del trabajo independiente, la iniciativa y la creatividad.

Elementos de minería

El primer paso para poder llevar a cabo las labores mineras, lo constituye la localización y evaluación del yacimiento. Por yacimiento o depósito se comprende la acumulación de materiales útiles. Menas minerales se le llama a las masas minerales que pueden utilizarse para obtener uno o más metales, por ejemplo, menas de calcopirita; mineral de hierro y cobre, menos de galena; mineral de plomo. Un mismo metal se puede obtener de diferentes minerales. Por ejemplo, el cobre se puede extraer de la bornita, la malaquita, la calcopirita, etcétera.

Minerales de ganga son las materias no metálicas asociadas a un yacimiento. El material asociado que no se utiliza para la obtención del producto útil, se conoce en el proceso de laboreo como estéril. En las labores mineras a cielo abierto, este mismo material se denomina escombros. Los trabajos de búsqueda y exploración del yacimiento se conocen como labores geológicas, y se dividen en labores de prospección o búsqueda y labores de exploración.

Las labores de prospección se llevan a cabo en dos etapas. La primera consiste en el estudio de la estructura geológica de la región, el análisis de la documentación y conocimientos existentes, y la segunda, en la inspección del terreno para determinar el afloramiento de las rocas, reconocer antiguas excavaciones mineras y llevar a cabo pequeñas labores. En la prospección geológica se utilizan, entre otros, métodos geofísicos que consisten en el análisis de las diferentes propiedades físicas de las rocas. A este grupo de métodos pertenecen la magnetometría, que se basa en los diferentes grados de permeabilidad magnética de las rocas; la sismometría, que se fundamenta en el análisis de la velocidad de difusión de ondas elásticas en las rocas, producidas por explosiones, y que permite profundizar a varios kilómetros de la superficie; la gravimetría, basada en el estudio de las variaciones de la fuerza de gravedad debida a la distribución irregular de las masas en la corteza terrestre, y la electrometría, que se fundamenta en el estudio de los distintos grados de conductividad eléctrica de las rocas.

Mediante las labores de exploración se establecen, en forma más precisa, diferentes características del yacimiento. Para las labores de exploración se utilizan perforaciones y excavaciones mineras.

Clasificación de las reservas. Pérdidas y empobrecimiento

Se denominan reservas geológicas a la cantidad total de material útil establecida en los límites de un yacimiento. La parte de estas reservas cuya extracción es

económicamente ventajosa, se conoce como reservas de balance. La porción de las reservas de balance. La porción de las reservas geológicas con un contenido de metal por debajo de un mínimo industrial establecido en un momento dado, se denomina reservas fuera de balance y presentan interés para su utilización futura.

Las reservas de balance cuya extracción es técnicamente posible y económicamente racional, se denominan industriales. Parte del mineral contenido en ellas se queda en la corteza terrestre y constituyen las pérdidas, que se caracterizan mediante un coeficiente que expresa la relación existente entre la cantidad de mineral perdido en la extracción (T_p) y las reservas industriales (T), es decir:

$$K_p = \frac{T_p}{T},$$

en tanto por ciento:

$$K_p \% = \frac{T_p}{T} \cdot 100 \%,$$

donde k_p -coeficiente de pérdidas.

Cuando se extraen minerales metálicos se utiliza también el coeficiente de pérdidas de metal, que es la relación existente entre la cantidad de metal que se pierde en la extracción y la cantidad contenida en las reservas industriales.

Por otra parte, en el proceso de extracción el mineral industrial se mezcla con estéril o mineral no industrial, lo que baja la ley promedio del producto extraído; este fenómeno se conoce por empobrecimiento y se expresa mediante el coeficiente de empobrecimiento (E), que es la relación entre la cantidad de estéril mezclado (T_{est}) y la cantidad total de masa minera extraída (T_m), es decir:

$$E = \frac{T_{est}}{T_m},$$

en tanto por ciento:

$$E \% = \frac{T_{est}}{T_m} \cdot 100 \%,$$

En las menas metálicas el empobrecimiento se puede expresar mediante la relación existente entre la disminución de metal (Δ_e) en la masa minera extraída y el contenido del metal Δ_i en el mineral industrial

$$E_m = \frac{\Delta_e}{\Delta_i},$$

en tanto por ciento

$$E_m \% = \frac{\Delta_e}{\Delta_i} \cdot 100 \%,$$

donde E_m - coeficiente de empobrecimiento para menas metálicas.

Por el grado de conocimiento, las reservas de los yacimientos se clasifican en categorías A, B, C₁ y C₂. En cada una de estas categorías se incluyen las siguientes reservas:

A: reservas completamente estudiadas y limitadas. Se conoce su uso industrial, la calidad y tecnología de elaboración del mineral. En función de la profundidad del conocimiento de este último elemento, se diferencia en categorías A₁ y A₂.

B: Reservas estudiadas y limitadas. Se conocen con menos detalles las condiciones de yacencia y la distribución de los tipos naturales e industriales del mineral.

C_1 : Reservas establecidas mediante la perforación de una red de barrenos poco densa y reservas que limitan con las categorías A_1 , A_2 y B.

C_2 : reservas que limitan con los sectores A_2 , B, y C_1 o supuestas sobre la base de datos geológicos o geofísicos.

La elaboración del proyecto de explotación y la construcción de la unidad de producción, se lleva a cabo sobre la base de las reservas de balance en las categorías $A + B + C_1$. Para determinar las perspectivas de desarrollo de la producción minera, en el proyecto se utiliza la categoría C_2 junto a todas las otras. Esta categoría también se emplea para planificar labores posteriores de investigación geológica.

Propiedades físicas de las rocas

Las propiedades físicas de las rocas, minerales y concentrados, tienen gran influencia en el trabajo de múltiples máquinas que se utilizan en la industria minero metalúrgica y, en particular, diversos aparatos, equipos y métodos, especialmente en el campo del beneficio de minerales, basan su principio de acción en la variación de estas propiedades para diferentes materiales.

En la industria minera se aprovecha ampliamente un grupo de propiedades físicas, que tradicionalmente se conocen como propiedades físico mecánicas de las rocas y entre las cuales se encuentran:

Peso específico: El peso de la unidad de volumen (γ) se expresa en g/cm^3 , kg/m^3 , t/m^3 . En el caso de las rocas debe tomarse en consideración que se trata del volumen en estado compacto, es decir, descontándole el volumen de los poros (cavidades ocupadas por aire o humedad que abundan en las rocas y aumentan su volumen aparente). De tal forma:

$$\gamma = \frac{P}{v},$$

donde P - peso del cuerpo, g, kg, t; v - volumen en estado compacto, cm^3 , m^3 .

El peso específico se suele determinar con la ayuda de un picrómetro.

Peso volumétrico. Peso de la unidad de volumen de las rocas, sin tomar en consideración su porosidad, es decir:

$$\gamma' = \frac{P}{v'}, g/cm^3, kg/m^3, t/m^3,$$

donde v^1 - volumen total del cuerpo, incluyendo el volumen de los poros.

La porosidad de la roca se mide a través del coeficiente de porosidad (ϵ), que es la relación existente entre el volumen de los poros o cavidades y el volumen de la roca.

Esponjamiento. Es la propiedad de las rocas de aumentar su volumen cuando se arranca o fragmenta, y se caracteriza por el coeficiente de esponjamiento K_e .

$$K_e = \frac{v_1}{v_2},$$

donde v_1 - volumen de la roca fragmentada; v_2 - volumen de la roca en el macizo.

Este coeficiente depende de la estructura y del grado de fragmentación de la roca. Su valor medio varía entre 1,08-2,5. Pero además, suele variar en función de

diferentes factores, por ejemplo, con el transcurso del tiempo el material esponjado se compacta y el nuevo coeficiente de esponjamiento residual (K_{er}) es menor que el anterior ($K_{er} < K_e$). Puede depender también de peculiaridades del medio de transporte, por ejemplo, el volumen del material arrancado en el suelo puede ser diferente del volumen que ocupe en el recipiente de transporte.

Dureza. Propiedad de un cuerpo de oponer resistencia a la penetración de otro, sin que se deforme. Se determina por diferentes métodos, o sea, dimensiones de la huella que deja un objeto duro que se introduce en la roca, fuerza necesaria para realizar un troquel, magnitud del retroceso de una bola que cae sobre la roca, fuerza necesaria para rayar la roca, dimensiones de los rayones con carga constante, etc. En función del carácter de aplicación de las fuerzas, se diferencian en dureza estática y dinámica. La dureza dinámica de las rocas en la aplicación de las fuerzas, es de 8 a 9 veces inferior que la dureza estática.

Abrasividad. Propiedad de la roca de desgastar o erosionar los elementos de máquinas e instalaciones con las que hace contacto móvil. En la práctica, la abrasividad suele determinarse por el volumen o peso que pierde el objeto en la unidad en que se realice el trabajo (kg/h; cm^3/kg); etcétera.

Elasticidad. Propiedad de los cuerpos de recuperar la forma y el volumen inicial, después que cesan las fuerzas externas que determinan una deformación.

Plasticidad. Capacidad de un cuerpo de conservar una deformación residual (cambios de forma), sin pérdida de la continuidad o variación de volumen, aún cuando cesen las fuerzas externas que la provocaron.

Fragilidad. Propiedad de las rocas u otros cuerpos de romperse, sin deformaciones residuales.

Viscosidad. Capacidad de un cuerpo de oponer resistencia a las fuerzas que tratan de separarlo por capas.

En minería se ha difundido ampliamente la evaluación de las propiedades físico-mecánicas de las rocas, a través del concepto de fortaleza propuesto por el científico soviético M. Protodiakonov, y que se mide mediante el coeficiente de fortaleza, o simplemente fortaleza. Este coeficiente se determina por la siguiente fórmula:

$$f = \frac{\sigma}{100},$$

donde f - coeficiente de fortaleza; σ - tensión de resistencia: presión que es necesario aplicar para romper una muestra mediante compresión, kg/cm^2 .

La tensión de resistencia se determina mediante la fuerza que es necesario aplicar para romper un cubo de rocas con dimensiones de 5 x 5 x 5 cm.

$$\sigma = \frac{P}{S}$$

donde P - fuerza aplicada, kg; S - área de aplicación, cm^2 .

El coeficiente f es adimensional.

En correspondencia con esta propiedad se ha establecido una clasificación, en la cual todas las rocas se dividen en 10 categorías, cada una de las cuales se encuentra entre ciertos límites de valor de f . Como unidad convencional se ha tomado la fortaleza que corresponde a una tensión de 100 kg/cm^2 , para la cual $f = 1$.

La fortaleza máxima corresponde a una tensión de 2 000 kg/cm², a la que corresponde $f = 20$.

Elementos y formas de los yacimientos minerales

Los principales elementos de un yacimiento están determinados por sus dimensiones y su posición con respecto a la vertical y al meridiano magnético. Entre ellos se encuentran la potencia, la extensión, el buzamiento y el rumbo (Fig. 3.1).

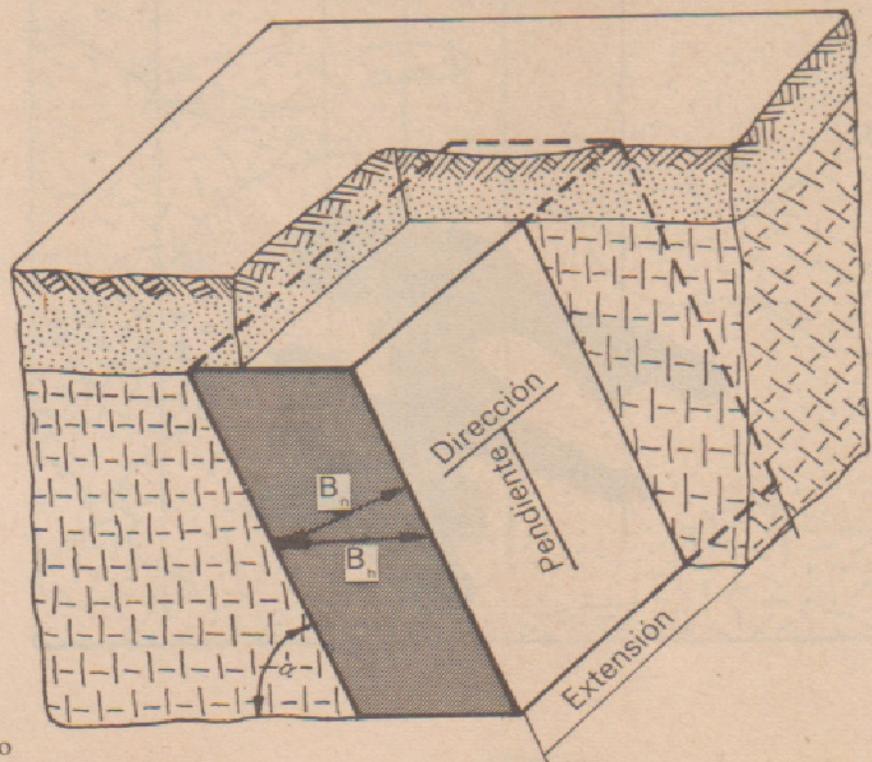


Fig. 3.1 Elementos del yacimiento

La potencia B es una medida del espesor del yacimiento. Se diferencian dos potencias, una denominada verdadera o normal (B_n), dada por la distancia más corta entre los planos laterales del yacimiento, y otra horizontal (B_h), tomada como la distancia entre estas dos superficies. En el caso de yacimientos horizontales se le llama con frecuencia a la distancia vertical entre los planos que lo limitan.

En función de la potencia, los yacimientos se clasifican en pequeños ($B < 2$ m), medianos ($B = 2-5$ m), potentes ($B = 5-20$ m) y grandes ($B > 20$ m).

La inclinación del yacimiento con respecto a la horizontal se conoce como buzamiento y se caracteriza por el ángulo que forman ambas direcciones. La línea de buzamiento se denomina pendiente. En función del ángulo de buzamiento los yacimientos se dividen en horizontales o de suave pendiente ($\alpha = 0^\circ-45^\circ$), inclinados ($\alpha = 25^\circ-45^\circ$) y abruptos ($\alpha > 45^\circ$).

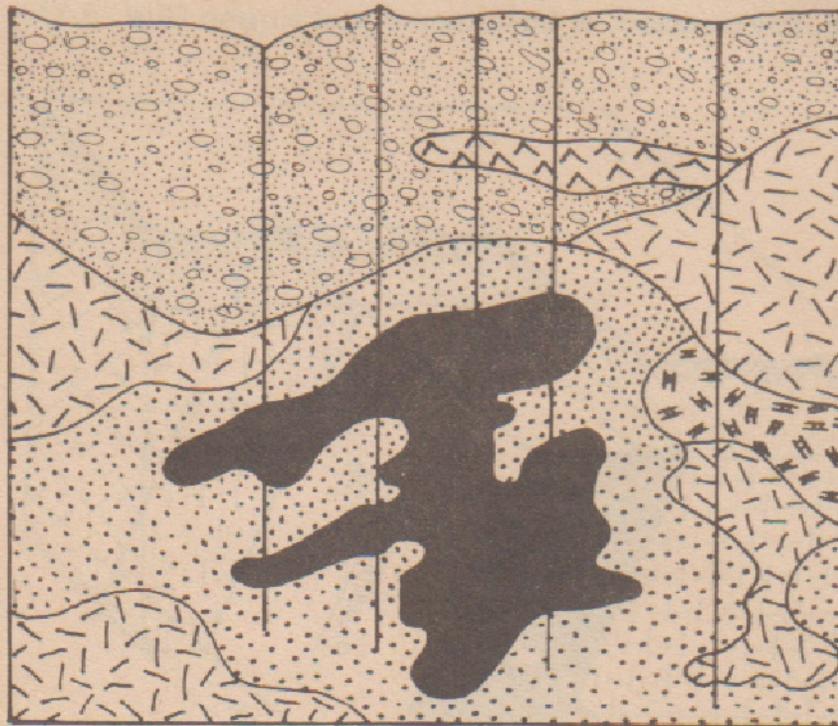
La línea formada por la intersección del plano de buzamiento con el plano horizontal, se conoce como línea de dirección; la longitud del yacimiento a lo largo de esta línea se denomina extensión.

El rumbo es el ángulo que forma la línea de dirección con el meridiano magnético o verdadero.

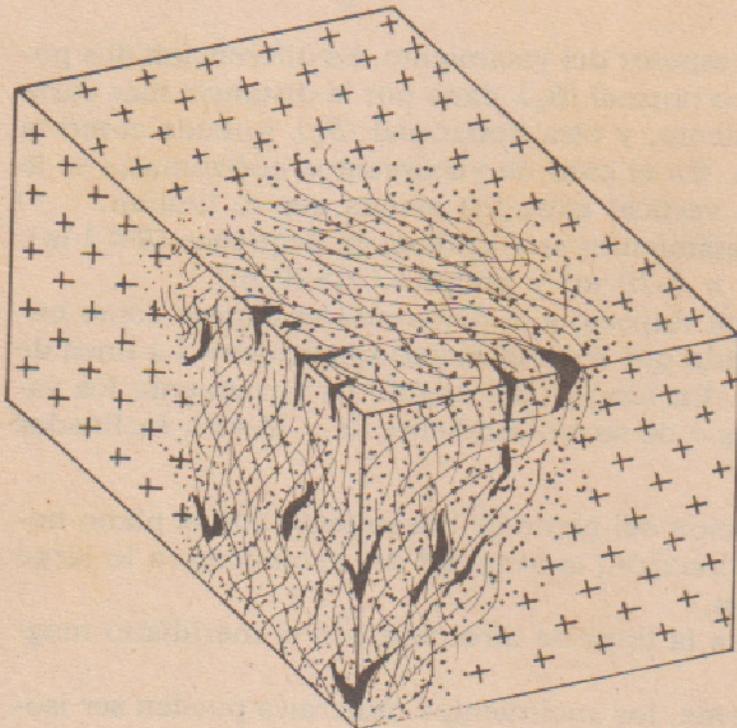
Desde el punto de vista de la forma, los yacimientos minerales pueden ser isométricos, es decir, con las dimensiones de largo, ancho o extensión y profundidad

aproximadamente iguales; tubulares, o de forma más o menos cilíndrica, e irregulares.

Las formas más comunes de los yacimientos minerales son: el stok, el bolsón, el stokver y los nidos, entre los isométricos (Fig. 3.2); los filones y las capas o estratos, estos últimos a veces denominados mantos, entre los tubulares (Fig. 3.3), así como otras formas tubulares e irregulares (Fig. 3.4).



a



b

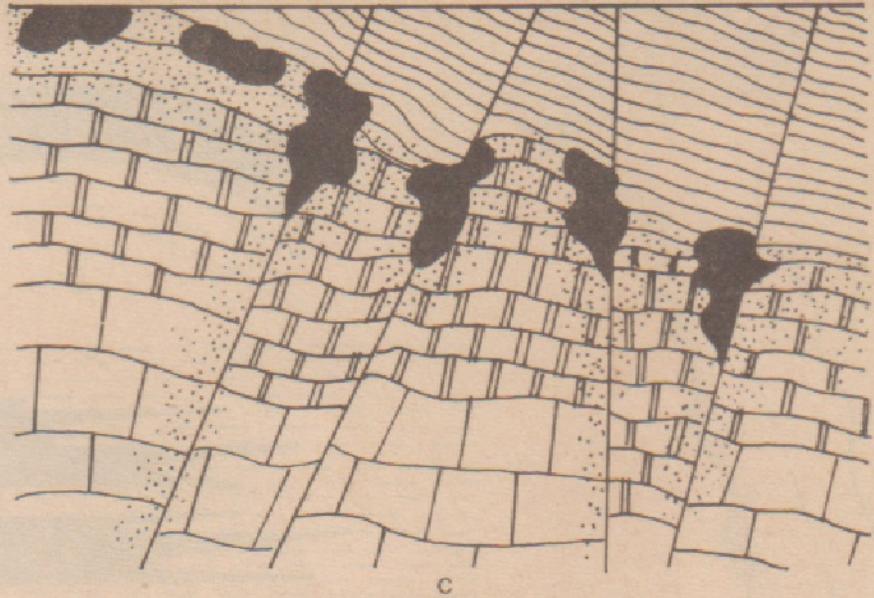
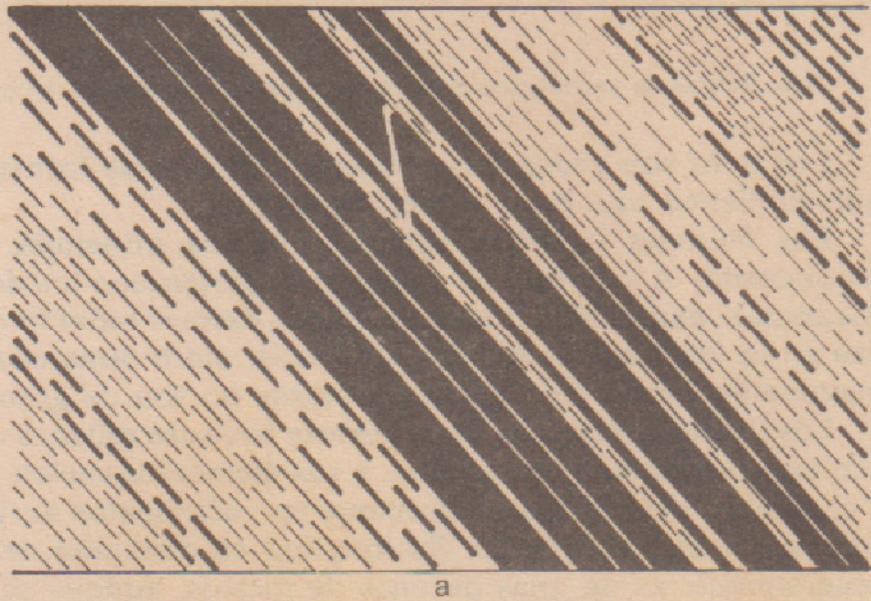


Fig. 3.2 Formas de yacimientos minerales isométricos: a) stok; b) stokuer; c) nido

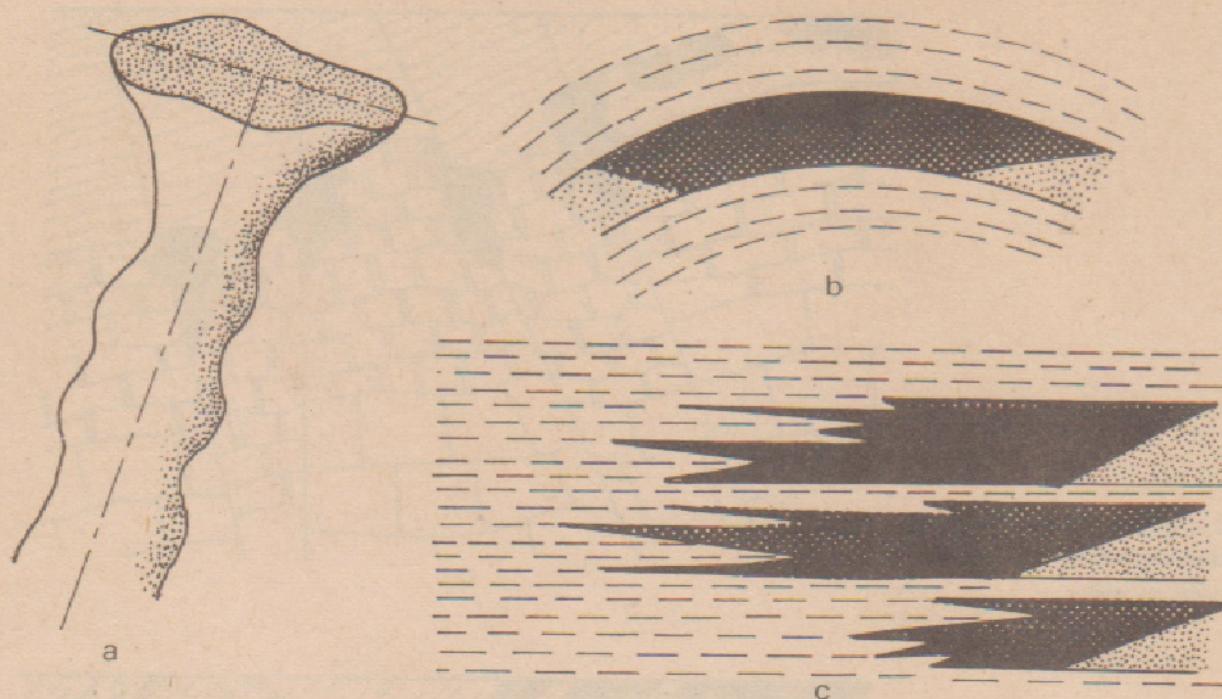


a



b

3.3 Formas de yacimientos minerales tabulares: a) capas o mantos; b) filón



3.4 Otras formas de yacimientos minerales: a) tronco o columna; b) trampa de petróleo; c) lentes

Los *stoks* son yacimientos de gran tamaño, de forma más o menos isométrica, que contienen una masa mineral continua.

Los *bolsones* o *bolsas* son yacimientos minerales de forma más o menos redondeada. A este tipo de yacimiento pertenecen los de manganeso, en Bueycito (Granma), explotados con el objeto de extraer bióxido de manganeso, que se utiliza en la fabricación de pilas eléctricas, entre otras cosas. Como regla, los yacimientos en forma de bolsones o bolsas no son de grandes dimensiones.

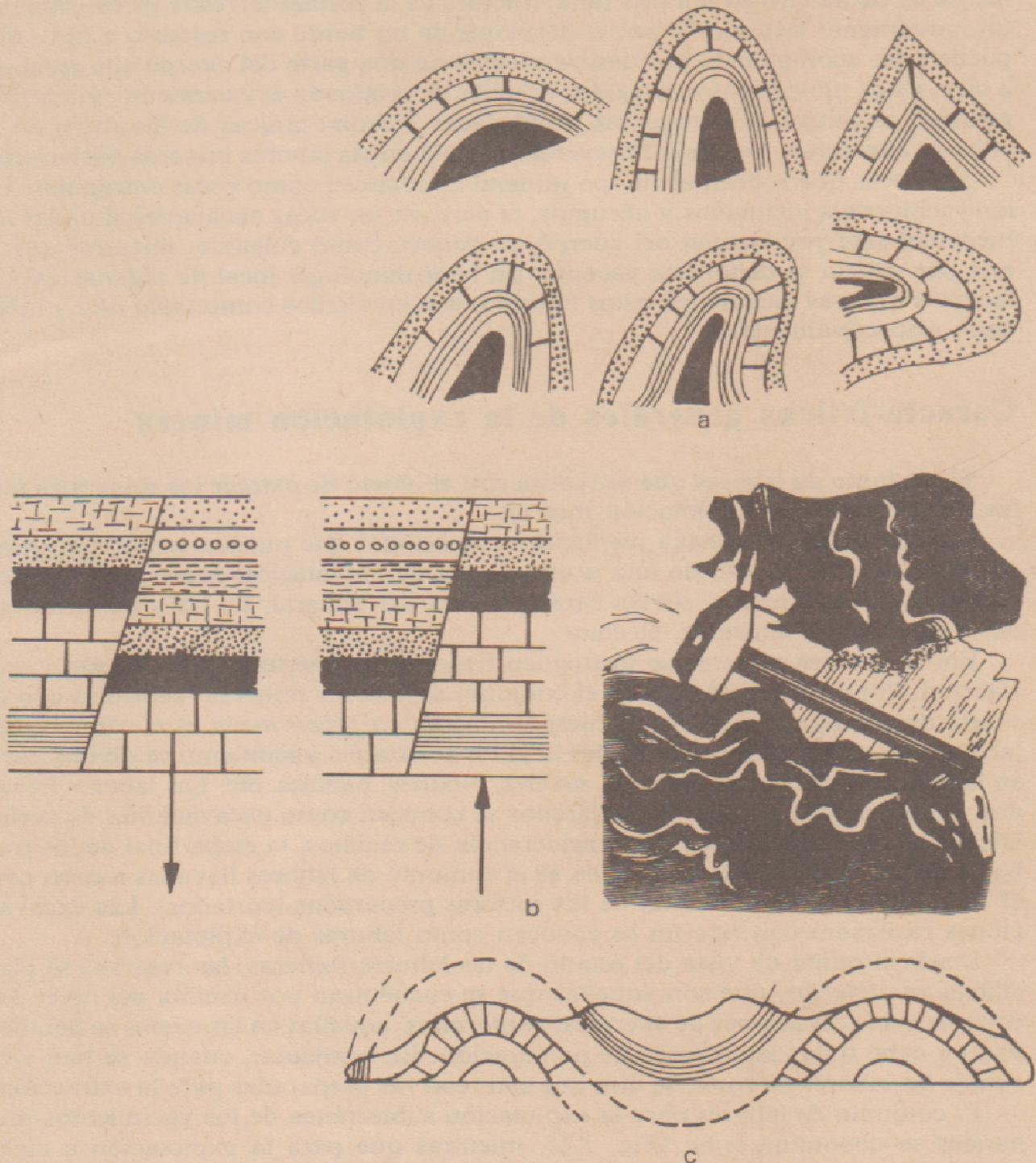
Los *filones* son grietas en la corteza terrestre rellenas con materiales útiles. Pueden existir aisladas o en grupos, y sus elementos suelen variar con la profundidad y el rumbo. Esta forma es frecuente en yacimientos auríferos, por ejemplo, los de Aguas Claras, en Holguín. Su longitud en dirección del buzamiento (pendiente), generalmente es de unas decenas de metros, aunque se conoce un filón aurífero en California, EE.UU., con una longitud de 200 km. La potencia de los filones, como regla, es pequeña.

Los *estratos*, *capas* o *mantos* son yacimientos minerales planos, estratificados horizontalmente en forma de capas, nombre con el que se les conoce. Son más extensos y homogéneos que los filones, y característicos de yacimientos sedimentarios como el manganeso o el carbón. Pueden estar formados por una o varias capas. Un ejemplo de este tipo de yacimiento en Cuba, lo es el de Charco Redondo, en Granma, formado por tres capas de mineral de manganeso, separadas entre sí por estratos de caliza.

Los *lentes* son yacimientos que se caracterizan por tener perfiles lenticulares, es decir, cuyo contorno visto perpendicularmente disminuye en espesor del centro a la periferia. Un tipo peculiar lo constituyen los *placeros*, yacimientos formados por la acumulación de aluviones detríticos, sedimentos acarreados por aguas corrientes y producto, entre otros, de la desagregación de las rocas. Contienen oro y platino nativos, diamantes y otros minerales pesados; casiterita, mineral de estaño; magnetita, mineral de hierro, etc. En este tipo de yacimiento se encontraban

con frecuencia las pepitas, masa pequeña y redonda de metal nativo, especialmente oro, y cuya búsqueda con el objetivo de garantizar una riqueza rápida y fácil, dio origen en el siglo pasado al fenómeno conocido como fiebre del oro, de las cuales las más famosas son las de California y Alaska. Esta última proporcionó tema a varias de las obras del famoso escritor norteamericano Jack London.

Existen otras formas de yacimientos minerales, a las cuales pertenecen: el *domo*, de forma cercana a la cúpula, en Cuba son conocidos yacimientos de sal con esta forma; el *batolito*, masa de magma fundida que ha solidificado también en forma de cúpula; pero de mayores dimensiones. Los yacimientos *tubulares*, en



3.5 Desplazamientos de la corteza terrestre: a) pliegues; b) dislocaciones; c) anticlinal y sinclinal

forma de tronco o columna, alargados en su longitud, y con una potencia relativamente grande, tienen una extensión limitada. Por último, abundan yacimientos de *formas irregulares* que se caracterizan por la ausencia de elementos de yacencia, con formas claramente distinguibles.

Las fuerzas internas provocan desplazamientos en la corteza terrestre y deforman su estructura. Los resultados visibles, más comunes, de estos movimientos, son los pliegues y dislocaciones (Fig. 3.5). Los *pliegues* son deformaciones en las cuales las capas rocosas (terrenos), primitivamente horizontales, presentan ondulaciones en forma de sinclinales y anticlinales. La *dislocación* es la separación de las partes de un cuerpo por una falla, fractura de la corteza terrestre provocada por un movimiento tectónico o por el desplome de un borde con respecto a otro, que puede estar acompañado por deslizamientos de una parte del cuerpo con respecto a otra. Estos movimientos, surgidos después de originado el yacimiento, alteran su posición primitiva, y a veces las propiedades fisicomecánicas de las rocas en la zona de alteración, lo que influye notablemente en las labores mineras posteriores.

Las rocas que rodean el cuerpo mineral se conocen como rocas encajantes. En los yacimientos inclinados y abruptos, la parte de las rocas encajantes situadas inmediatamente por encima del cuerpo, se conoce como colgante; mientras que si está por debajo se denomina yacente. En la terminología local de algunas explotaciones mineras nacionales, estos términos son conocidos como *tabla alta* y *tabla baja*, respectivamente.

Características generales de la explotación minera

El conjunto de labores que se realiza con el objeto de extraer los minerales útiles, se conoce como explotación minera.

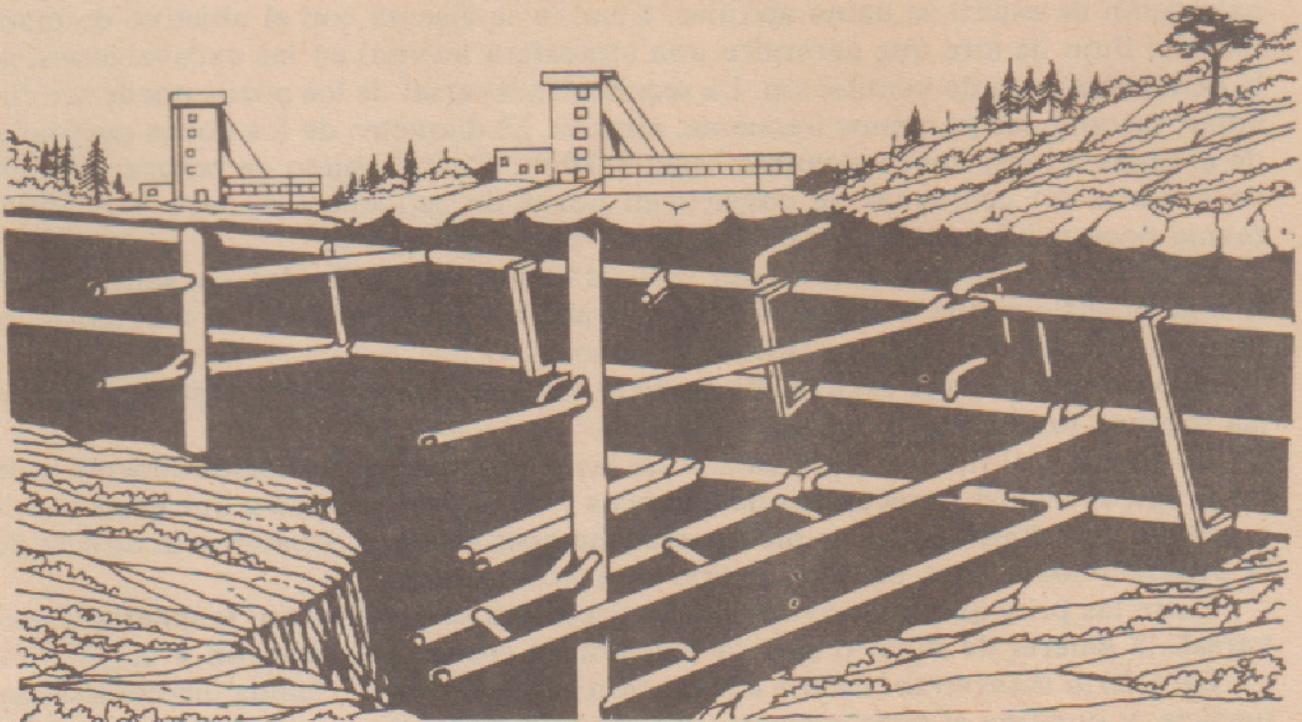
La explotación se efectúa mediante excavaciones que pueden ser subterráneas o a cielo abierto. El uso de una u otra forma de explotación depende de la profundidad del yacimiento, de las características del mineral, de las peculiaridades del equipamiento existente, etcétera.

En las labores mineras se distinguen tres etapas: apertura, preparación y extracción. Por *apertura* se conoce el conjunto de labores mineras realizadas con el objeto de garantizar el acceso al cuerpo mineral. La *preparación* es el conjunto de labores mineras mediante las cuales la parte abierta del yacimiento se divide, para su laboreo, en diferentes sectores, niveles, bloques, paneles, etc. Las labores llevadas a cabo en los sectores ya preparados se conocen como excavaciones de corte. Dichas labores constituyen, en consideración de muchos, la etapa final de los trabajos de preparación. La *extracción* es el conjunto de labores llevadas a cabo con el objeto de extraer el mineral de los sectores preparados (cortados). Las excavaciones realizadas con este fin se conocen como labores de explotación.

Desde el punto de vista del estado de las labores mineras, las reservas se clasifican en: *abiertas*, que son aquellas que se encuentran por encima del nivel del corte de las excavaciones de apertura; *preparadas*, aquellas en las cuales se han llevado a cabo todas las labores de preparación. En particular, cuando se han ejecutado las labores de corte, se dice que son reservas preparadas para la extracción.

El conjunto de labores para la explotación subterránea de los yacimientos minerales se denomina *mina* (Fig. 3.6), mientras que para la explotación a cielo abierto se llama *cantera*. En la práctica esta última denominación se utiliza para la explotación a cielo abierto de materiales no metálicos, en particular materiales

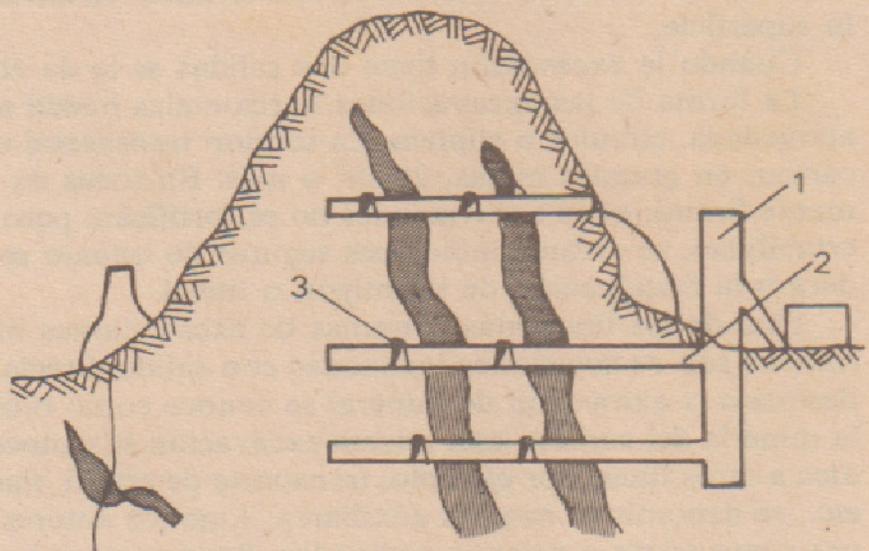
de construcción. Al conjunto de excavaciones para la explotación a cielo abierto de yacimientos metálicos, se le nombra con frecuencia mina a cielo abierto y menos frecuentemente, tajos a cielo abierto.



3.6 Esquema de explotación subterránea

La parte del yacimiento mineral que laborea una mina o cantera, se conoce como campo minero. Como regla, una mina o cantera constituye una unidad de producción. La agrupación de varias unidades forma una empresa. Cuando se incluye también las fábricas de beneficio o metalúrgicas, y entonces componen grandes empresas, se denomina con frecuencia combinados.

El laborero, como se señaló anteriormente, se lleva a cabo mediante excavaciones mineras subterráneas, que pueden ser verticales, horizontales e inclinadas (Fig. 3.7). Las principales excavaciones subterráneas verticales son: el pozo, el contrapozo y el pozo ciego.



3.7. Excavaciones mineras: 1) pozo vertical; 2) galería transversal; 3) galería de mina

El *pozo* es una excavación subterránea con salida directa a la superficie. Cuando se destina a la extracción de minerales se denomina pozo maestro o principal. Si se dedica al transporte de materiales, personal, equipos y, en ocasiones, a la extracción de estéril se llama auxiliar. Cuando se ejecuta con el objetivo de mantener el flujo de aire que garantice una atmósfera normal en las excavaciones, se le denomina pozo de ventilación. La sección transversal de los pozos puede ser circular, rectangular y, menos frecuente, elíptica. El diámetro de los pozos circulares de grandes minas, puede alcanzar hasta 8-10 m. Con el objeto de realizar labores de exploración geológica, se construyen pozos de pequeño diámetro y relativamente poca profundidad, conocidos como pozos de sondeo.

El *contrapozo* es una excavación vertical (puede ser inclinada), sin salida directa a la superficie, que une dos niveles de trabajo y está destinado al transporte de mineral, materiales, equipos, estéril o personal.

El *pozo ciego* es una excavación vertical, sin salida directa a la superficie, y con las mismas funciones de un pozo maestro.

La forma y el tipo de fortificación de las excavaciones verticales dependen de las propiedades fisicomecánicas de las rocas y de la profundidad a que estas se encuentran. Las dimensiones de dichas excavaciones están en dependencia directa de la productividad, para un mismo tipo de mecanización.

Entre las principales excavaciones horizontales se encuentran: la galería transversal, la galería de mina o galería maestra, el crucero, el socavón y el túnel.

La *galería transversal* es una excavación subterránea, sin salida directa a la superficie, y que une el pozo maestro con el yacimiento. Se destina al transporte de cargas y de personal, así como a la ventilación. Como regla se construye por estéril.

La *galería de mina o galería maestra* es una excavación horizontal, sin salida directa a la superficie y ejecutada a lo largo de la extensión del yacimiento. Puede construirse tanto por el mineral como por el estéril. Se utiliza para el transporte de mineral, por lo que se le conoce también como galería de transporte. Cuando se profundizan las labores mineras, las galerías de minas que quedan en la parte superior se utilizan como galerías de ventilación.

El *crucero* es una excavación horizontal subterránea, sin salida a la superficie, y que se construye por el mineral, en dirección transversal al yacimiento.

El *socavón* es una excavación subterránea horizontal, con una salida directa a la superficie.

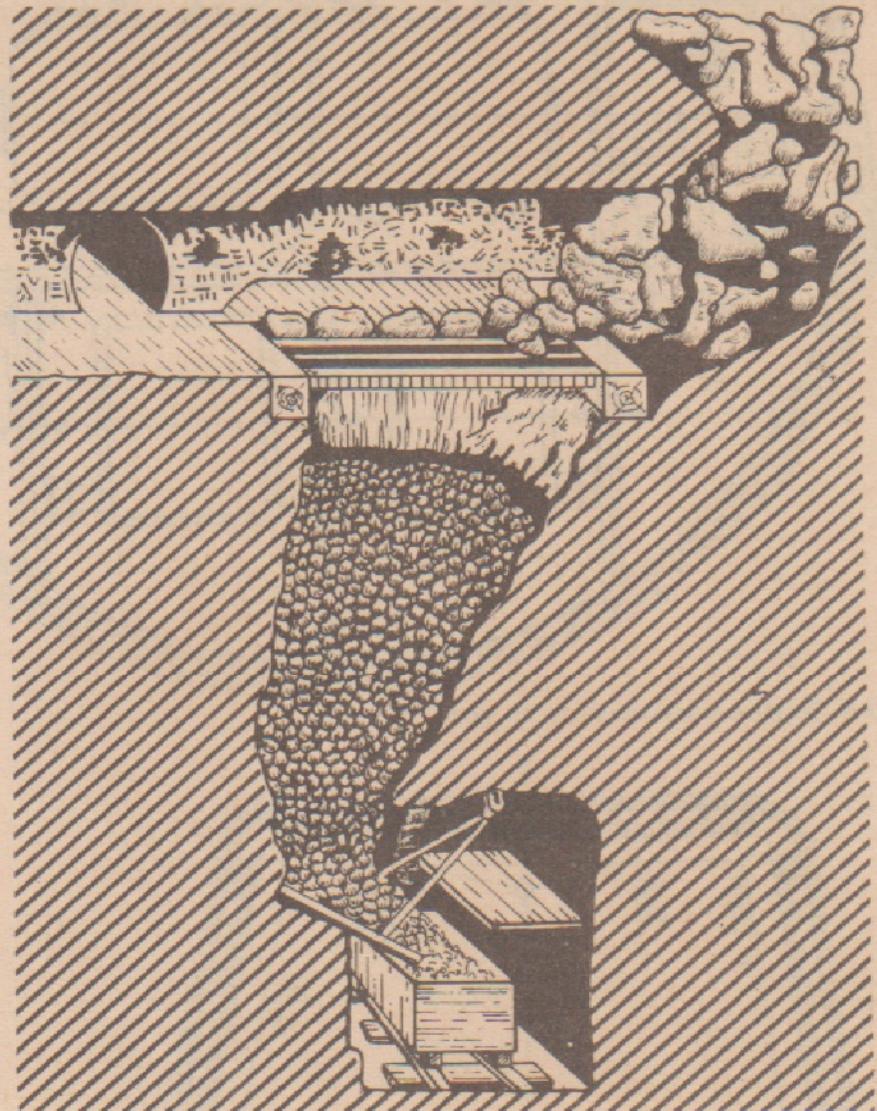
Cuando la excavación tiene dos salidas se le da el nombre de *túnel*.

La forma de las excavaciones horizontales puede ser trapezoidal, rectangular, abovedada, circular o elíptica. La sección transversal es muy variada y puede alcanzar, en grandes minas, 20 m² o más. En rocas de gran fortaleza y suficientemente firmes, estas excavaciones no se fortifican; pero en rocas débiles y de poca estabilidad, se crean condiciones seguras de trabajo mediante el entibado de madera o la fortificación de hormigón o metal.

Uno de los tipos más comunes de excavaciones inclinadas, es la rampa. Las *rampas* son excavaciones inclinadas con salida directa a la superficie. Cuando se destina a la extracción de mineral se conoce como rampa maestra o principal; en la minería del carbón, esta misma excavación se conoce como *pendiente*. Si se dedica a otros fines, por ejemplo, transporte de estéril, materiales, equipos, personal, etc., se denominan rampas auxiliares. Algunos autores nombran estas excavaciones como pozos o galerías inclinadas. Pueden tener las mismas formas de las excavaciones horizontales y se fortifican de la misma manera.

Existen otras excavaciones mineras que se utilizan tanto en la explotación como con objetivos auxiliares, entre ellas se encuentran las piqueras, las cámaras, los realces, etcétera.

La *piquera* es una excavación subterránea inclinada, sin salida directa a la superficie, y que se destina al descenso de mineral o de estéril por gravedad. (Fig. 3.8).

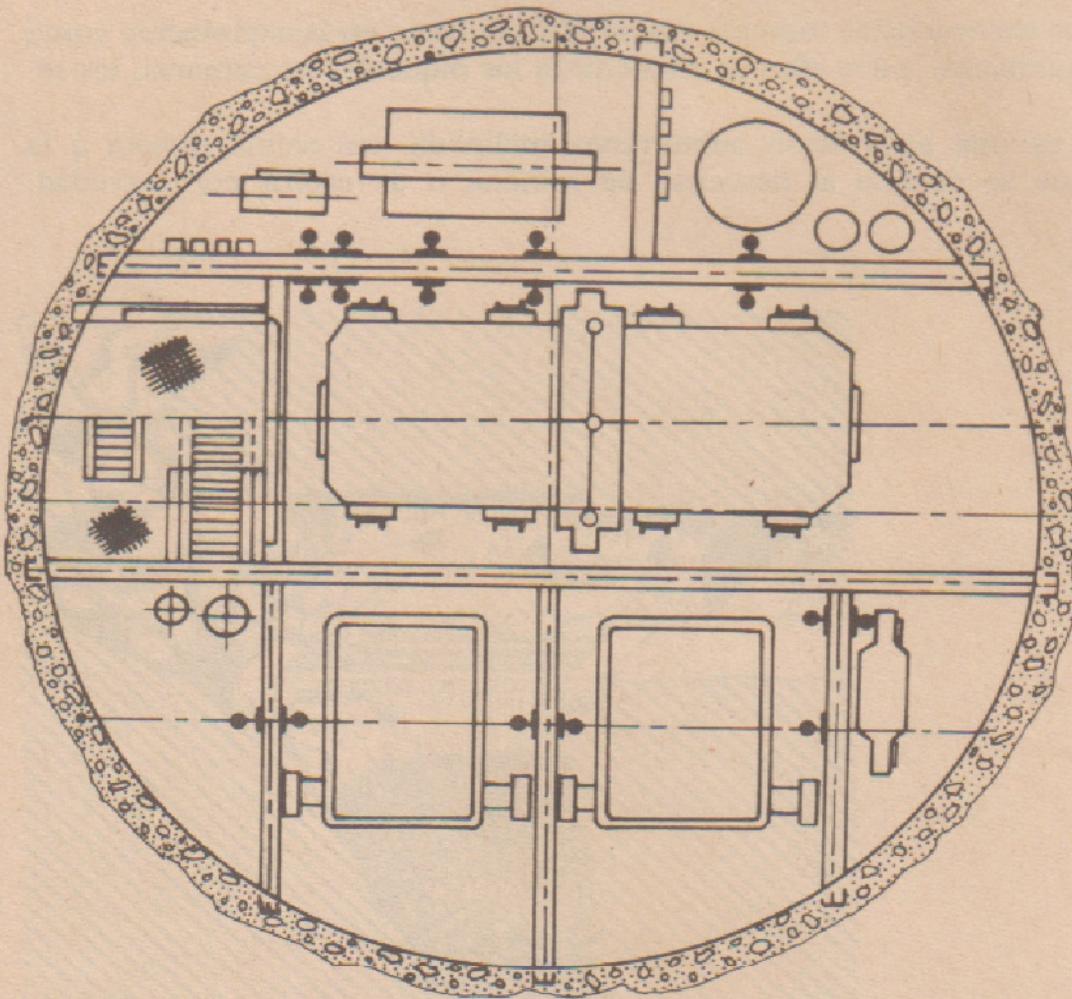


3.8 Piqueta

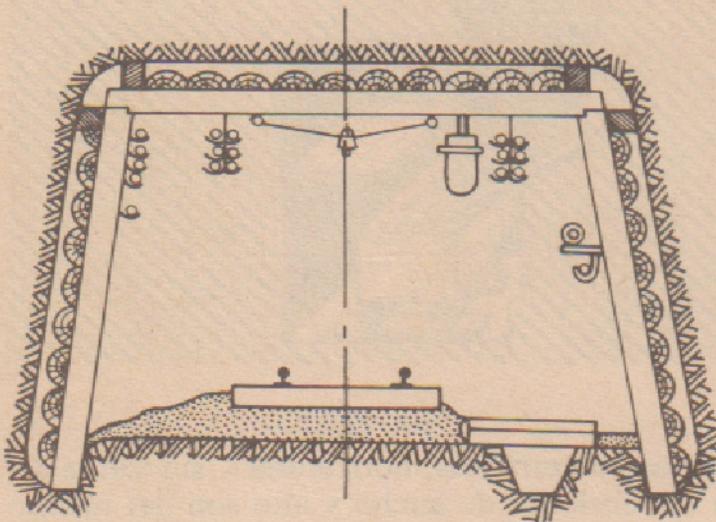
Las *cámaras* son excavaciones mineras subterráneas, horizontales, sin salida directa a la superficie, y en las que las dimensiones de ancho y alto son del mismo orden que la longitud. Se utilizan para estaciones de bombeo, subestaciones eléctricas, garajes de vagonetas, almacenes de equipos y materiales, salones de espera, etc. Generalmente se sitúan cerca del pozo maestro y pertenecen al grupo de excavaciones aledañas, denominadas *anchurón*.

Los *realces* son excavaciones de explotación que se forman en el proceso de extracción del mineral, cuando se laborea el yacimiento desde abajo hacia arriba.

Las excavaciones mineras suelen equiparse. En las figuras 3.9 y 3.10 se muestra el corte transversal de un pozo y de una galería horizontal.

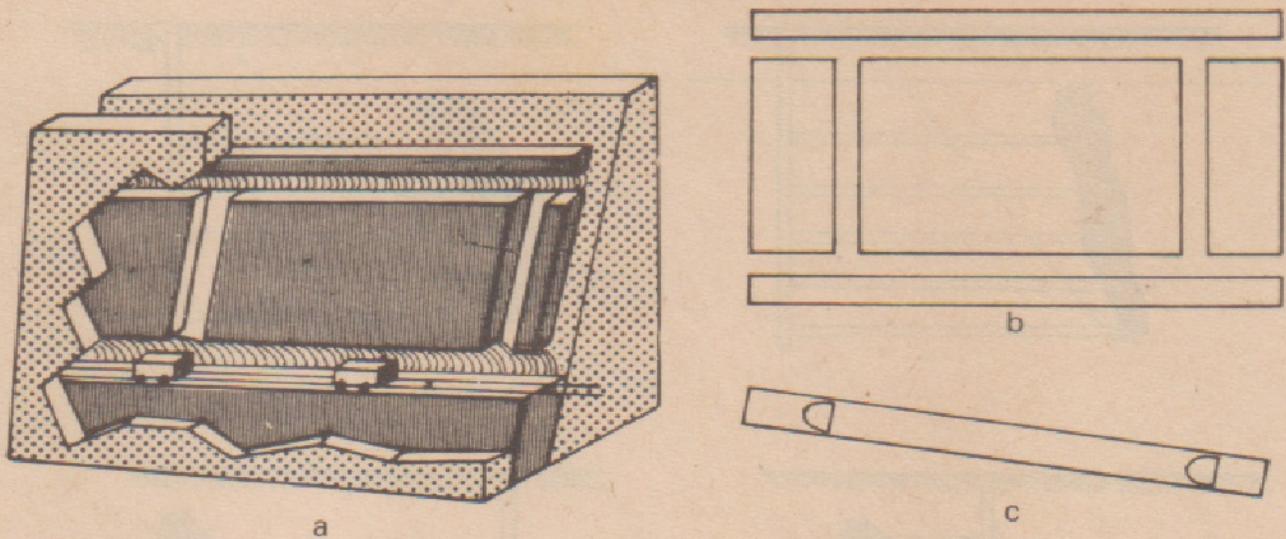


3.9 Sección transversal de un pozo

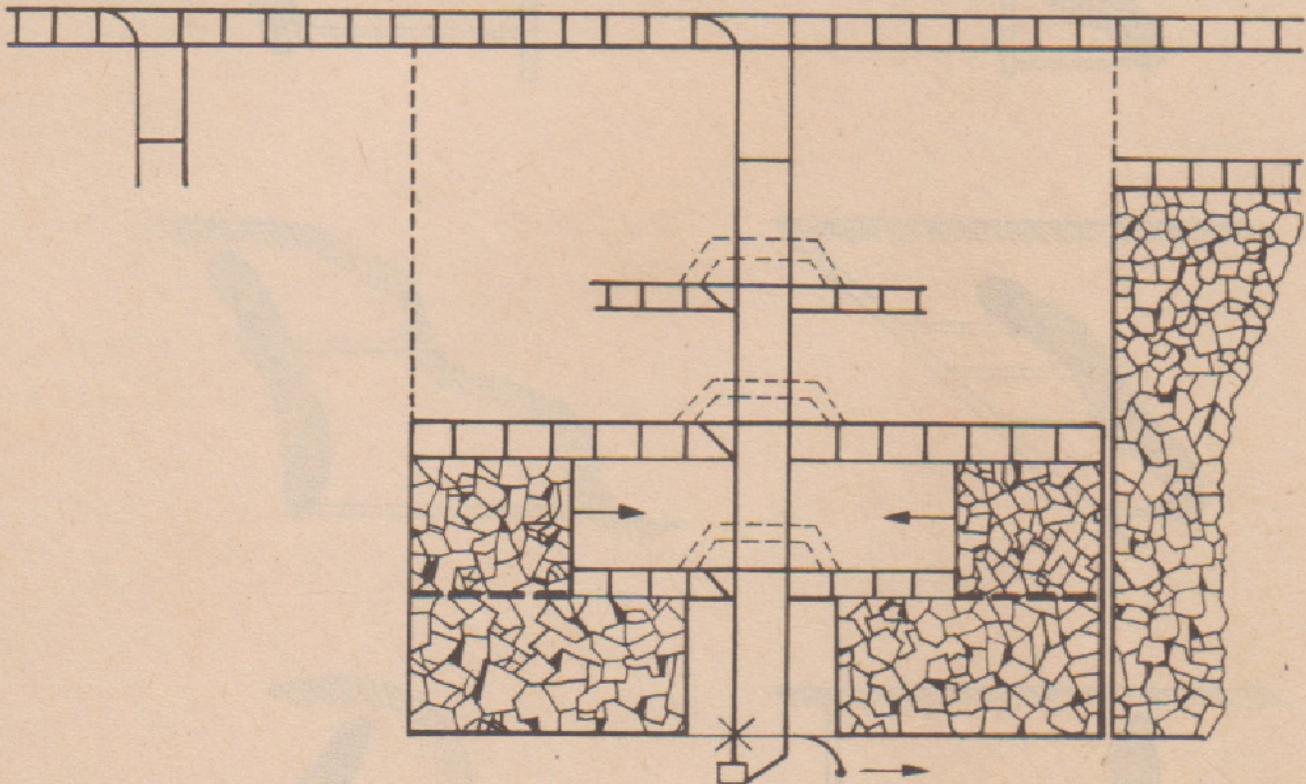


3.10 Sección transversal de una galería

Cada una de las galerías transversales determinan un nivel, y se unen entre sí mediante excavaciones verticales o inclinadas. La parte del cuerpo mineral cortado por excavaciones horizontales y verticales, que le dan a su sección una forma rectangular, se conoce como *bloque* (Fig. 3.11). En los yacimientos horizontales el cuerpo mineral se divide por excavaciones, también horizontales, con formas más o menos rectangulares, denominadas *paneles* (Fig. 3.12).



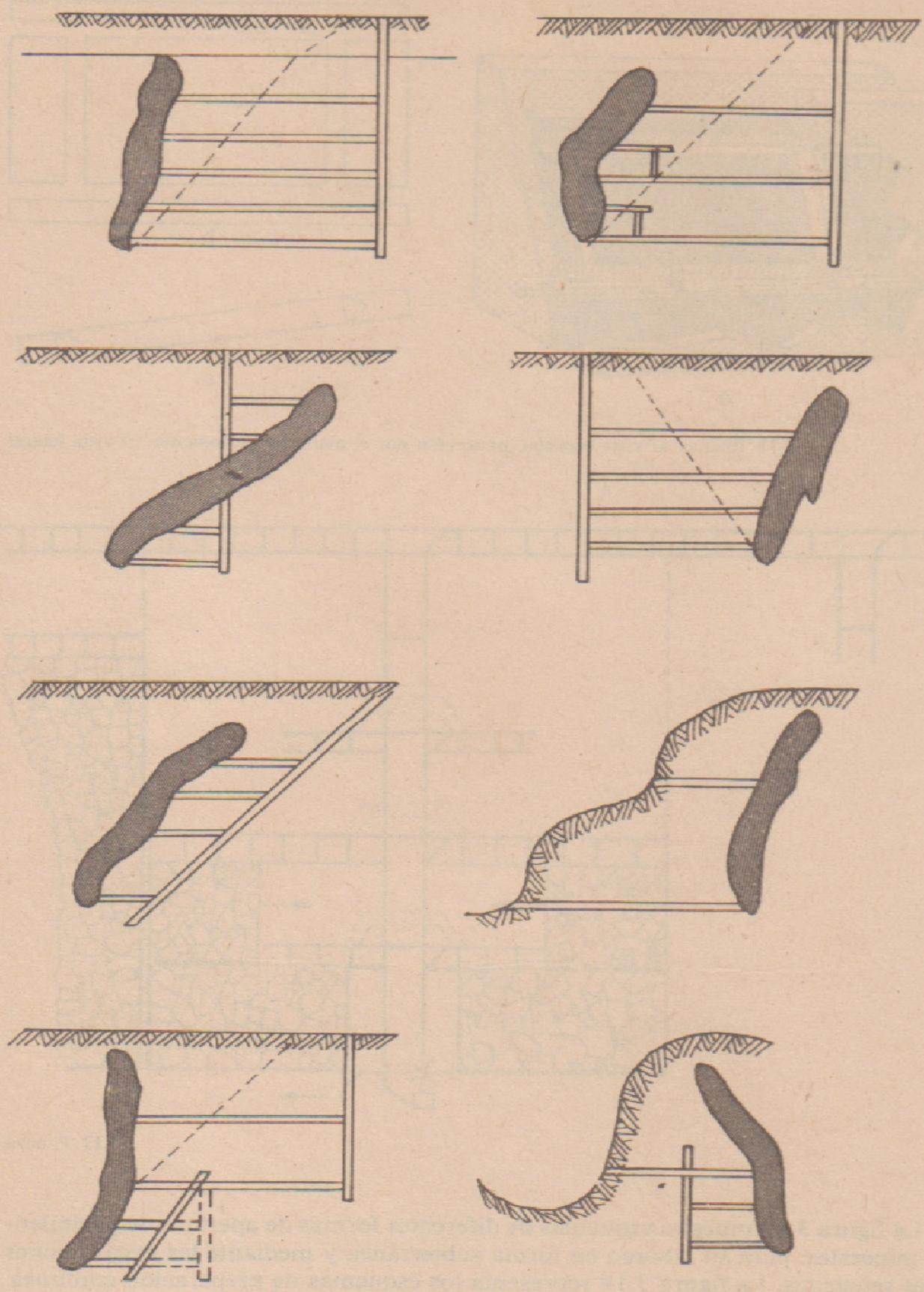
3.11 Bloque: a) vista espacial; b) sección por el plano de buzamiento; c) vista lateral



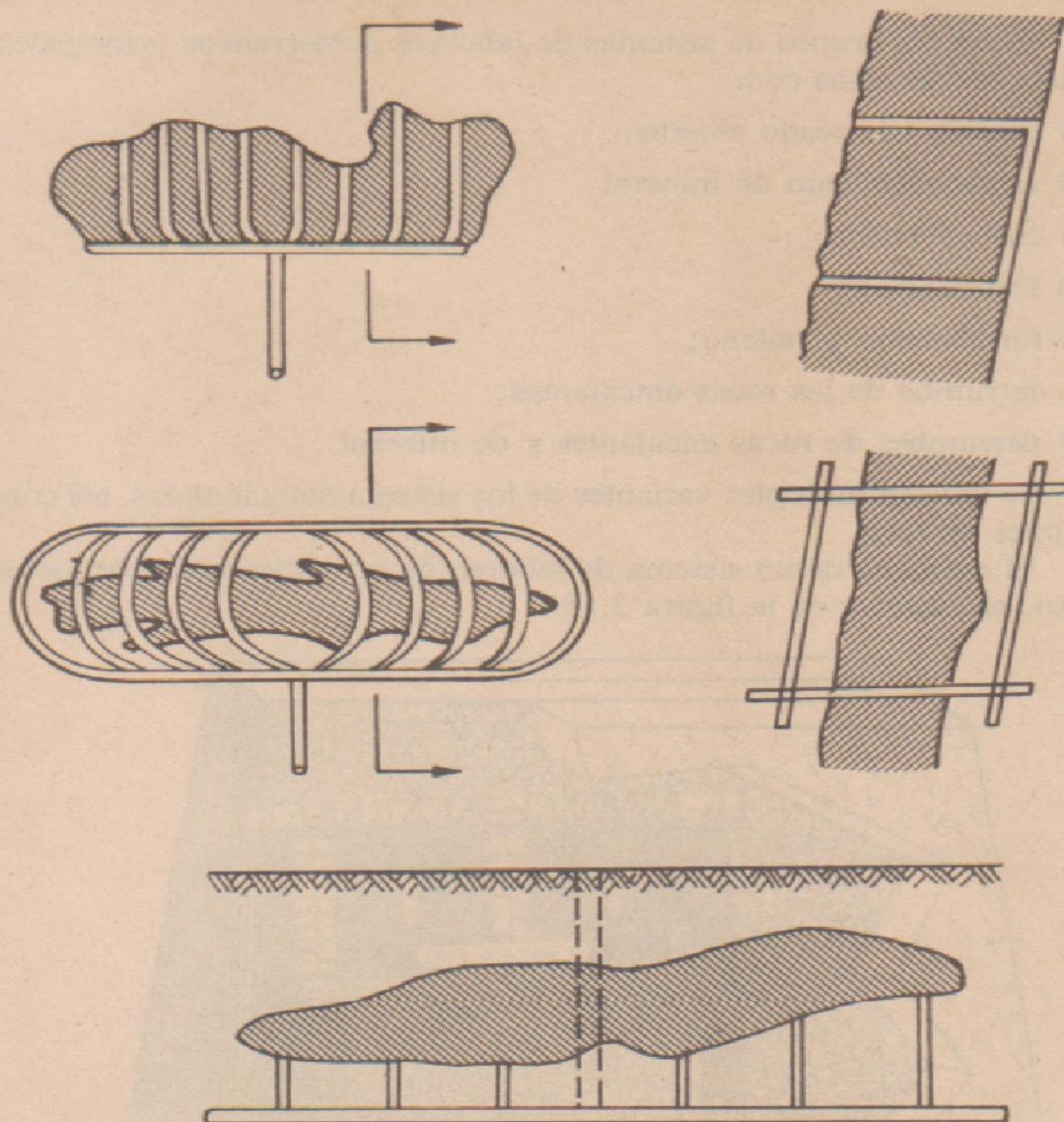
3.12 Paneles

La figura 3.13 muestra esquemas de diferentes formas de apertura de yacimientos minerales, para su laboreo en forma subterránea y mediante las excavaciones antes señaladas. La figura 3.14 representa los esquemas de preparación comunes.

Al conjunto de labores y procesos de extracción se le denomina sistema de laboreo, e incluye también el orden de ejecución de los trabajos y las características constructivas del bloque o panel de extracción.



3.13 Esquemas de aperturas para el laboreo subterráneo



3.14 Esquemas de preparación

Los sistemas de laboreo se diferencian entre sí por:

- a) el orden de extracción;
- b) la dirección en que se mueve el frente de trabajo, en relación con las principales excavaciones;
- c) el estado del espacio durante la extracción;
- d) los métodos de arranque;
- e) los métodos de acarreo (transportación interna).

Los principales procesos que caracterizan el sistema de laboreo subterráneo, lo constituyen el arranque, el acarreo, la carga y la fortificación. Como operación complementaria en las rocas arrancadas mediante voladuras, debe señalarse la trituración secundaria.

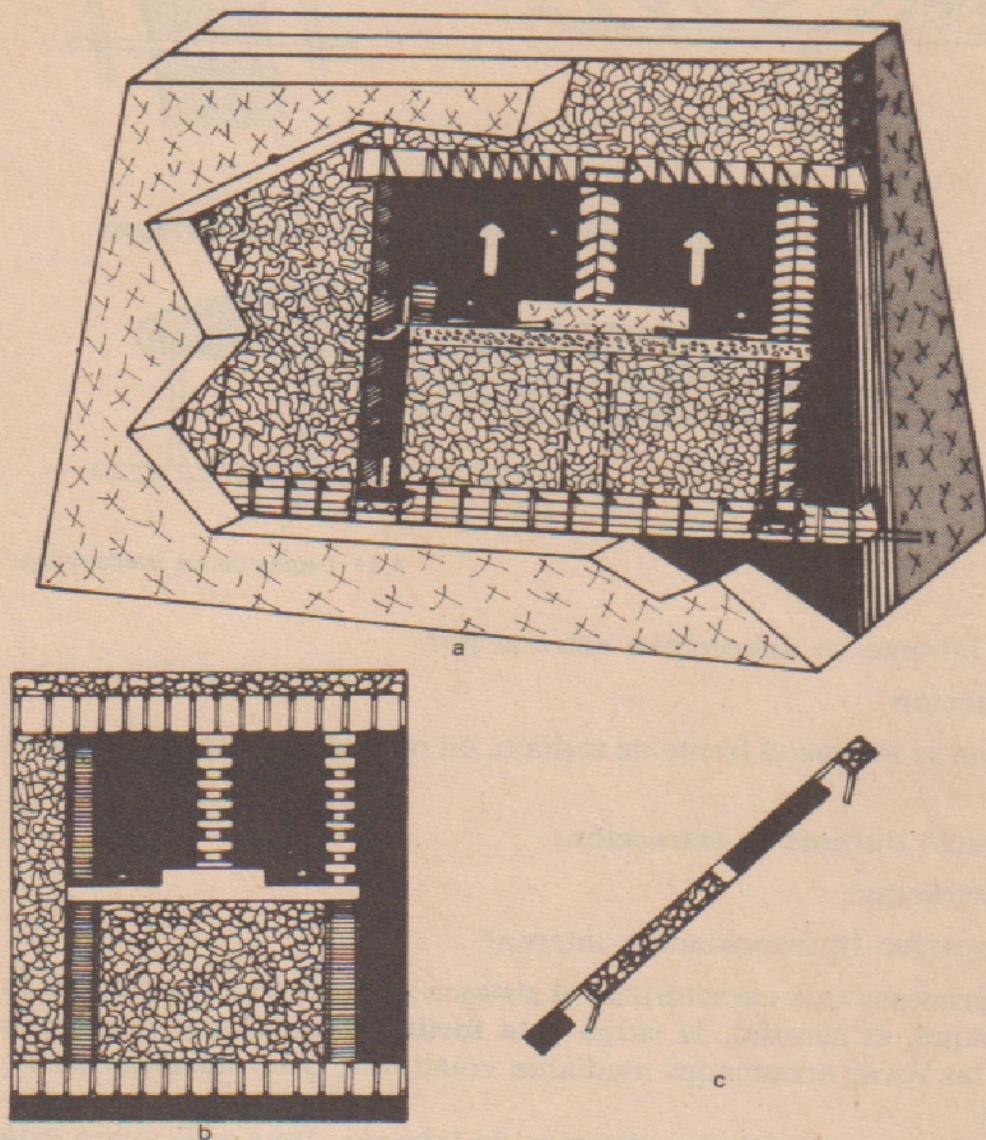
De tal manera se conocen múltiples sistemas de laboreo, cuya aplicación está determinada por las condiciones minerogeológicas, los factores económicos, el desarrollo de la técnica, etcétera.

Entre los grupos de sistemas de laboreos subterráneos principales, pueden citarse los sistemas con:

- a) espacio laboreado abierto;
- b) almacenamiento de mineral;
- c) corte y relleno;
- d) fortificación;
- e) fortificación y relleno;
- f) derrumbe de las rocas emcajantes;
- g) derrumbes de rocas encajantes y de mineral.

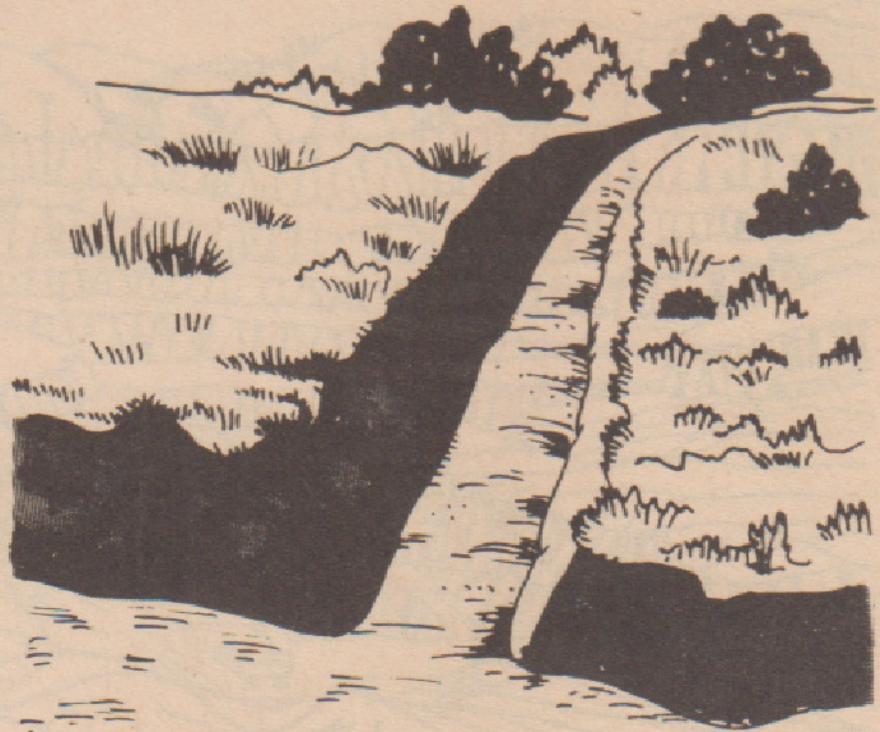
Se utilizan múltiples variantes de los sistemas mencionados, así como combinaciones de estos.

El esquema de un sistema de laboreo de un yacimiento por método subterráneo, se muestra en la figura 3.15.

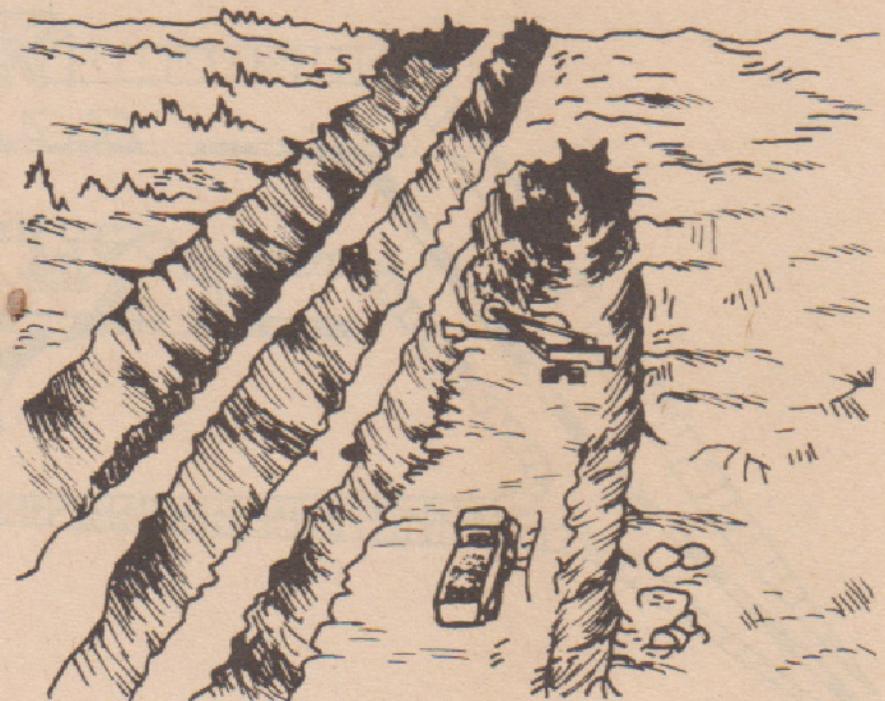


3.15 Esquema de un sistema de explotación subterránea: a) vista espacial; b) sección por el plano de buzamiento; c) vista lateral

En el laboreo a cielo abierto, el yacimiento se abre mediante trincheras maestras: excavaciones trapezoidales en forma de zanjas inclinadas (Fig. 3.16). Estas mismas excavaciones, cuando se utilizan para la preparación del yacimiento, se conocen como trincheras de corte (Fig. 3.17)

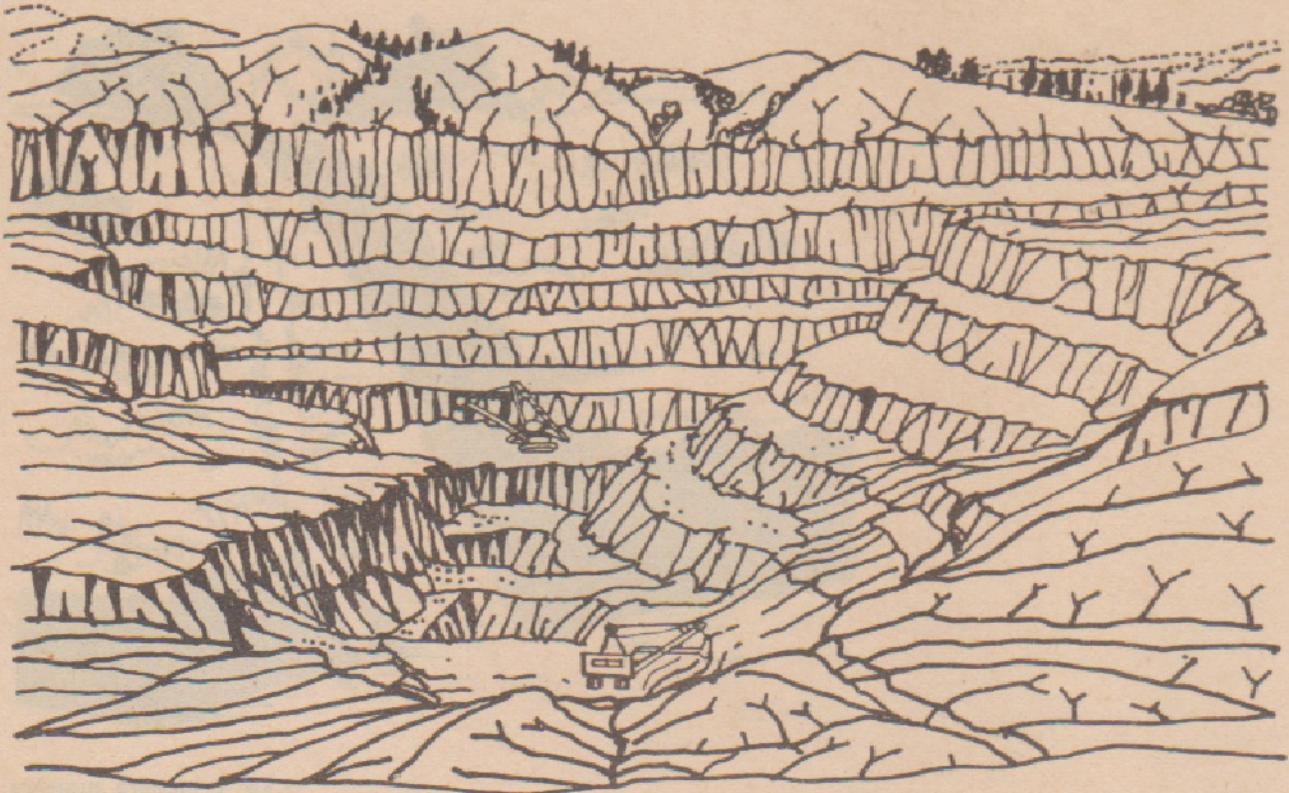


3.16 Trinchera maestra

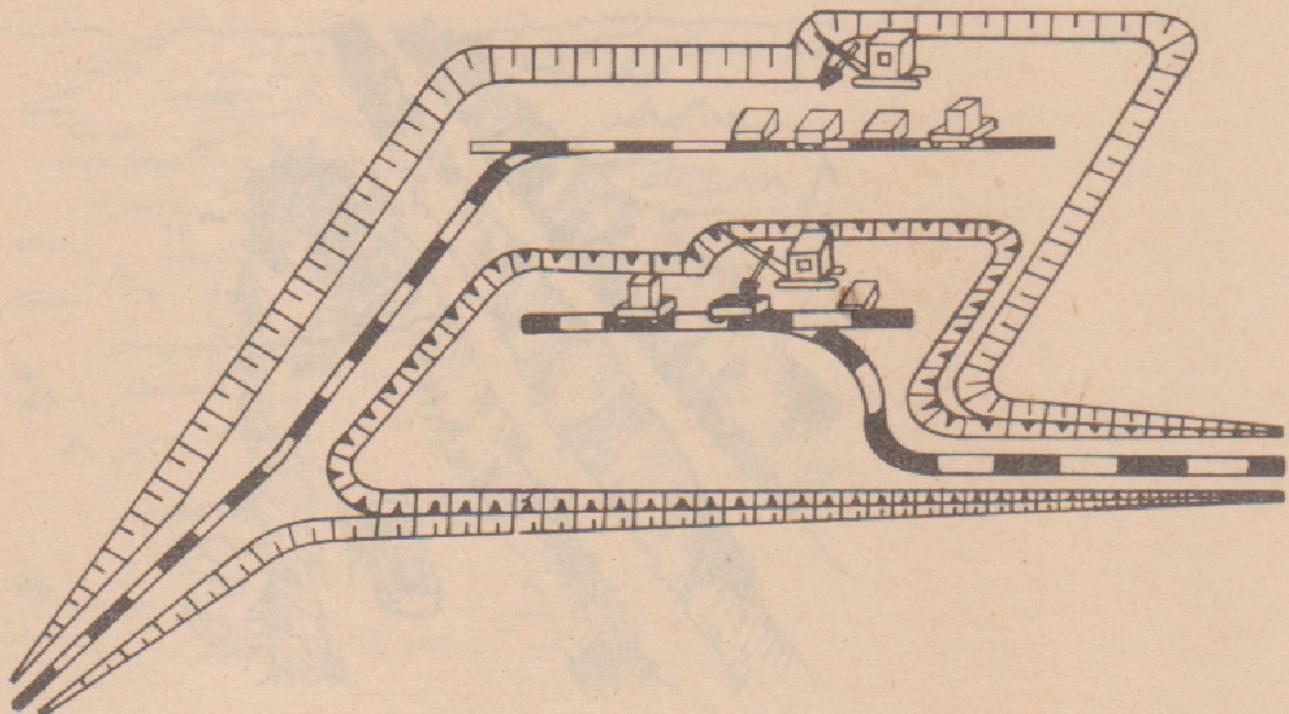


3.17 Trinchera de corte

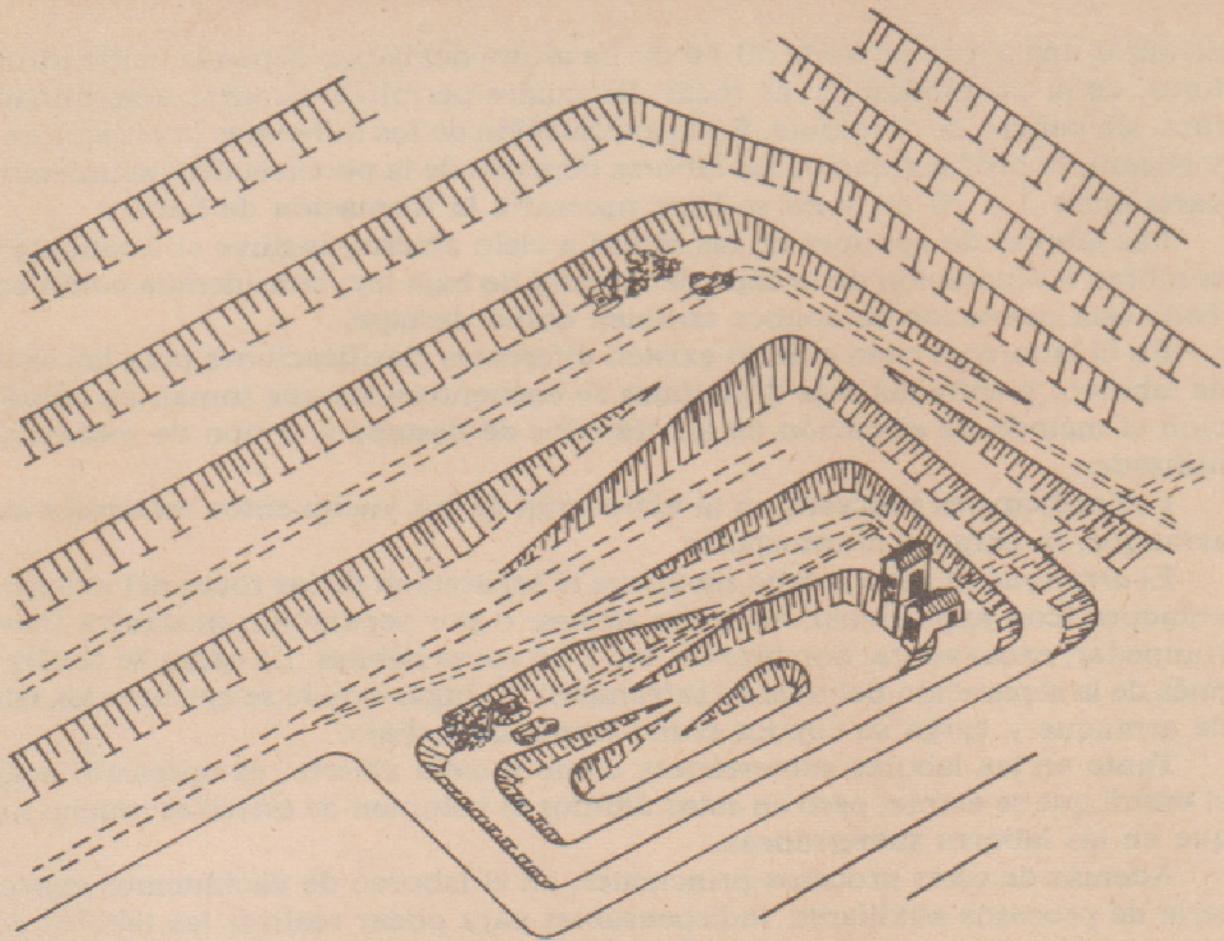
En la figura 3.18 se muestra un esquema corriente, de explotación a cielo abierto, de un yacimiento mineral. En el plano se suelen representar como se muestra en la figura 3.19, con transporte por ferrocarril, o como en la figura 3.20, con transportes combinados.



3.18 Explotación a cielo abierto



3.19 Esquema de laboreo a cielo abierto con transporte por ferrocarril



3.20 Esquema de laboreo a cielo abierto con transporte combinado

En las excavaciones a cielo abierto, con el objeto de evitar el desplome de las paredes laterales, las labores se llevan a cabo en forma escalonada. Cada uno de estos escalones se denomina banco. Los principales elementos del banco son: el paramento, el talúd, la plataforma, la berma, la altura y el borde superior e inferior del banco (Fig. 3.21).

El *paramento* es la pared lateral del banco. El *talúd* es la pendiente del paramento y se caracteriza por el ángulo α . La *plataforma* es la parte horizontal inferior del banco, donde se sitúan los equipos de trabajo. La *berma* es una plataforma que se deja en el banco con el objeto de evitar el desplome del paramento y se conoce como berma de protección. En algunos casos estas bermas se utilizan para el transporte y se denominan bermas de transporte. La *plataforma* constituye bermas ampliadas. Los *bordes del banco* son líneas de intercepción del plano del paramento con el plano de la berma (borde superior) o de la plataforma (borde inferior). La *altura* es la distancia vertical entre los planos horizontales del banco.

En las minas a cielo abierto deben distinguirse los bordes de la cantera, formados por la línea que une los bordes de los bancos (Fig. 3.22). El borde de la cantera situado en el lado del desplazamiento de las labores mineras, se conoce como borde de explotación o de trabajo. El otro borde se denomina borde fijo (Fig. 3.23). En este último se sitúan las instalaciones de transporte.

Las líneas imaginarias que establecen las fronteras finales de la explotación a cielo abierto, se conocen como límites de la cantera.

La altura de los bancos varía entre 8 y 16 m. En pequeñas canteras de materiales de construcción, la extracción se lleva a cabo en un solo banco, que puede

alcanzar una altura de hasta 50-60 m. La altura del banco depende, entre otros factores, de la estabilidad de las rocas, las cuales permitan alcanzar determinada altura, sin peligro de desplome. En la explotación de los minerales lateríticos de Moa y Nicaro, la profundidad de las labores depende de la potencia del yacimiento, que varía entre 3 y 20 m, y no se hace necesaria la formación de bancos.

Las labores de apertura en las minas a cielo abierto, incluye el desmonte y escombreción o separación de la capa de mineral de baja ley, considerada como estéril. Toda esta operación se conoce también como destape.

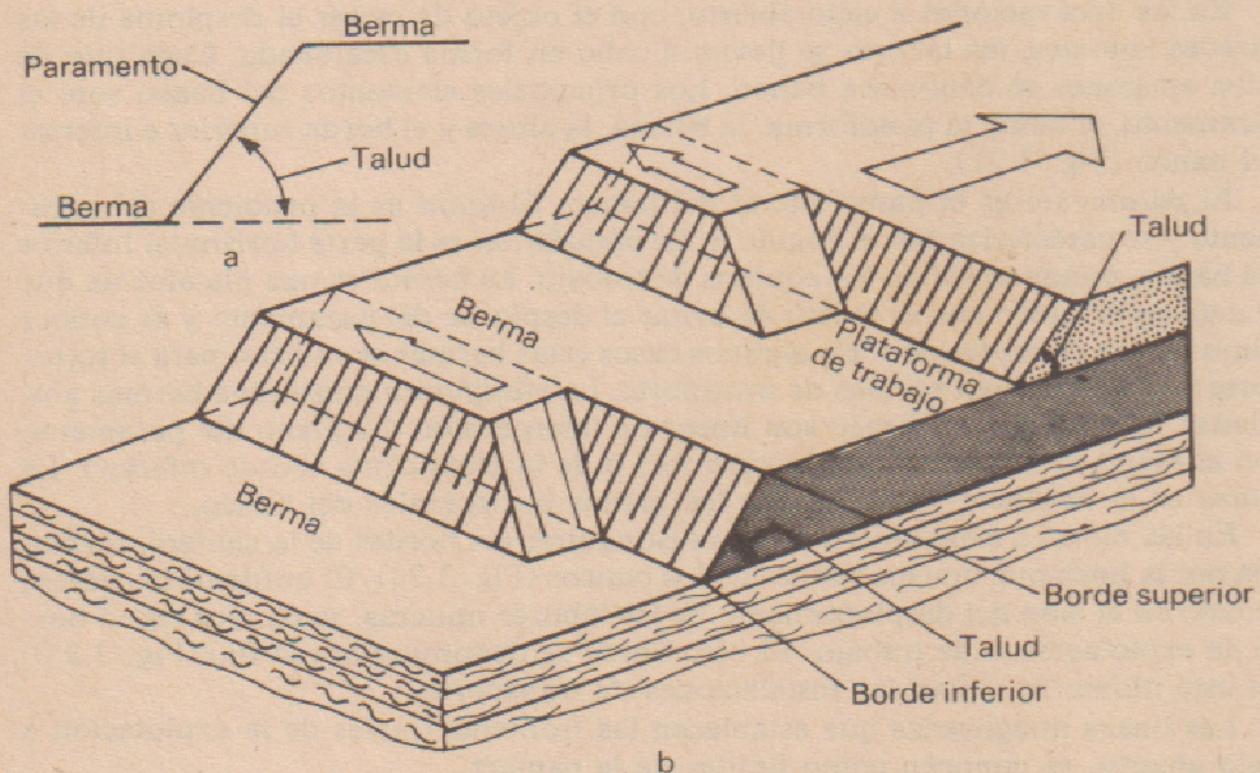
En el laboreo a cielo abierto existen diferentes clasificaciones para los sistemas de laboreo, y entre las más difundidas se encuentran las que toman en consideración el método de ejecución de los trabajos de destape y el tipo de mecanización utilizada.

Los principales procesos en la extracción de los yacimientos minerales son: el arranque, la carga y el transporte.

El *arranque* se lleva a cabo mediante la separación de las rocas del macizo, por voladura (con explosivos), en rocas firmes; o por separación mecánica (martillo rompedor, excavadora, combinada, etc.), en rocas débiles. La carga se realiza después de la separación del macizo (arranque). El lugar donde se ejecutan las labores de arranque y carga se conoce como frente de trabajo.

Tanto en las labores subterráneas como a cielo abierto, es necesario acarrear el estéril que se extrae; pero en estos últimos el volumen de estéril es mucho mayor que en las labores subterráneas.

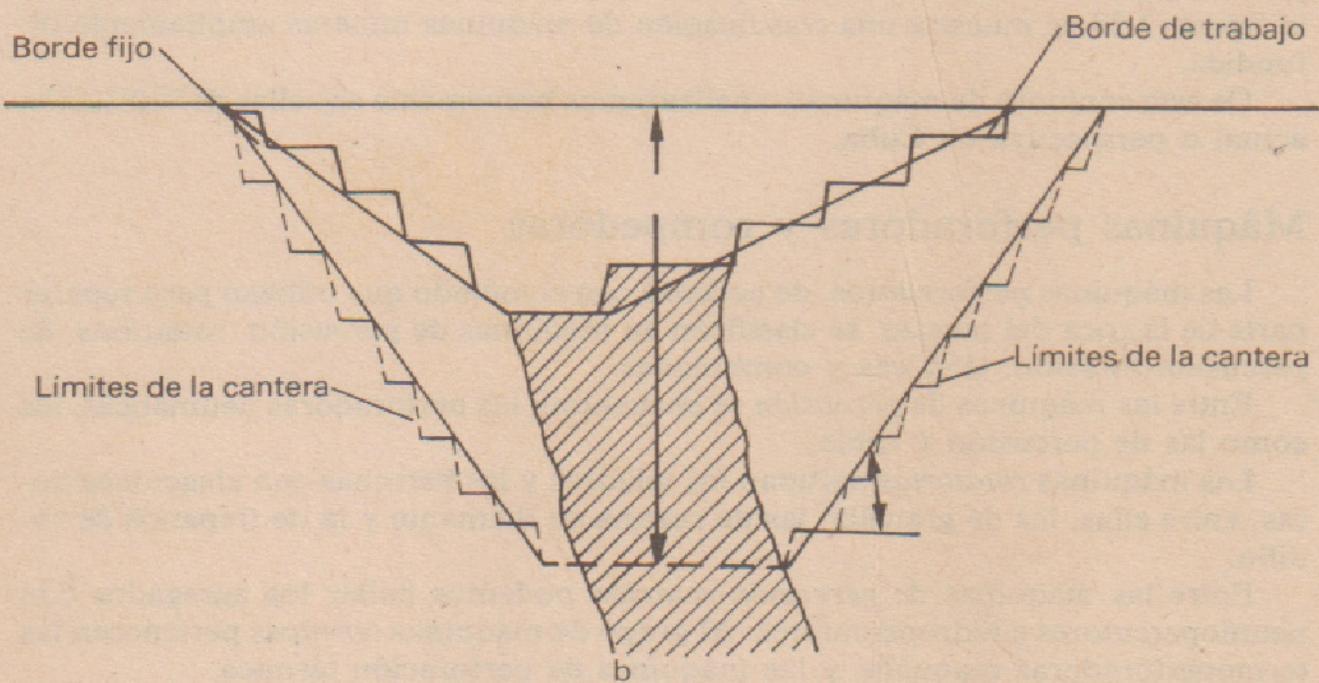
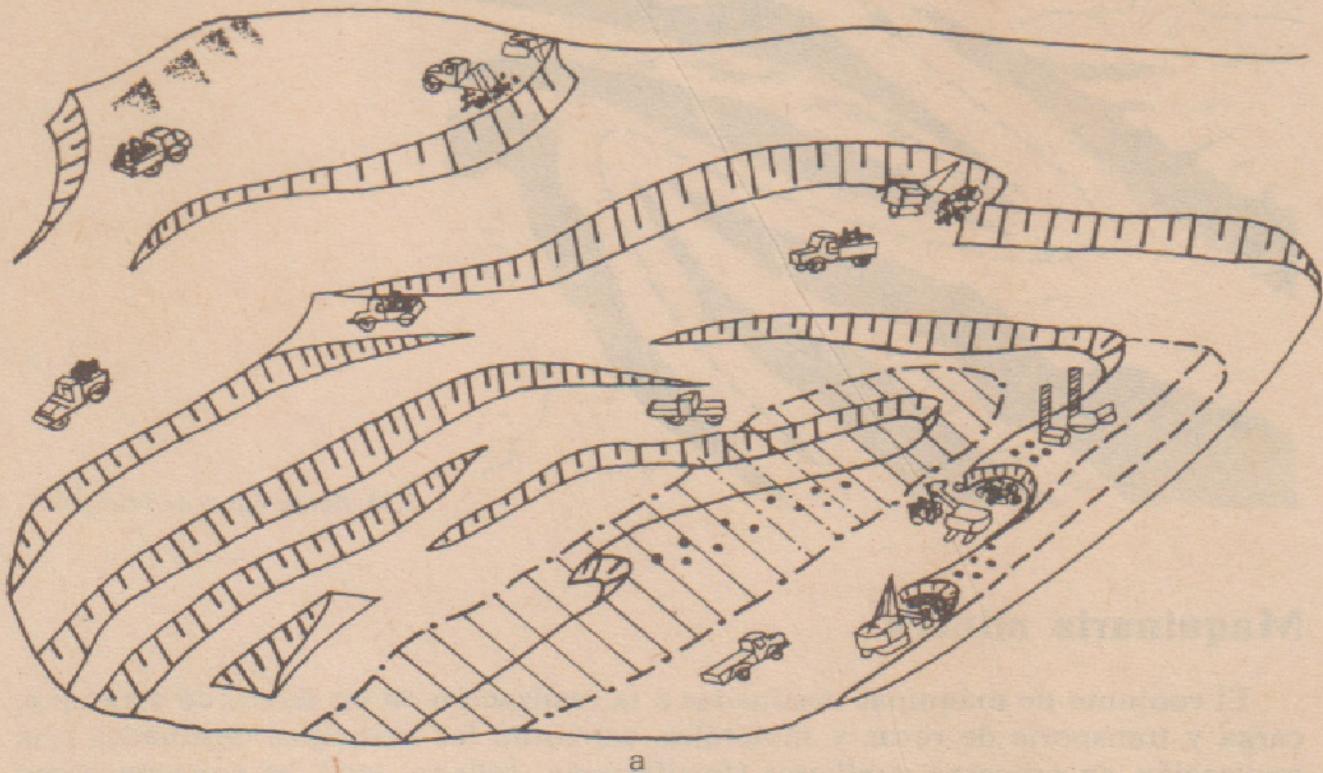
Además de estos procesos principales, en el laboreo de yacimientos existe una serie de procesos auxiliares, indispensables para poder realizar las labores de extracción. A estos procesos pertenecen: el desagüe, la ventilación, la iluminación, el abastecimiento de energía eléctrica y neumática, etcétera.



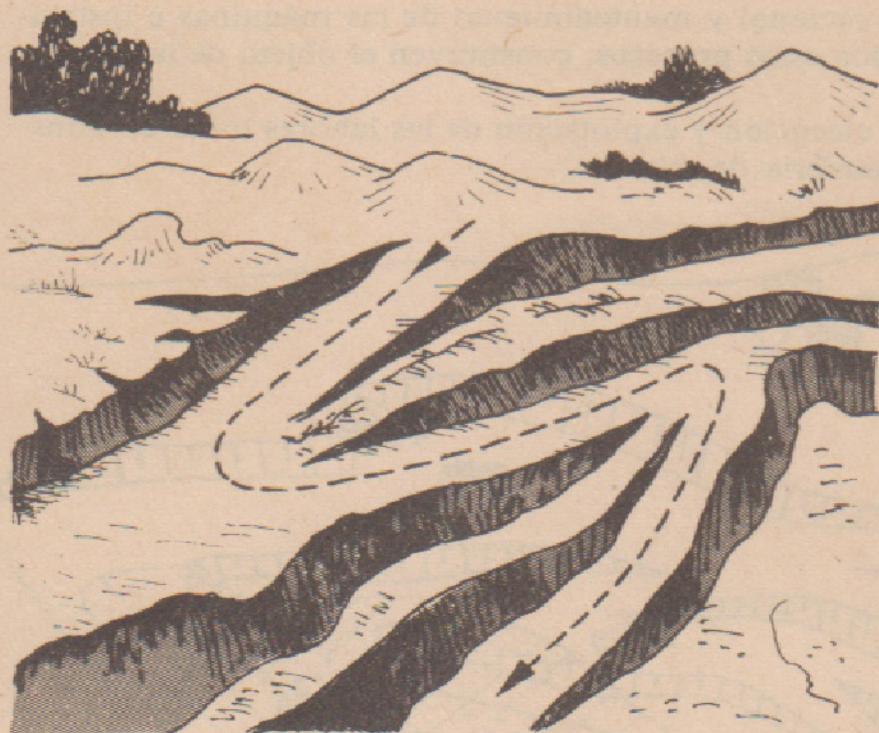
3.21 El banco y sus elementos: a) corte lateral b) vista espacial

La elección, explotación racional y mantenimiento de las máquinas e instalaciones que se utilizan en todos estos procesos, constituyen el objeto de la electromecánica minera.

La proyección, elección, ejecución y explotación de las labores mineras, constituyen contenidos de la ingeniería de minas.



3.22 Bordes y límites de la cantera: a) vista espacial, b) corte transversal



3.23 Borde fijo o de transporte

Maquinaria minera

El conjunto de máquinas destinadas a la realización de las tareas de arranque, carga y transporte de rocas y minerales, así como las máquinas destinadas a la realización de procesos auxiliares (fortificación, relleno, etc.), se conocen como máquinas mineras. Las máquinas mineras se pueden clasificar en tres grandes grupos: máquinas de extracción, de carga y transporte, y de fortificación y relleno. En la figura 3.24 se muestra una clasificación de máquinas mineras ampliamente difundida.

De este conjunto de máquinas, analizaremos brevemente aquellas de utilización actual o perspectiva en Cuba.

Máquinas perforadoras y rompedoras

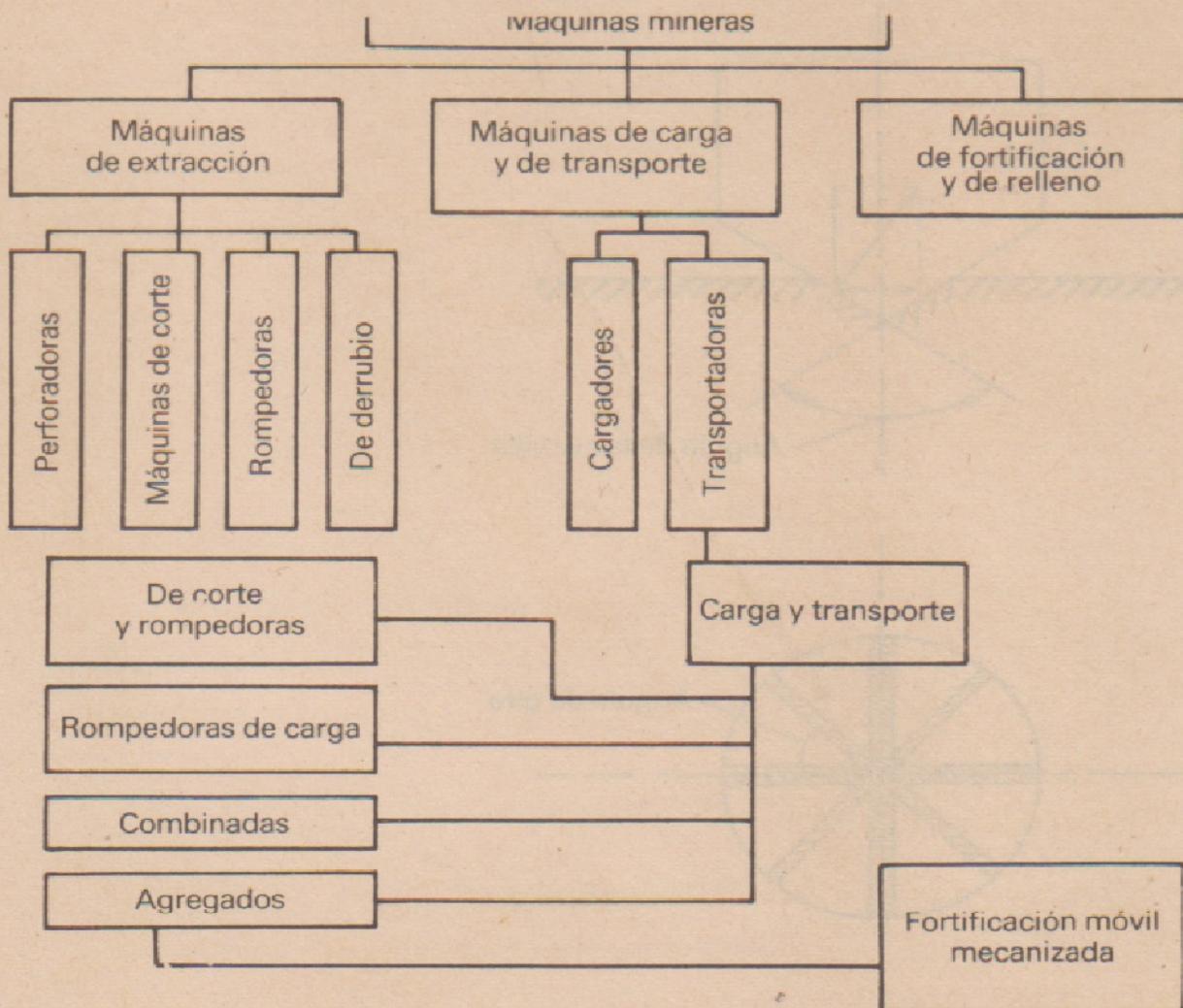
Las máquinas perforadoras, de acuerdo con el método que utilizan para separar parte de la roca del macizo, se clasifican en máquinas de percusión, rotatorias, de percusión-rotación, térmicas y combinadas.

Entre las máquinas de *percusión* se encuentran las perforadoras neumáticas, así como las de percusión y cable.

Las máquinas *rotatorias* agrupan los taladros y las barrenas con aleaciones duras, entre ellas, las de granalla, las de corona de diamante y la de trépanos de rodillo.

Entre las máquinas de *percusión-rotación* podemos hallar los agregados con neumopercutores e hidropercutores. Al grupo de máquinas *térmicas* pertenecen las termoperforadoras manuales y las máquinas de perforación térmica.

Por el tipo de energía que utilizan las máquinas de perforación se clasifican en: eléctricas, neumáticas, hidráulicas, térmicas y combinadas.



3.24 Clasificación de las máquinas mineras

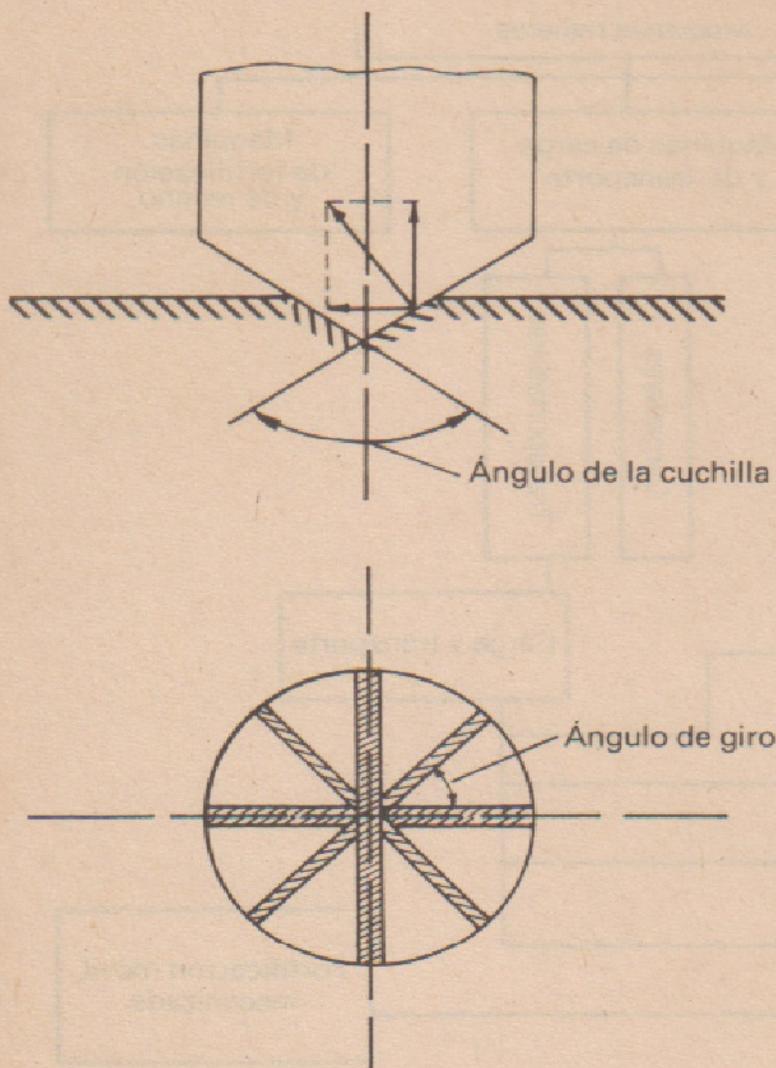
Las máquinas se fabrican, para la perforación de barrenos o taladros bajo tierra (subterráneas), o desde la superficie (a cielo abierto).

Perforadoras neumáticas

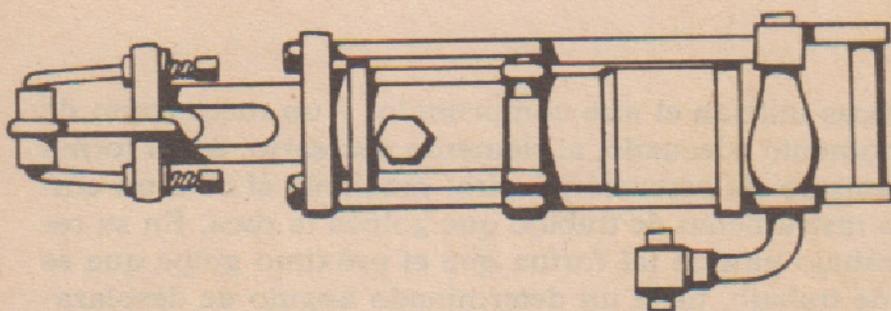
Las perforadoras neumáticas utilizan el aire comprimido, y un mecanismo de distribución lo envía, en el momento adecuado, al elemento necesario, de tal forma que hace funcionar un mecanismo de percusión y giro, mediante el cual un émbolo golpea sobre una pica o instrumento de trabajo que golpea la roca. En su retroceso, el instrumento de trabajo gira de tal forma que el próximo golpe que se produce sobre la superficie de trabajo, tiene un determinado ángulo de desplazamiento con respecto al golpe anterior (Fig. 3.25).

Las perforadoras neumáticas se clasifican, por su forma de utilización, en manuales, telescópicas, de columna y de sumersión. El peso de las manuales es de 20-25 kg; las telescópicas, de 35-40 kg; las de columna, de 40-45 kg; y las de sumersión, de 20-30 kg.

Las *perforadoras manuales* (Fig. 3.26) se utilizan para barrenos en el laboreo de excavaciones mineras. Son ligeras, pesan, como ya hemos señalado, hasta 25 kg y se emplean en rocas con $f < 10$. El diámetro de la broca es de 46 mm y la profundidad de perforación es de hasta 3 m. Entre ellas, las perforadoras medianas



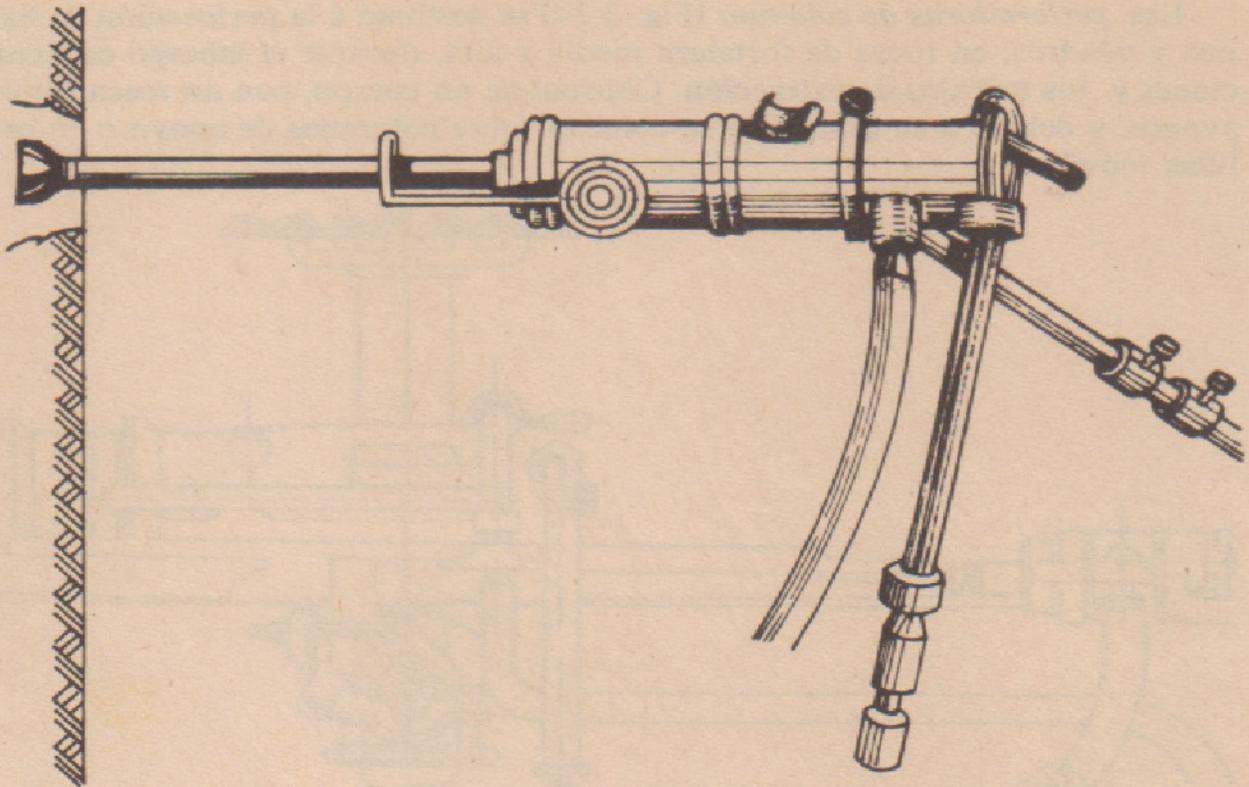
3.25 Esquema de trabajo de la broca de percusión y giro



3.26 Perforadora manual

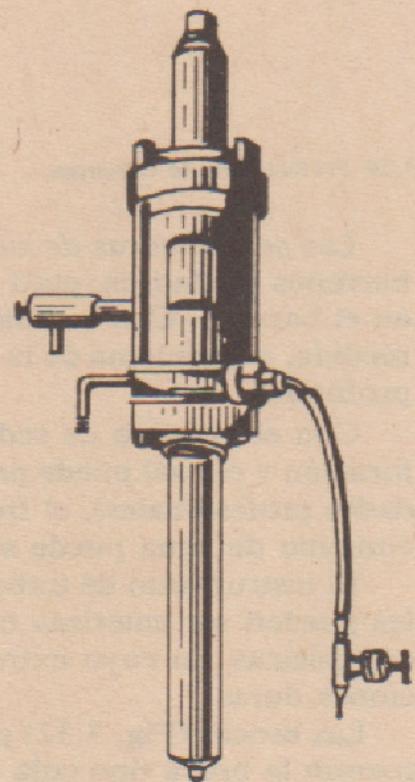
tienen un peso de hasta 25 kg y se utilizan en rocas con $f < 16$. El diámetro de la broca es de hasta 90 mm y la profundidad del barreno de hasta 5 m. Las pesadas tienen un peso mayor de 25 kg y se destinan para rocas, con $f < 14$, el diámetro de la broca alcanza hasta 65 mm, y la profundidad hasta 6 m.

Las perforadoras manuales, especialmente las medianas y pesadas, se montan sobre dispositivos de apoyo (Fig. 3.27).



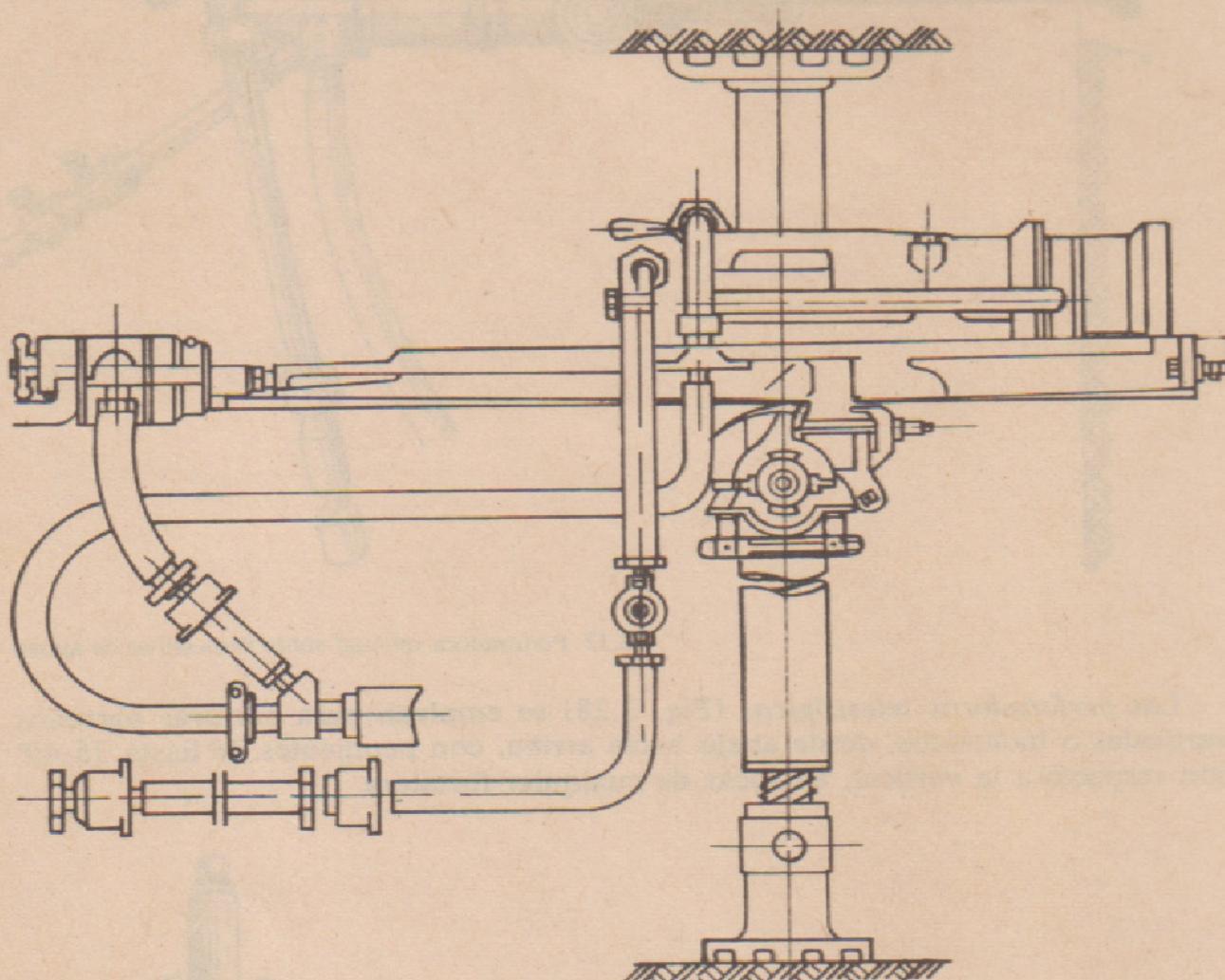
3.27 Perforadora manual sobre dispositivo de apoyo

Las perforadoras telescópicas (Fig. 3.28) se emplean para perforar barrenos verticales o inclinados, desde abajo hacia arriba, con pendientes de hasta 35-40° con respecto a la vertical, en rocas de cualquier fortaleza.



3.28 Perforadora telescópica

Las *perforadoras de columna* (Fig. 3.29) se destinan a la perforación de barrenos y taladros, en rocas de fortaleza media y alta, durante el laboreo de excavaciones y los trabajos de extracción. Constan de un cuerpo, con un mecanismo de avance, y debido a su gran peso se colocan sobre columnas de apoyo o en carretillas móviles.



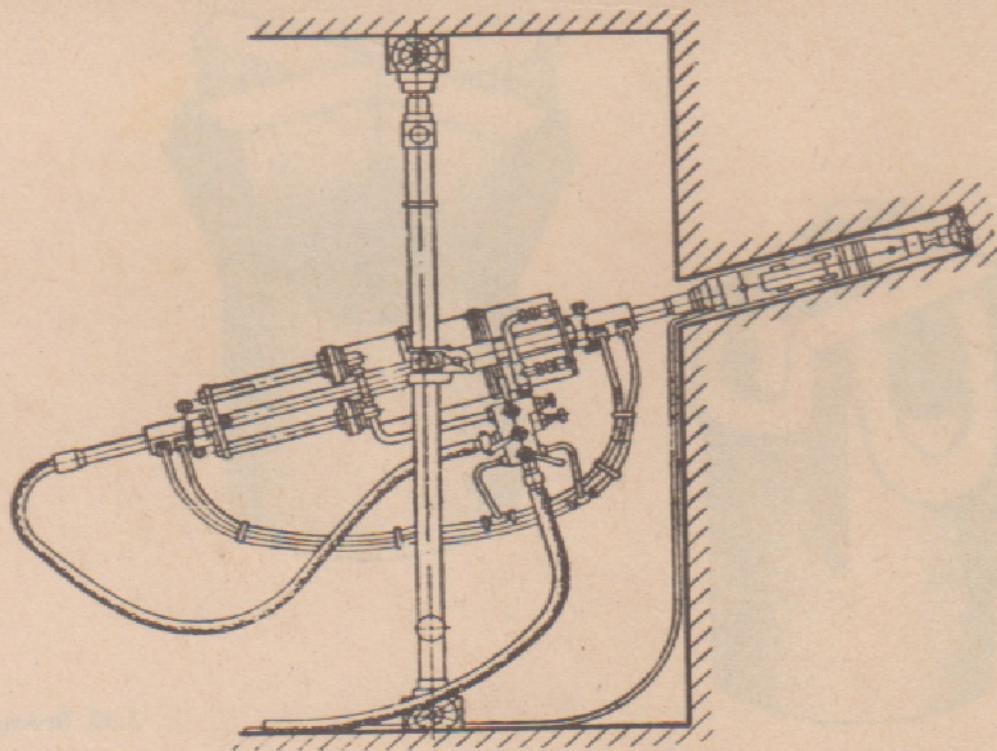
3.29 Perforadora de columna

Las *perforadoras de sumersión* (Fig. 3.30) están destinadas a la perforación de barrenos y taladros, pero a diferencia de las perforadoras comunes se introducen en el barreno. Con la utilización de este tipo de perforadora se resuelve, en gran medida, el problema de la perforación sin disminución de la velocidad, de taladros profundos.

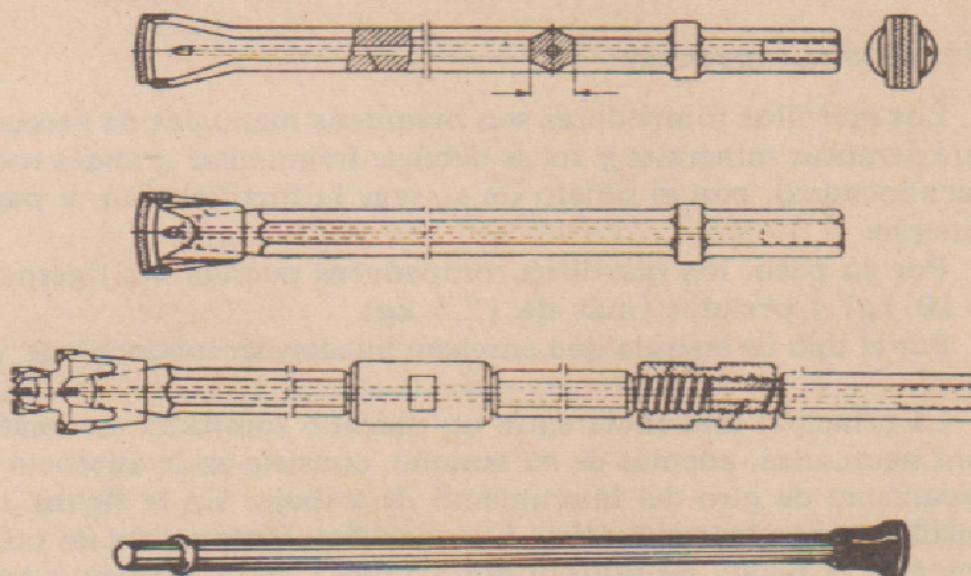
Con el objetivo de sedimentar el polvo que se produce en el proceso de perforación y el cual puede provocar enfermedades de las vías respiratorias (enfermedades profesionales), el frente de la perforación se alimenta con agua. El abastecimiento de agua puede ser central o lateral.

El instrumento de trabajo de las perforadoras son las picas (Fig. 3.31), las cuales pueden ser enterizas o compuestas. Como regla, en minería se utilizan picas compuestas, en cuyo extremo se montan las brocas armadas con placas de aleaciones duras.

Las brocas (Fig. 3.32) pueden ser simples o complejas. Entre las simples se encuentra la broca tipo cola de pescado, que se utiliza para la perforación en rocas



3.30 Perforadora de sumersión



3.31 Instrumentos de trabajo de las perforadoras

monolíticas de cualquier fortaleza. Entre las complejas se encuentran las brocas cruzadas, destinadas a la perforación en rocas agrietadas, las cuales son más caras que las anteriores y su afilado más complejo, pero tienen la ventaja de que no se traban en este tipo de roca. Otro tipo de broca compleja, de gran uso en los últimos tiempos, es la escalonada, en la cual una cuchilla se adelanta más con respecto a las otras.



3.32 Brocas

La utilización de mecanismos (dispositivos) de apoyo en las perforadoras, permite el incremento de la productividad y facilita el trabajo del obrero. Con este fin se utilizan las columnas de apoyo, la carretilla de perforación o manipuladores y, en particular, para las perforadoras manuales, los dispositivos de avance.

Martillos rompedores

Los martillos rompedores son máquinas manuales de percusión que se utilizan para arrancar minerales y rocas débiles; fragmentar grandes rocas; ejecutar nichos (sacabocados), con el objeto de apoyar la fortificación, y para hacer zanjas de desagüe.

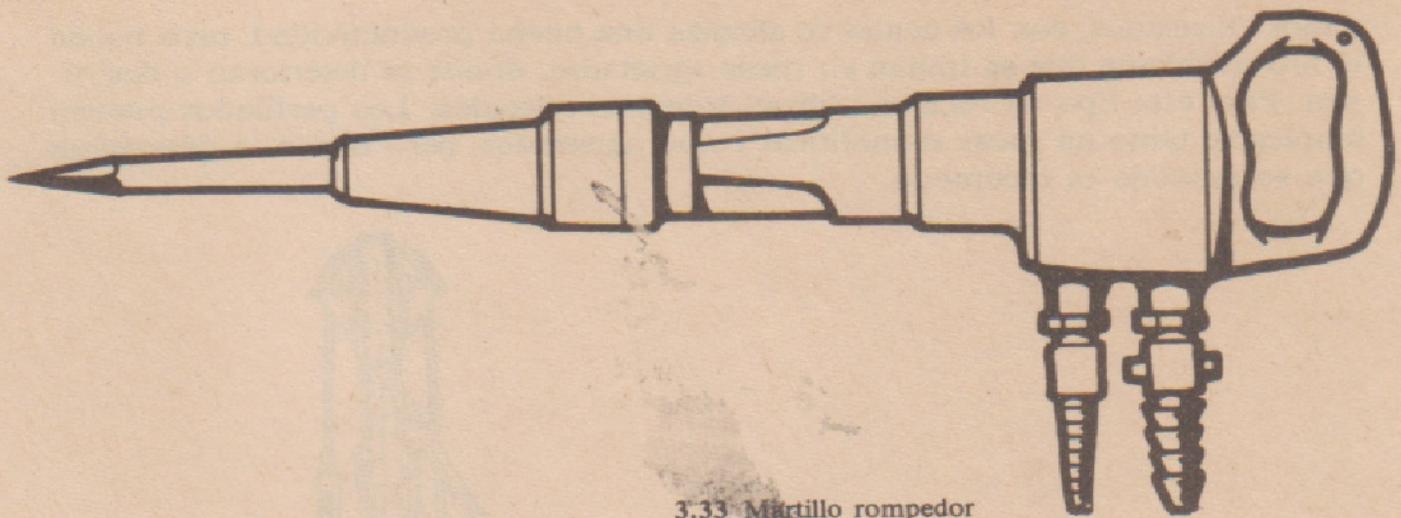
Por su peso, los martillos rompedores pueden ser ligeros (8 kg), medianos (9-10 kg) y pesados (más de 12,5 kg).

Por el tipo de energía que emplean pueden ser: neumáticos, eléctricos e hidráulicos.

La principal diferencia entre un martillo rompedor neumático y una perforadora neumática, además de su tamaño, consiste en la ausencia, en el primero, del mecanismo de giro del instrumento de trabajo. En la figura 3.33 se muestra un martillo rompedor neumático. Los martillos rompedores no utilizan agua para sedimentar el polvo. Se utilizan ampliamente en la construcción.

Los martillos rompedores hidráulicos y eléctricos tienen mayor rendimiento, y producen menos ruido que los neumáticos. Sin embargo, no han desplazado a los martillos neumáticos debido a que estos poseen mayor sencillez de construcción, resistencia, seguridad en el tipo de energía y bajo costo de los martillos.

Los martillos rompedores utilizan como instrumento de trabajo la pica. El aire comprimido para los martillos y las perforadoras se abastece de una red central que se comunica con compresores, generalmente estacionarios. En las pequeñas canteras y en los trabajos de construcción, se suelen utilizar compresores móviles de pequeña productividad.



3.33 Martillo rompedor

Máquinas de percusión y cable

La perforación con máquinas de percusión y cable es uno de los métodos más antiguos. Se conoce de su utilización ya en el siglo XVII, para perforar barrenos con una profundidad de 1 200 m, y para obtener salmueras y gases calientes. Actualmente, en nuestro país los campesinos utilizan con frecuencia este método para abrir pozos de aguas subterráneas.

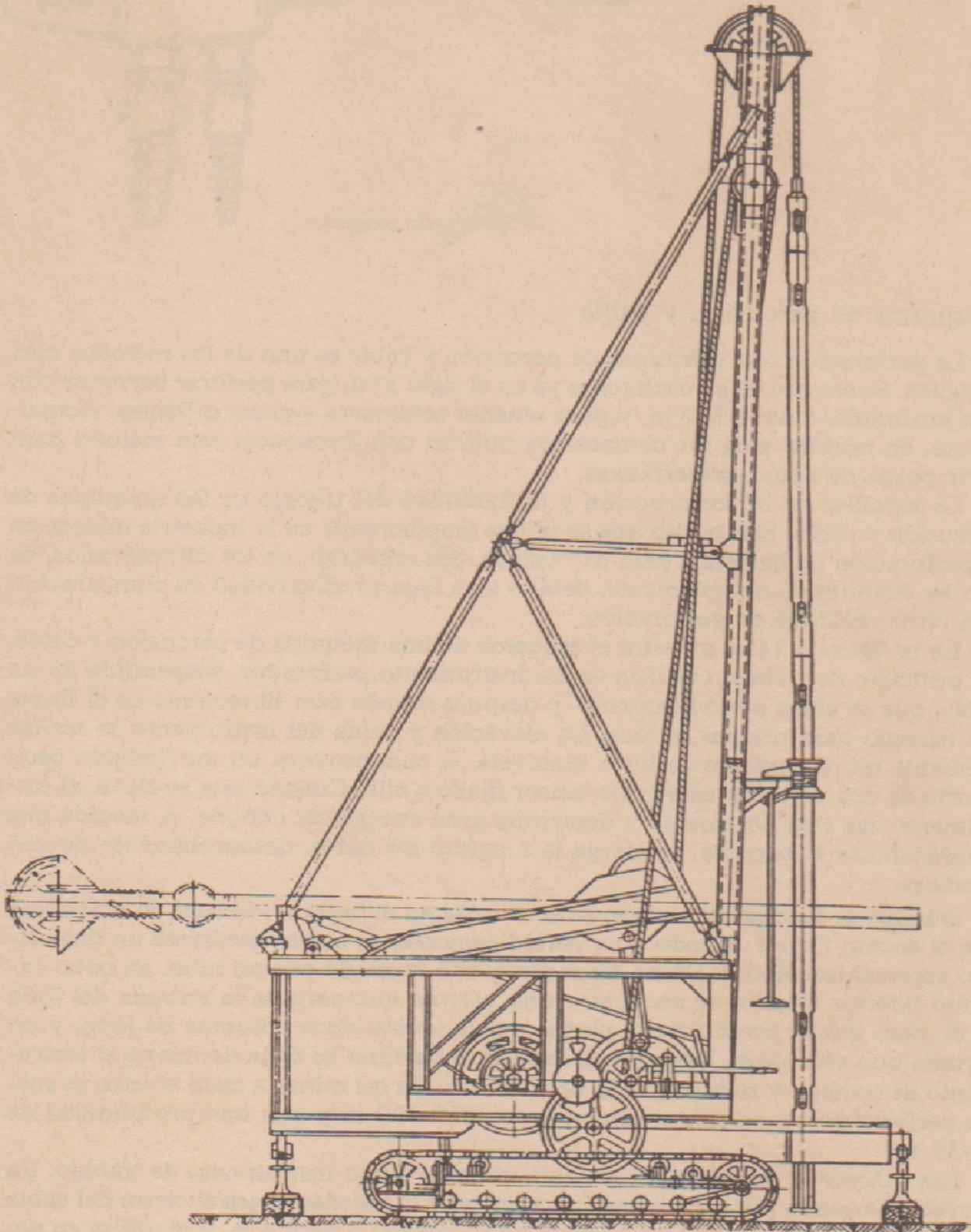
La sencillez de la construcción y la fiabilidad del trabajo de las máquinas de percusión y cable, han hecho que se utilice ampliamente en la industria minera en la perforación de barrenos para explosivos. Sin embargo, en los últimos años, su uso ha disminuido notablemente, debido a su baja productividad en comparación con otros métodos de perforación.

En la figura 3.34 se muestra el esquema de una máquina de percusión y cable. Su principio de trabajo consiste en un instrumento perforador, suspendido de un cable, que se eleva periódicamente y después se deja caer libremente en el frente del barreno para romper la roca. La elevación y caída del instrumento se realiza mediante un mecanismo de biela manivela, el cual provoca un movimiento oscilatorio de una viga con un rodillo tensor fijado a ella. Cuando esta se eleva, el instrumento cae casi libremente y desarrolla gran energía de choque. A medida que se profundiza el barreno, se alarga la longitud del cable, desenrollándolo de una tambora.

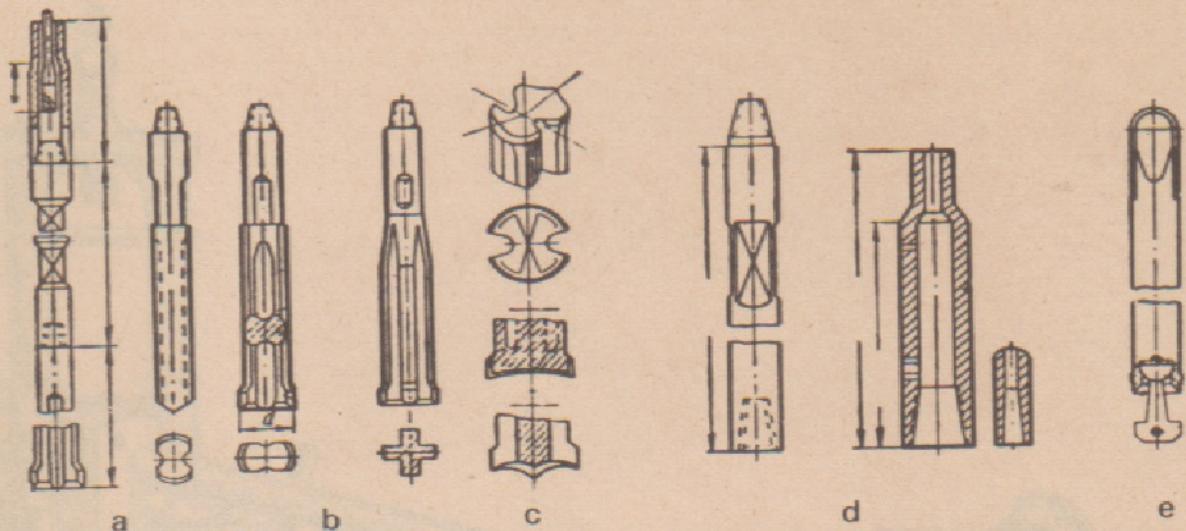
Durante el proceso de trabajo se echa agua en el barreno, la cual, al mezclarse con el detrito forma un lodo que, periódicamente, se extrae mediante un dispositivo especial (sacalodo). Dicho dispositivo está formado por un tubo, en cuyo extremo inferior (fondo) se encuentra una válvula que permite la entrada del lodo en él, pero que al levantarse se cierra, por la acción de la columna de lodo, y no permite que este salga. Después de limpiar el barreno se sitúa de nuevo el instrumento de trabajo, y se prosigue la perforación. En las minas a cielo abierto se suelen perforar barrenos con un diámetro de 150-300 m y con una profundidad de 15-35 m.

Las máquinas de percusión y cable utilizan, como instrumento de trabajo, un proyectil formado por un trépano, un vástago y la mordaza para el cierre del cable (Fig. 3.35). El *trépano* puede ser cincelado, cruzado o perfilado, y se utiliza en dependencia de las características de las rocas. En rocas monolíticas se utilizan tré-

panos cincelados, con los cuales se alcanza una buena productividad, pero tienen el inconveniente que se traban en rocas agrietadas, donde se deterioran o destruyen. Para este tipo de roca se utilizan trépanos cruzados. Los perfilados pueden emplearse tanto en rocas monolíticas como agrietadas, pero tienen la desventaja que su montaje es incómodo.



3.34 Máquina de percusión y cable



3.35 Instrumentos de trabajo de las máquinas de percusión y cable: a) proyectil; b) vástagos; c) trépanos; d) mordaza; e) sacalodo

La varilla se utiliza para hacer más pesado el proyectil y lograr la linealidad del barreno. Pueden ser varillas enteras o compuestas, y se fabrican de acero CT-5 o CT-40.

El cierre une la varilla con el cable. Se utilizan cierres simples y autogiratorios.

Periódicamente, el proyectil de trabajo es sustituido por el sacalodo. La válvula de este se abre cuando su peso presiona sobre el fondo y el tubo se llena, al elevarse la válvula se cierra y vuelve a abrirse en la superficie, al ser presionada contra el suelo, donde descarga el lodo.

Con el objeto de extraer del barreno los proyectiles, o parte de estos que hayan quedado dentro como consecuencia de una avería, se utilizan dispositivos especiales.

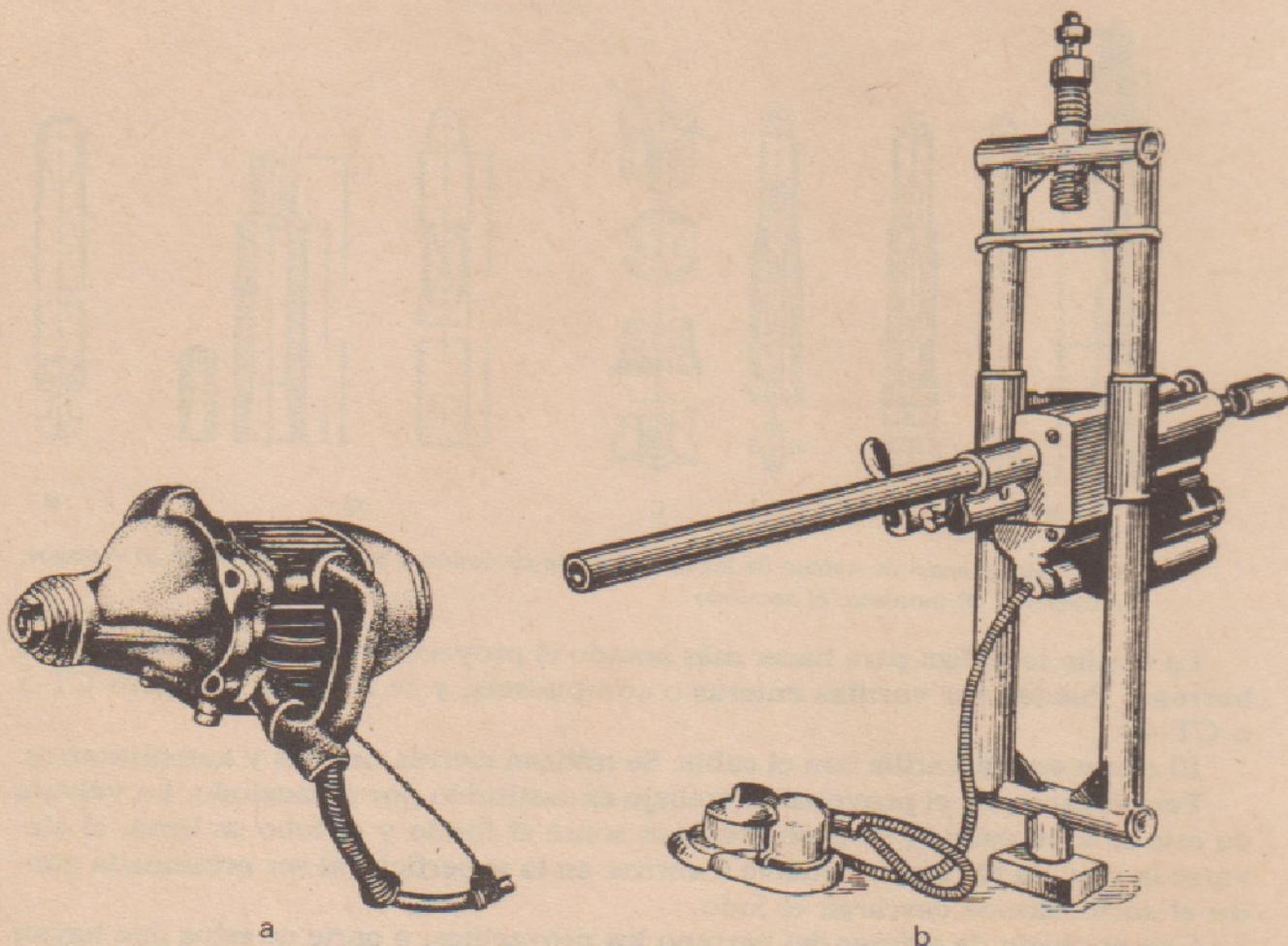
Taladros

Los taladros se utilizan para la perforación rotativa de barrenos en rocas de mediana fortaleza. En la perforación rotativa se forma menos polvo y hay menos ruido que en la perforación de percusión y giro. El proceso de separación de la roca se lleva a cabo en forma continua. Además, en las rocas de fortaleza inferior a la medida, los taladros son de mayor productividad que las máquinas de percusión. Por otra parte, en la perforación rotativa se utiliza ampliamente la energía eléctrica, que es varias veces más barata que la neumática. La magnitud de las inversiones para adquirir y montar los equipos, es también varias veces inferior. Por estas causas, en la actualidad se amplía el uso de los taladros rotatorios, aunque no han podido desplazar a las máquinas anteriormente señaladas, en los casos de rocas de mediana y alta fortaleza.

Por la forma de instalación en el frente, los taladros se pueden dividir en manuales y de columna; por el tipo de avance, en mecánicos y manuales, y por el tipo de energía que utilizan, en eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

En la figura 3.36 se muestra el aspecto externo de los taladros manual y de columna.

Los taladros utilizan cuchillas (barrenas) como instrumentos de trabajo, las cuales aparecen representadas en la figura 3.37.



3.36 Taladros: a) manual; b) de columna



3.37 Instrumento de trabajo de los taladros: barrena

Máquinas de perforación rotativa

Las máquinas rotativas son ampliamente utilizadas para la perforación de barrenos y pozos. Las principales ventajas de estas son: su alta productividad, ausencia de grandes cantidades de polvo, poco ruido y facilidad para electrificar y automatizar el proceso de perforación.

Las máquinas de perforación rotativa se fabrican para trabajos subterráneos y a cielo abierto. Se pueden equipar con diferentes tipos de instrumentos de trabajo, en función de lo cual se puede perforar en rocas de distintas fortalezas.

El mecanismo de avance de las máquinas rotativas puede ser hidráulico, neumático, de cremallera, de tornillo diferencial y de cables. En algunas máquinas el avance se realiza por la acción del propio peso del proyectil y el motor.

Las máquinas rotativas pueden ser móviles o estacionarias. Las móviles pueden desplazarse en automóviles, carretillas o sobre esteras. Las estacionarias se transportan a mano (pequeñas distancias) o mediante dispositivos especiales.

Por el tipo de accionamiento pueden ser eléctricas o con motores de combustión interna, automatizadas o no.

Para la perforación de barrenos en condiciones subterráneas se utilizan máquinas cuyo instrumento de trabajo son brocas armadas con aleaciones duras, trépanos, brocas de granalla y corona de diamante.

Las brocas con aleaciones duras se pueden utilizar en rocas de fortaleza no mayor de 6-8, por la escala de Protodiakonov, y su uso se puede extender a rocas de mayor fortaleza ($f = 10-12$), si se aumenta el empuje axial. Las barrenas tienen diámetros de 65-100 mm y pueden alcanzar profundidades de hasta 100-150 m.

Las máquinas con trépanos de rodillo se utilizan en rocas de mediana y alta fortaleza. El diámetro de los barrenos es de 88-145 mm, y la profundidad alcanza 50-100 m. En estas máquinas es necesario desarrollar grandes esfuerzos axiales (empuje), por lo que como regla se equipan con mecanismos hidráulicos de avance.

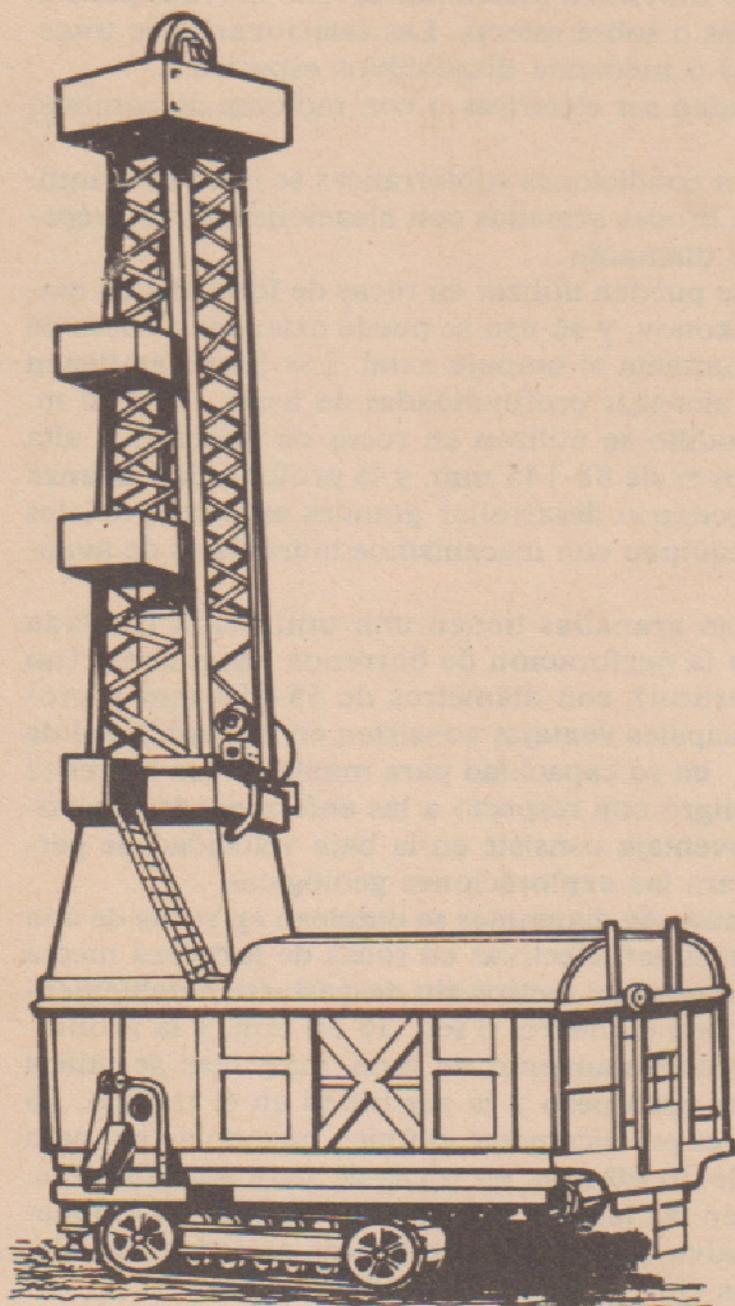
Las máquinas de perforación con granallas tienen una utilización limitada en la actualidad, y se emplean para la perforación de barrenos hacia abajo (no más de 10-50° con respecto a la vertical), con diámetros de 55-150 mm y profundidades de hasta 500 m. Sus principales ventajas consisten en la posibilidad de perforar rocas de muy alta fortaleza, en su capacidad para mantener los barrenos sin conicidad y en la ausencia de peligro con respecto a las enfermedades provocadas por el polvo. Su principal desventaja consiste en la baja velocidad de perforación. Se utiliza, en particular, para las exploraciones geológicas.

Las máquinas equipadas con coronas de diamantes se emplean en rocas de alta y muy alta fortaleza, pero también resultan efectivas en rocas de fortaleza media donde una corona puede perforar centenas de metros sin desgastarse notablemente. Los barrenos como regla son de poco diámetro, o sea, 36-50 mm, y la profundidad alcanza hasta 100 m. Para el accionamiento de estas máquinas se utiliza energía neumática, que determina su poco peso y la seguridad en el trabajo. La perforación con brocas de diamantes es prácticamente el único método actual para barrenos profundos con diámetros de 30-60 mm, en rocas de muy alta fortaleza.

Para la perforación de barrenos en las labores a cielo abierto, se usan ampliamente máquinas de perforación rotativa (Fig. 3.38) con brocas armadas con aleaciones duras y máquinas equipadas con trépanos de rodillo.

En las máquinas con aleaciones duras, la extracción del detrito se puede llevar a cabo mediante una barrena helicoidal o soplando aire comprimido en el caso de perforación con extracción de testigo. Estas máquinas se utilizan, como regla, en rocas de baja fortaleza ($f \leq 4-5$). La perforación con estas brocas, en rocas de mayor fortaleza, es posible si se utilizan máquinas de perforación con trépano de rodillos, que desarrollan mayor esfuerzo axial y están equipadas con compresores para soplar el detrito.

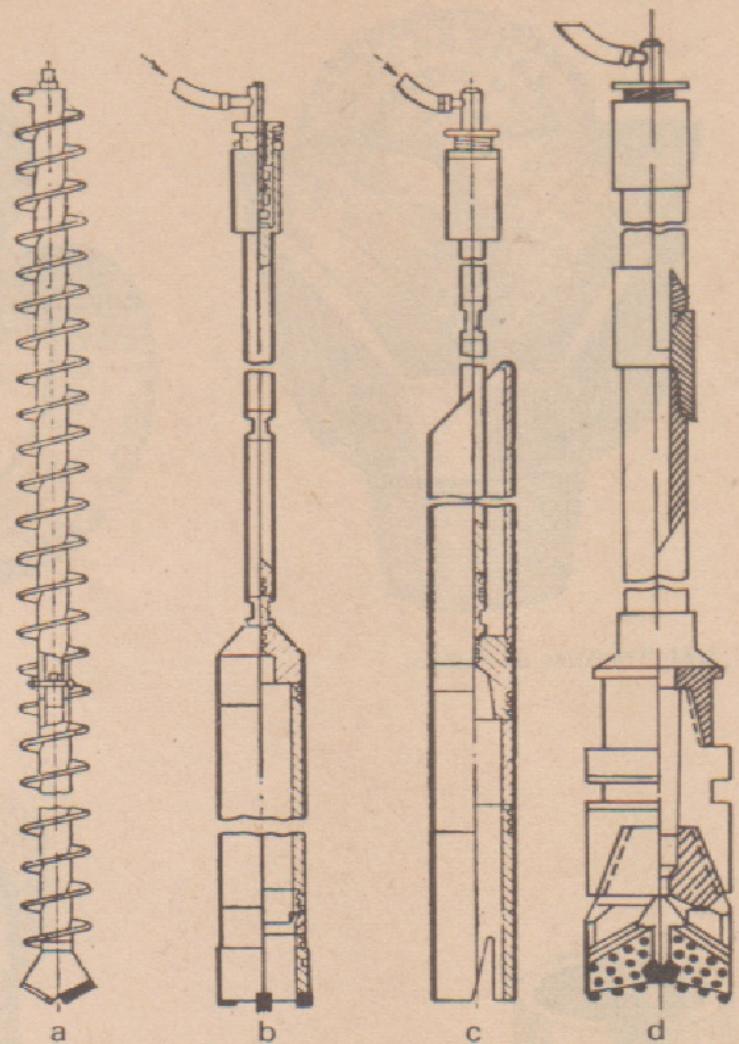
La perforación con trépanos de rodillos se aplica en rocas de mediana fortaleza. Los barrenos se perforan con diámetros de 200-250 mm y más, a una profundidad de 18-25 m. Alcanzan mayor velocidad de perforación en comparación con las máquinas de percusión y cable, lo que constituye su principal ventaja. El mecanismo de avance hidráulico que poseen, garantiza un alto empuje axial y, además, el detrito se extrae insuflando aire comprimido, por lo que se equipan con un compresor y un dispositivo para retener el polvo.



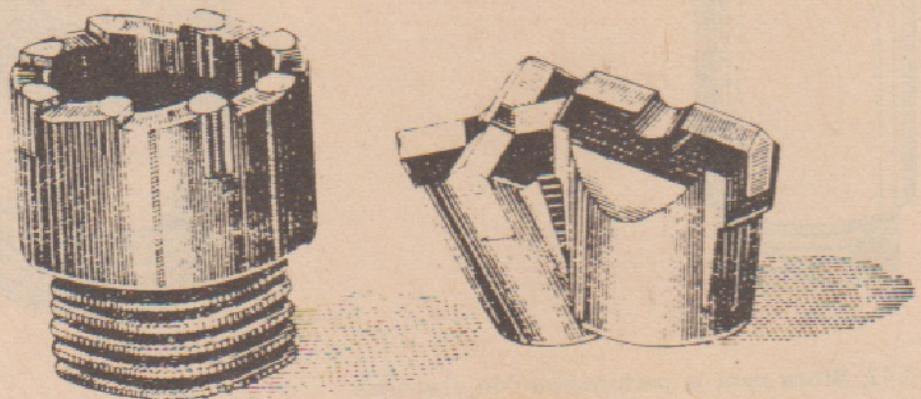
3.38 Máquina de perforación rotativa

La perforación rotativa se puede llevar a cabo en un frente continuo o mediante el corte anular de la roca, dejando un testigo en la columna de perforación. Este tipo de perforación se conoce como perforación de columna, y se utiliza principalmente para la exploración geológica. En las canteras, los barrenos para explosivos se realizan mediante frente continuo.

En calidad de armadura dura para la perforación rotativa, se emplean aleaciones de wolframio y cobalto, en forma de prismas octogonales, placas rectangulares o rómbicas.

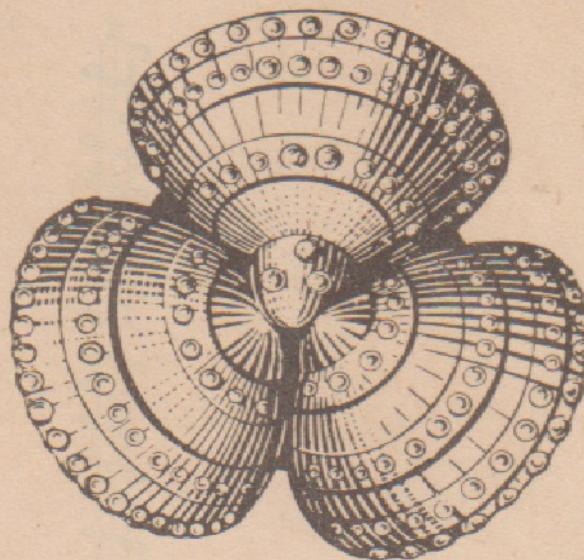
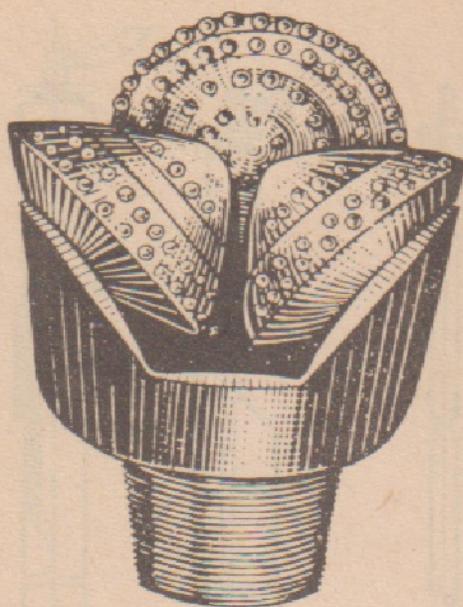


3.39 Instrumentos de trabajo de la perforación rotativa: a) aleaciones duras; b) diamantes; c) granalla; d) trépano de rodillo

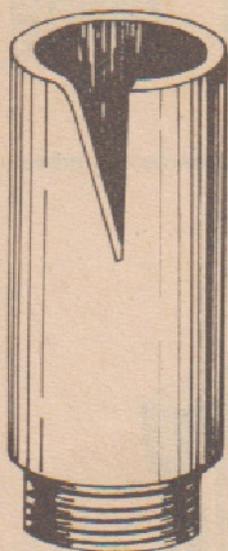


3.40 Brocas armadas con aleaciones duras

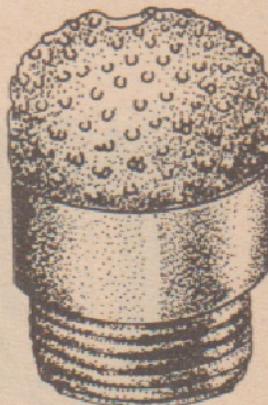
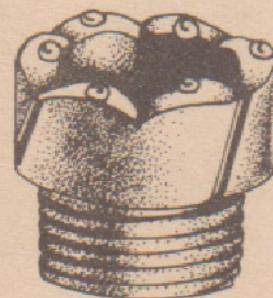
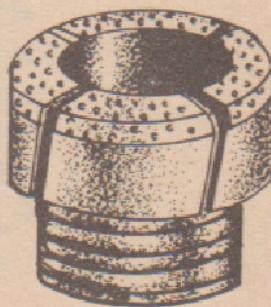
La perforación rotativa de cualquiera de los tipos señalados, con excepción de la de granalla, se puede utilizar para perforar en cualquier dirección. En la figura 3.39 se muestran los instrumentos de trabajo de los diferentes tipos de perforación rotativa, y en las figuras 3.40-3.43 se representan algunas brocas.



3.41 Trépanos de rodillo



3.42 Broca para la perforación con granallas



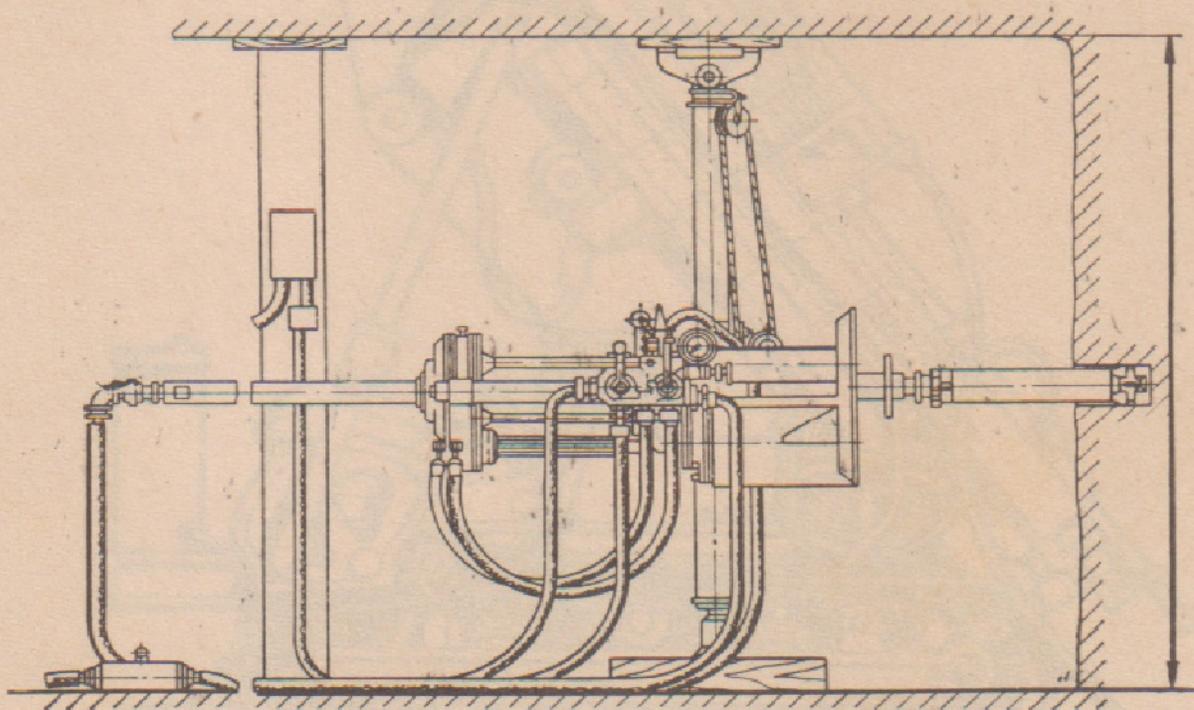
3.43 Coronas de diamantes

Máquinas de percusión rotación

Las máquinas de percusión rotación se pueden dividir en dos grupos: agregados destinados para perforar barrenos profundos en los trabajos de extracción en condiciones subterráneas y para la perforación en los trabajos a cielo abierto.

La máquina de perforación de percusión rotación, consta de los mecanismos de rotación y de avance. La mayoría de estas máquinas en la actualidad trabajan con energía neumática, aunque hay construcciones en las que el mecanismo de percusión trabaja con aire comprimido y la rotación se lleva a cabo con energía eléctrica. Este tipo de perforación es relativamente progresivo. Las máquinas pueden ser móviles, montadas sobre neumáticos o esteras, o estacionarias sobre columnas. Tienen alta productividad y maniobrabilidad. Pueden perforar barrenos horizontales o inclinados.

En su trabajo se crean condiciones sanitarias superiores a las que se forman con las perforadoras neumáticas, por lo que gradualmente las van desplazando en algunos campos. En nuestro país las máquinas de este tipo están ampliamente difundidas en la perforación de barrenos en las canteras de materiales de construcción.

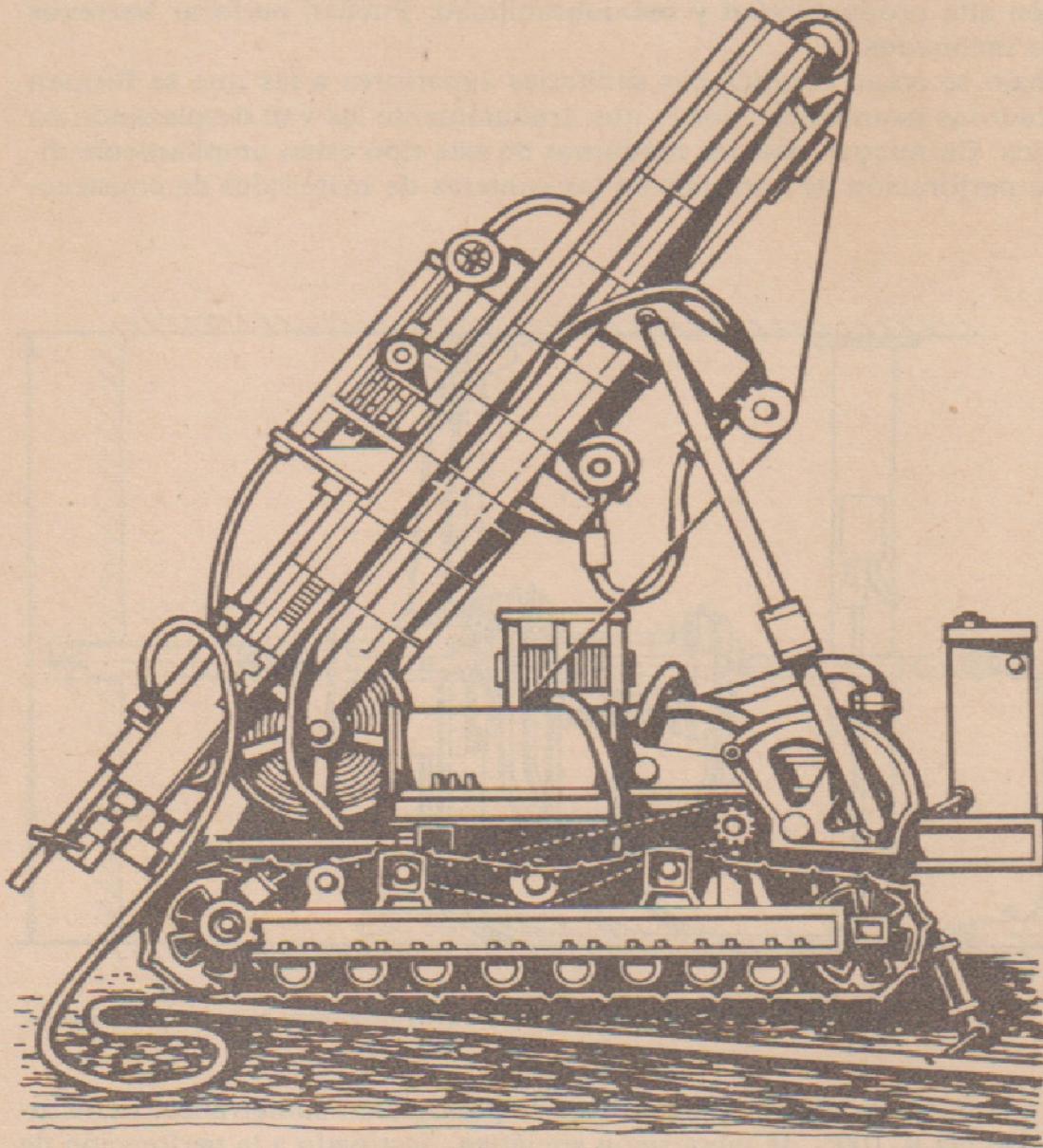


3.44 Máquina de percusión-rotación HKP-100, para trabajos subterráneos

Entre las máquinas de mayor difusión para la perforación subterránea, tiene interés el agregado NKR-100*, de fabricación soviética, destinado a la perforación de barrenos con diámetros de 85 o 105 mm y cuyo aspecto externo se muestra en la figura 3.44. En esta máquina la rotación se lleva a cabo con accionamiento eléctrico, y la percusión y el avance mediante energía neumática, lo que permite variar gradualmente el número de revoluciones y al mismo tiempo desarrollar el esfuerzo axial indispensable. Es decir, es adaptable a las cargas, lo que aumenta la productividad y disminuye el desgaste. Las varillas de perforación pueden ser acortadas con una longitud de 400-500 mm y alargadas con una longitud de 1 000-1 200 mm.

* Transliteración del ruso (N. del E.).

Para los trabajos a cielo abierto se utilizan agregados que perforan barrenos con diámetro de 100-150 mm, en rocas de alta fortaleza y con profundidad de hasta 40 m (Fig. 3.45). En Cuba se encuentran difundidas máquinas de percusión-rotación, que perforan barrenos de 85 y 105 mm de diámetro, montadas sobre neumáticos.



3.45 Máquinas percusión-rotación, para trabajos a cielo abierto

Perforación térmica

La perforación térmica se basa en la fundición de la roca con combustión parcial; su separación se realiza mediante la creación de tensiones térmicas a través del calentamiento acelerado de su superficie. Se utiliza en los trabajos a cielo abier-

to, en el laboreo de cuarcitas ferruginosas, o sea, minerales pobres de hierro con alto contenido de bióxido de silicio (SiO_2).

La perforación se lleva a cabo mediante un órgano (cabezal) que gira y en el cual se une al oxígeno un combustible, comúnmente queroseno. La temperatura del chorro inflamado alcanza 2 500-3 000 °C, y su velocidad 1 800-2 200 m/s. El cabezal se enfría con agua. El detrito se extrae del barreno debido a la alta velocidad de los gases y del vapor de agua que se forman en el proceso de combustión.

Actualmente existen diferentes tipos de máquinas, entre las cuales se pueden diferenciar las que poseen una torre rígida y las que enrollan un conducto flexible.

Máquinas de carga

Excavadoras

Las excavadoras desempeñan un papel de gran importancia en la mecanización de los trabajos mineros a cielo abierto. Son máquinas automotores destinadas a la carga de rocas directamente del macizo o previamente fragmentadas en el frente de trabajo, las cuales trasladan en la cuchara (cangilones) hasta el lugar de descarga.

En los trabajos a cielo abierto se utilizan excavadoras de una o múltiples cucharas. Las máquinas de una cuchara son de acción cíclica, mientras que las múltiples se consideran de acción continua. En algunos lugares, a las excavadoras de una cuchara se les suele llamar incorrectamente grúas.

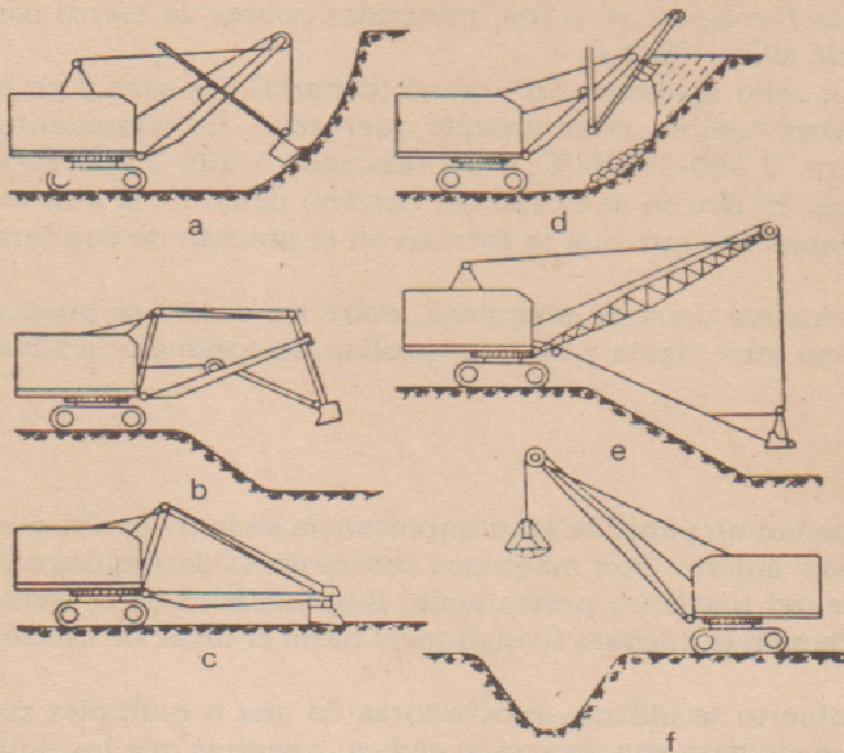
Las principales partes de una excavadora son: los dispositivos de trabajo, de marcha y fuerza; los mecanismos de mando; la plataforma de giro y el chasis. Por el tipo de enlace entre la cuchara y la pluma, las excavadoras pueden ser de enlace rígido o flexible. Al primer grupo pertenecen, entre otros, la pala directa y la pala invertida o retroexcavadora. Entre las excavadoras de enlace flexible se encuentran la cuchara de arrastre (dragline o dragalina) y la de cuchara prensil (autoprensora, "jaiba"), (Fig. 3.46). Todas de amplio uso en la industria minerometalúrgica.

Por el tipo de mecanismo de marcha, las excavadoras pueden ser con neumáticos, con esteras, andantes y flotantes. Por el mecanismo de fuerza pueden ser Diesel, eléctricas y Diesel-eléctricas.

Las excavadoras se dividen en cuatro tipos principales: excavadoras de construcción con esteras o neumáticos y con cucharas de capacidad entre 0,25 y 2 m³; mineras, de cantera de pala directa con marcha sobre esteras y cucharas de 4-8 m³ de capacidad; de destape (apertura), con equipos de pala directa, sobre esteras y con cucharas de 4-15 m³ de capacidad, y dragalinas andantes, con cucharas de arrastre de 4-20 m³ de capacidad.

Por la potencia, las excavadoras se dividen en tres grupos: de pequeña potencia, con cucharas de 0,15-2 m² de capacidad; de media potencia, con cucharas de 2-6 m³ de capacidad, y de gran potencia, con cucharas de más de 6 m³ de capacidad.

En la perforación con máquinas de percusión rotación, el detrito se extrae, como regla, insuflando aire comprimido. Estas máquinas utilizan como instrumento de trabajo el martillo neumático (neumopercutor), y están equipados con brocas de cuchillas escalonadas. En la actualidad, en la mayoría de las excavaciones subterráneas, se utilizan las perforadoras neumáticas. Sin embargo, en la minería mundial, en los últimos años, se ven desplazadas por las máquinas de rotación-percusión, especialmente en las excavaciones de gran sección.



3.46 Tipos de excavadoras de una cuchara: a) pala directa; b) retroexcavadora; c y d) excavadoras rígidas especializadas; e) dragalina; f) jaiba

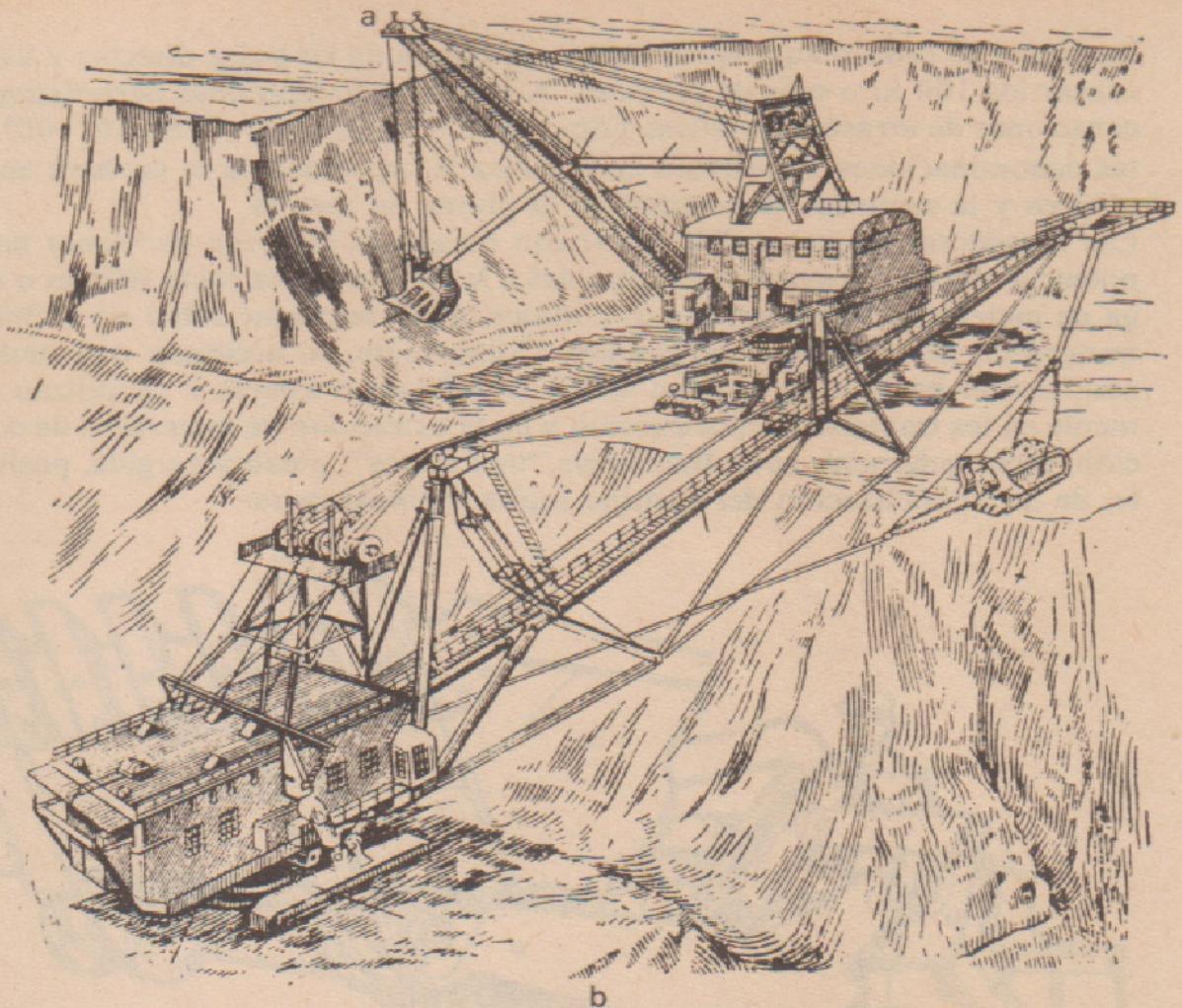
Excavadoras de una cuchara. En minería se utiliza ampliamente la pala directa y la cuchara de arrastre (Fig. 3.47). En extracción de materiales de construcción se utilizan máquinas de carga de menor tamaño, sobre neumáticos o esteras, conocidas como cargadores frontales.

La *pala directa* se utiliza en la extracción de rocas blandas o en la carga de rocas firmes fragmentadas previamente mediante explosivos y con descarga sobre una escombrera o sobre una máquina de transporte (Fig. 3.48). Estas excavadoras se sitúan en la plataforma inferior o superior del banco. También se utilizan para el laboreo de trincheras, cuyas secciones transversales están en correspondencia con las dimensiones de las excavadoras.

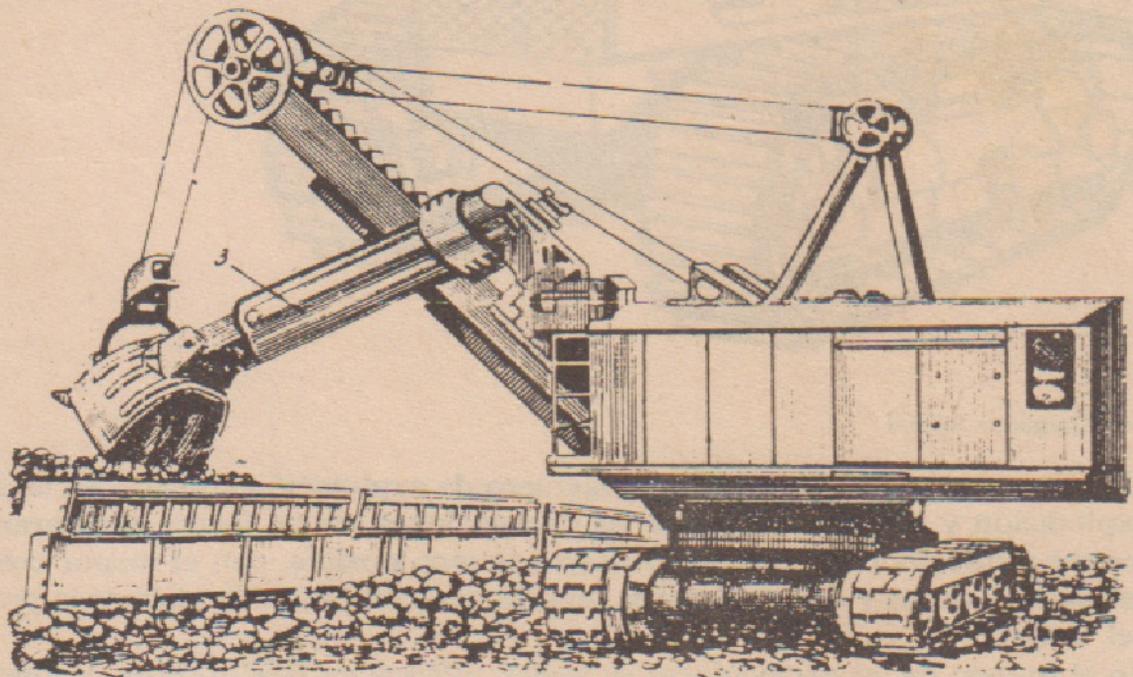
A este tipo de máquinas que se utilizan en los trabajos de extracción, pertenecen las excavadoras EKG-4,6* y EKG-8*, de fabricación soviética, con volúmenes en la cuchara de 4,6 y 8 m³ respectivamente, y que pueden descargar a una altura de 6 y 9 m y en algunos casos, 10 y 12 m. También pertenecen a este grupo las máquinas para descargar directamente sobre la escombrera. La capacidad de las cucharas es de 15 y 35 m³ respectivamente. Estas máquinas se equipan con motores eléctricos de gran potencia y, para disminuir la presión que ejerce su peso sobre el suelo, poseen mecanismos de marcha sobre esteras.

Las *cucharas de arrastre* (dragalinas) se utilizan en el laboreo de rocas débiles, semifirmes o firmes, muy fragmentadas, para transportarlas a escombreras o a recipientes de transporte, a este último cuando la capacidad de la cuchara es relativamente pequeña (4-6 m³). Estas cucharas poseen mecanismos de marcha, andantes montados sobre esquíes, para disminuir la presión de su peso sobre el suelo.

* Transliteración del ruso (N. del E.)



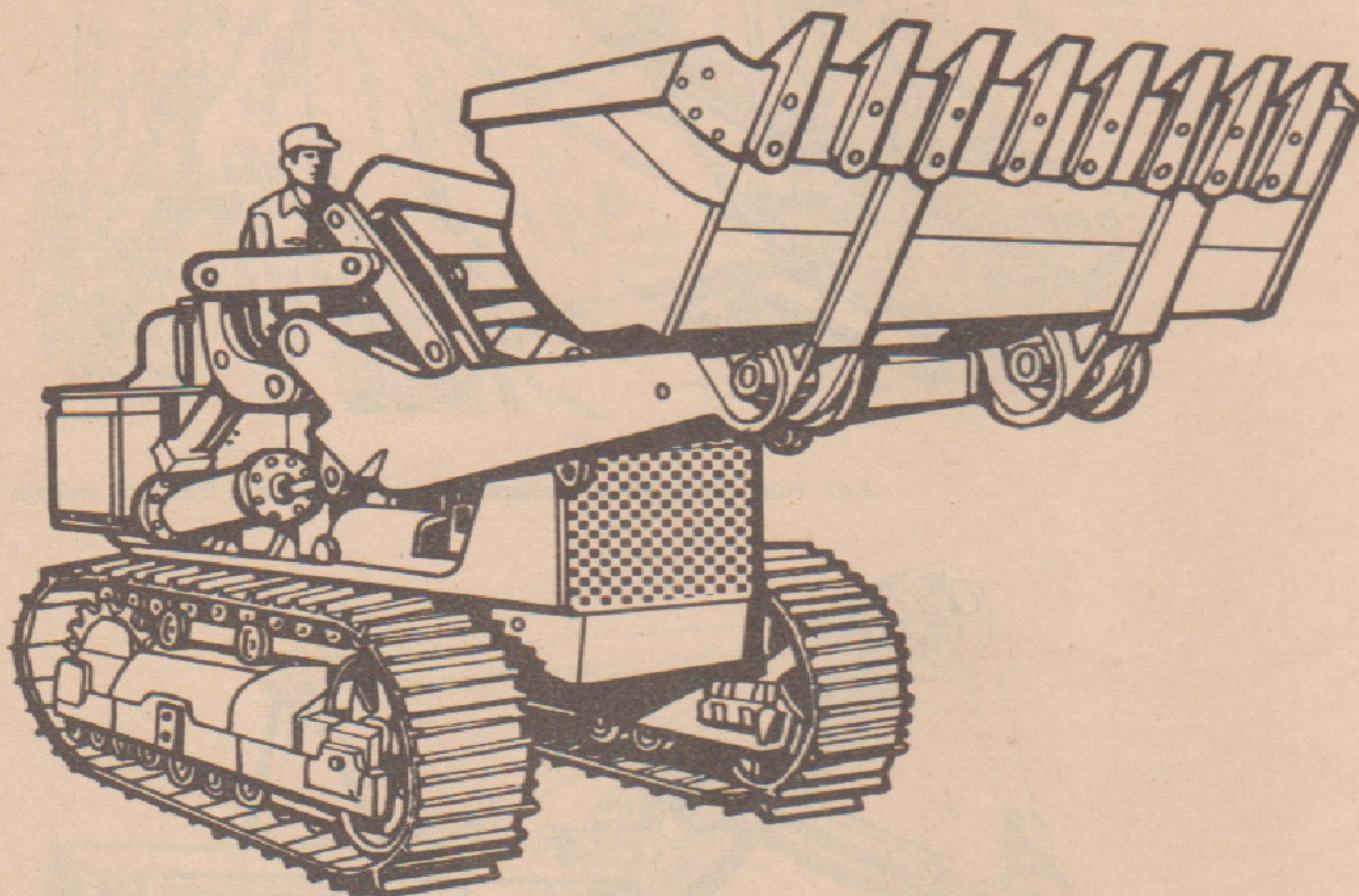
3.47 Pala directa (a) y cuchara de arrastre (b) en el frente de trabajo



3.48 Pala directa que carga a un medio de transporte por rieles

La pluma de estas máquinas es más larga que la de las palas directas y llega a alcanzar los 100 m o más de longitud. A este tipo de máquinas pertenecen las excavaciones de arrastre soviéticas ESh-15/90, ESh-25/100 y ESh-80/100*. En estas denominaciones, la primera cifra indica la capacidad de la cuchara en metros cúbicos y la segunda, la longitud de la pluma en metros.

Los cargadores frontales (Fig. 3.49) son máquinas de carga de menor tamaño y potencia que las excavadoras destinadas a la extracción de rocas débiles o a la carga de materiales fragmentados o mullidos, para descargar sobre un recipiente de transporte, generalmente un camión. Como regla, se accionan con motores de combustión interna. Se montan sobre neumáticos o esteras y se utilizan ampliamente en los trabajos de construcción y en la extracción de materiales de construcción. Incorrectamente suele llamársele "trescabitos", palabra surgida, posiblemente, de la españolización del término inglés *truckexcavator*.



3.49 Cargador frontal

Una de las principales tareas del ingeniero de explotación consiste en la elección, explotación y mantenimiento de las excavaciones, de tal forma que garanticen la mayor productividad, durante el mayor tiempo posible, con el menor costo de la carga, sin averías y en condiciones seguras desde el punto de vista de la protección del trabajo.

En el trabajo de las excavadoras se suelen diferenciar tres tipos de productividad: la teórica, la técnica y la real o de explotación.

* Transliteración del ruso (N. del E.)

La productividad teórica es el volumen de roca que puede sacar la excavadora en la unidad de tiempo, de acuerdo con sus datos constructivos; se determina por la siguiente fórmula:

$$Q_{teor} = 60 v n, \text{ m}^3/\text{h};$$

donde Q_{teor} - productividad teórica; v - capacidad de la cuchara, m^3 ; n - número de ciclos por minuto, calculados por los datos constructivos de la excavadora.

La productividad técnica toma en consideración las propiedades de las rocas que se cargan, y se determina por la siguiente fórmula:

$$Q_t = \frac{60 v n k_{ll}}{K_t},$$

donde K_e - coeficiente de esponjamiento, K_{ll} - coeficiente de llenado de la cuchara: relación existente entre el volumen de la carga y el volumen de la cuchara, es decir:

$$K_{ll} = \frac{v'}{v},$$

donde v' - volumen de la carga.

Generalmente:

$$K_{ll} = 0,8-1,1;$$

La productividad de explotación o real, está dada por el volumen de la carga en la unidad de tiempo; generalmente se expresa en m^3/h , $\text{m}^3/\text{jornada}$, y se determina por la siguiente fórmula:

$$Q_e = \frac{60 v n K_{ll}}{K} \cdot t \cdot K_u; \text{ m}^3/\text{turno};$$

donde t - duración del turno o jornada de trabajo en horas; K_u - coeficiente de utilización de la excavadora en determinado tiempo: relación existente entre el tiempo real de trabajo de la excavadora y el tiempo de la jornada.

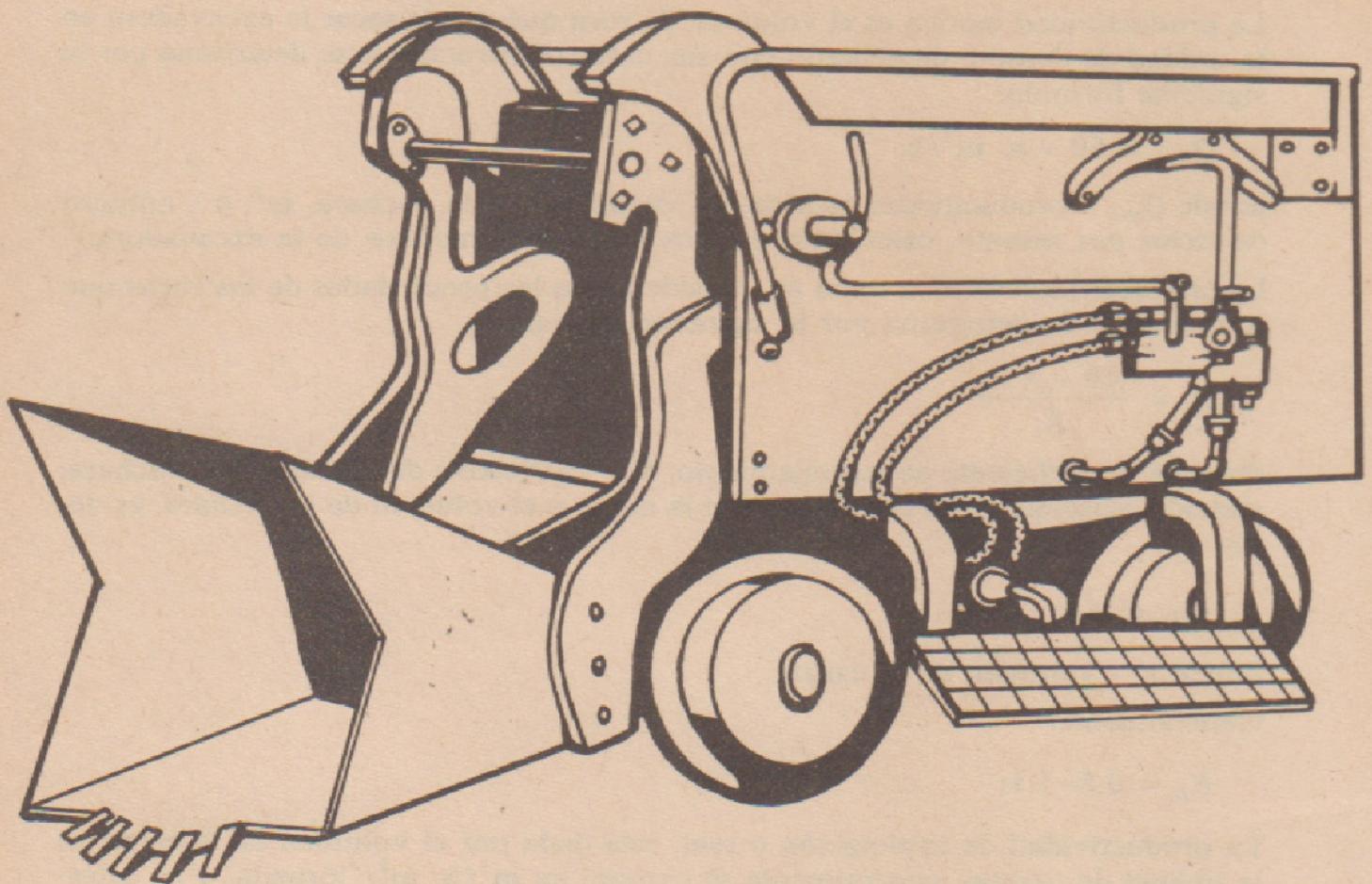
El tiempo real de trabajo es siempre inferior al tiempo de la jornada, debido a las pérdidas provocadas por las esperas en el transporte, ausencia de energía eléctrica, regulación, engrase de los diferentes mecanismos, reparaciones de averías, esperas por explosiones, etcétera.

El coeficiente de utilización de la máquina es siempre menor que la unidad, y es tanto mayor cuando mayor sea el nivel organizativo del proceso de producción; por lo tanto depende en gran medida de la capacidad organizativa de la dirección técnica del proceso.

Para determinar la productividad anual o mensual de la máquina, es indispensable tomar en consideración además, las pérdidas de tiempo ocasionadas por el traslado de la máquina a otros frentes, las reparaciones planificadas, las condiciones climáticas, etcétera.

En el laboreo subterráneo, en cámaras de yacimientos potentes de suave pendiente y en el laboreo de túneles de gran sección se puede utilizar la pala directa.

Para el proceso de carga en la extracción y el laboreo de excavaciones subterráneas, se utilizan frecuentemente las máquinas paleadoras (Fig. 3.50), generalmente accionadas con aire comprimido y montadas sobre rieles.



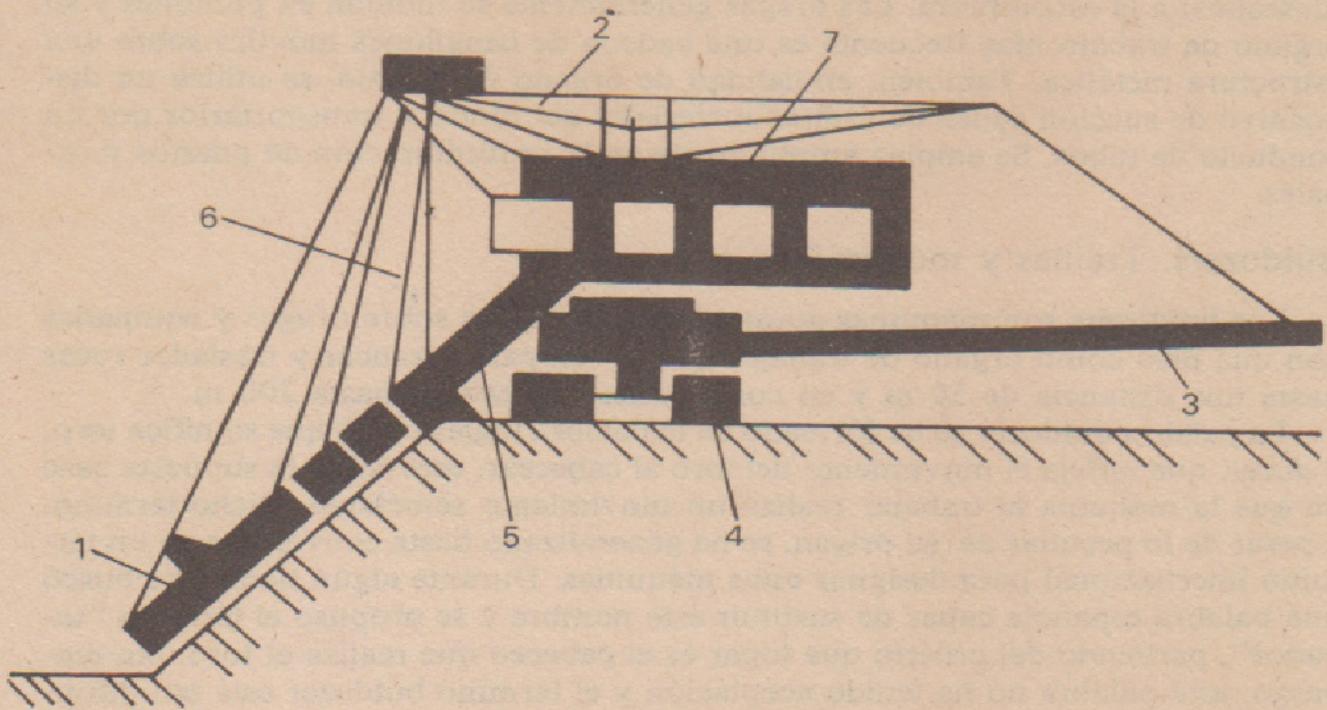
3.50 Paleadora para trabajos subterráneos

Excavadoras de múltiples cucharas. Estas máquinas pertenecen al grupo de acción continua. De acuerdo con la construcción del órgano de trabajo se dividen en excavadoras de cangilones y de rotor. Pueden estar montadas sobre rieles, esteras, o ser andantes. Su accionamiento puede ser con motores Diesel o eléctricos. Se utilizan para el destape en las canteras o para la ejecución de canales.

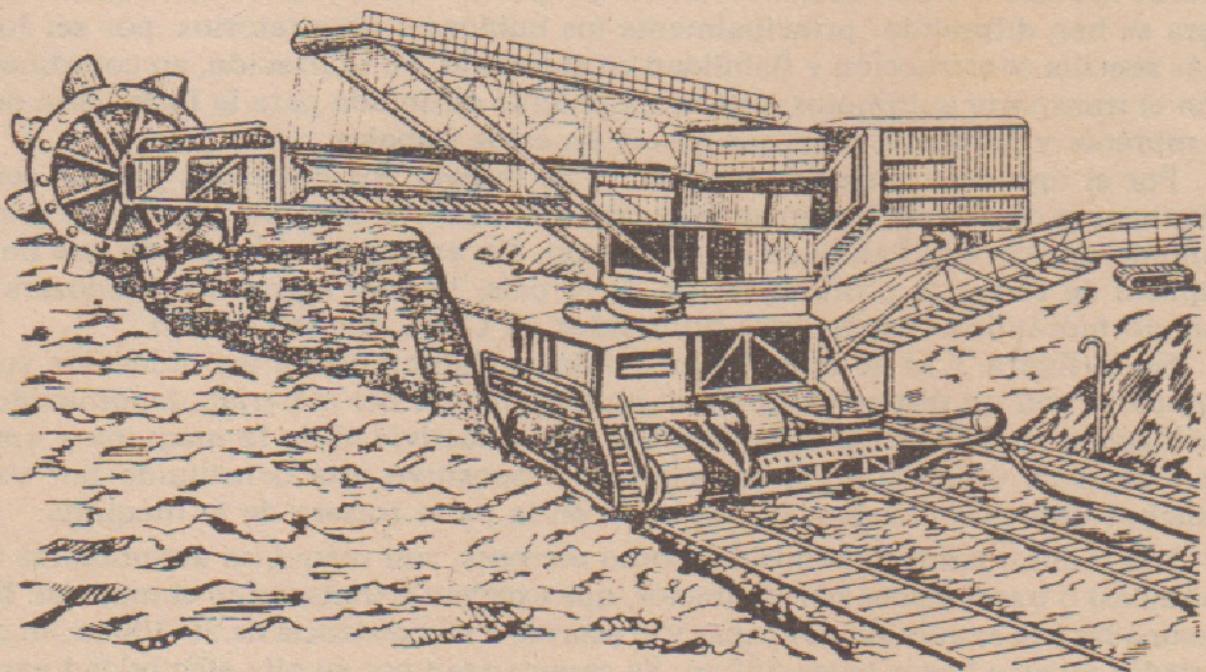
Las *excavadoras de cangilones* (Fig. 3.51) se utilizan para el laboreo de rocas débiles y medias. Su órgano de trabajo está formado por un elevador de cangilones y puede laborar con excavación superior o inferior. La longitud de la cadena de cangilones puede alcanzar 50-60 m, para la excavación inferior, y 35-40 m, para la superior. Estas máquinas alcanzan una alta productividad, la cual es de un 20 a 30 % superior a la de las máquinas de una cuchara, del mismo peso. Son capaces de mantener muy bien la forma de los bordes y del paramento, así como recoger limpiamente la carga. Su principal desventaja consiste en un bajo rendimiento del órgano del trabajo y en desgaste relativamente rápido de este.

Las *excavadoras de rotor* se utilizan en los trabajos de destape (afloramiento), durante las labores de extracción a cielo abierto. Su órgano de trabajo (Fig. 3.52) consiste en una rueda equipada con cangilones que, al girar, arranca y transporta la roca, descargándola posteriormente en una banda transportadora. La capacidad de cangilones del rotor varía desde 100 hasta 4 500 l, y el diámetro del rotor varía desde 2,5 hasta 18 m; posee entre 6 y 12 cangilones. Las plumas de estas exca-

vadoras son, comúnmente, de longitud constante, aunque hay algunas construidas de forma tal que se pueden deslizar en dirección axial. La productividad varía desde 500 hasta 3 000 m³/h.



3.51 Esquema de una excavadora de cangilones: 1) cadena de cangilones; 2) pluma; 3) transportador de consola; 4) mecanismos de marcha; 5) bastidor de la cadena; 6) tirantes de sostén; 7) cabina y sección de máquinas



3.52 Excavadora de rotor

Dragas

Las dragas se utilizan principalmente para la explotación de placeres. Son agregados flotantes que extraen la masa rocosa desde el fondo de áreas cubiertas de aguas. Dicha masa se beneficia en máquinas lavadoras y se transportan las colas (desechos) a la escombrera. Las dragas generalmente se montan en pontones y su órgano de trabajo más frecuente es una cadena de cangilones móviles sobre una estructura metálica. También, en calidad de órgano de trabajo, se utiliza un dispositivo de succión capaz de aspirar materiales del fondo y transportarlos por un conducto de tubos. Se emplea ampliamente en la profundización de puertos y canales.

Buldozers. Traillas y mototraillas

Los buldozers son máquinas automotoras montadas sobre orugas y equipadas con una pala como órgano de trabajo, que sirven para arrancar y trasladar rocas hasta una distancia de 50 m y en condiciones favorables, hasta 200 m.

La palabra buldozer se ha formado de la palabra inglesa *bull*, que significa toro, y *dozer*, que refleja el movimiento del toro al cabecear; esto sobre la supuesta base de que la máquina al trabajar realiza un movimiento semejante. Dicho término, a pesar de lo peculiar de su origen, se ha generalizado hasta convertirse en un término internacional para designar estas máquinas. Durante algún tiempo se buscó una palabra española capaz de sustituir este nombre y se propuso el término "topador", partiendo del criterio que topar es el cabeceo que realiza el toro. Sin embargo, esta palabra no ha tenido aceptación y el término buldozer está tan difundido que no tiene sentido su sustitución, lo que además, prácticamente, es casi imposible.

Por la forma de fijación de la pala, los buldozers pueden ser giratorios y no giratorios. Los primeros pueden desplazar el órgano de trabajo en dirección horizontal, en un ángulo de hasta 60-90 °C, a ambos lados del eje longitudinal de la máquina, además del movimiento vertical propio de ambos tipos. En la práctica minera se han difundido principalmente los buldozers no giratorios, por ser los de más sencilla construcción y fiabilidad en el trabajo. Su utilización, en coordinación con el transporte automotor, está ampliamente difundida para la formación de escombreras y garantiza menores costos en estos trabajos.

Por el tipo de mecanismo de mando de la pala, los buldozers pueden ser hidráulicos y de cables. Las máquinas con mecanismos de cable y polea se han difundido debido a la fiabilidad de su trabajo. Sin embargo, el hecho de que no son capaces de forzar la profundización de la pala, lo cual logran los buldozers con mando hidráulico, mucho más difundidos en Cuba, limitan su uso.

En la figura 3.53 se muestra un buldozer. Últimamente los buldozers suelen equiparse con un dispositivo para el mullido previo del material, denominado escarificador, que aumenta notablemente la productividad de la máquina y amplía su campo de utilización. El mencionado dispositivo está constituido por varios ganchos unidos a una barra, y se sitúa en la parte trasera de la máquina.

Las traillas, también conocidas como escrepas, son máquinas automotoras (mototraillas) o traccionadas por un tractor, que excavan y transportan el material. Están destinadas a la extracción por capas y al acarreo a una distancia de 25-300 m; en casos aislados pueden llegar hasta 500 m. Se caracterizan por su alta efectividad para laborear rocas secas (con bajo contenido de humedad), que no exigen fragmentación previa. Se ocutilizan en los trabajos de destape para la obtención de arenas y para

nivelar plataformas de construcción. Se encuentran ampliamente difundidas en el laboreo de lateritas, en los yacimientos de Moa y Nicaro. Su órgano de trabajo consiste en una cuchara (escrepa) en la que se acumula la tierra (roca) cortada. El ciclo de trabajo consiste en el arranque con carga simultánea de la cuchara, transporte, descarga y marcha vacía. Se fabrican con capacidad de la cuchara desde 1,5 hasta 3,5 m³. En la figura 3.5 se muestra el esquema de una trailla.



3.53 Buldozer y cuchara de arrastre

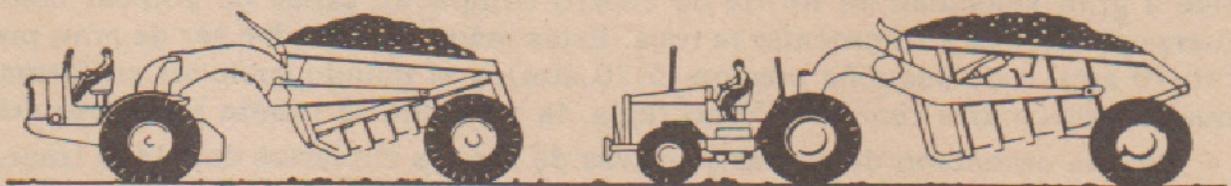


Fig. 3.54 Mototraillas

Otras máquinas mineras

Además de las máquinas señaladas, en la minería mundial se utilizan las máquinas de derrubio, combinadas de extracción, máquinas de corte, combinadas de avance y otras.

Las máquinas de derrubio se utilizan en los trabajos de hidromecanización, que constituyen una de las formas de mecanización completa de los trabajos mineros. Esta forma es de alta productividad y relativamente económica. Se utiliza principalmente para los trabajos de destape y para la extracción de mineral (principalmente carbón) en laboreos a cielo abierto y subterráneo, así como para los trabajos de relleno en las minas. En Cuba, este método es prospectivo para la extracción de arena y uno de sus procesos, el transporte hidráulico, se utiliza en la mina "Capitán Alberto Fernández", en Matahambre, para el relleno de los espacios laboreados.

La hidromecanización es eficaz en rocas de fortaleza media y baja. El principal método consiste en el derrubio de la roca, directamente del macizo (Fig. 3.55) o previamente fragmentada mediante un hidromonitor.

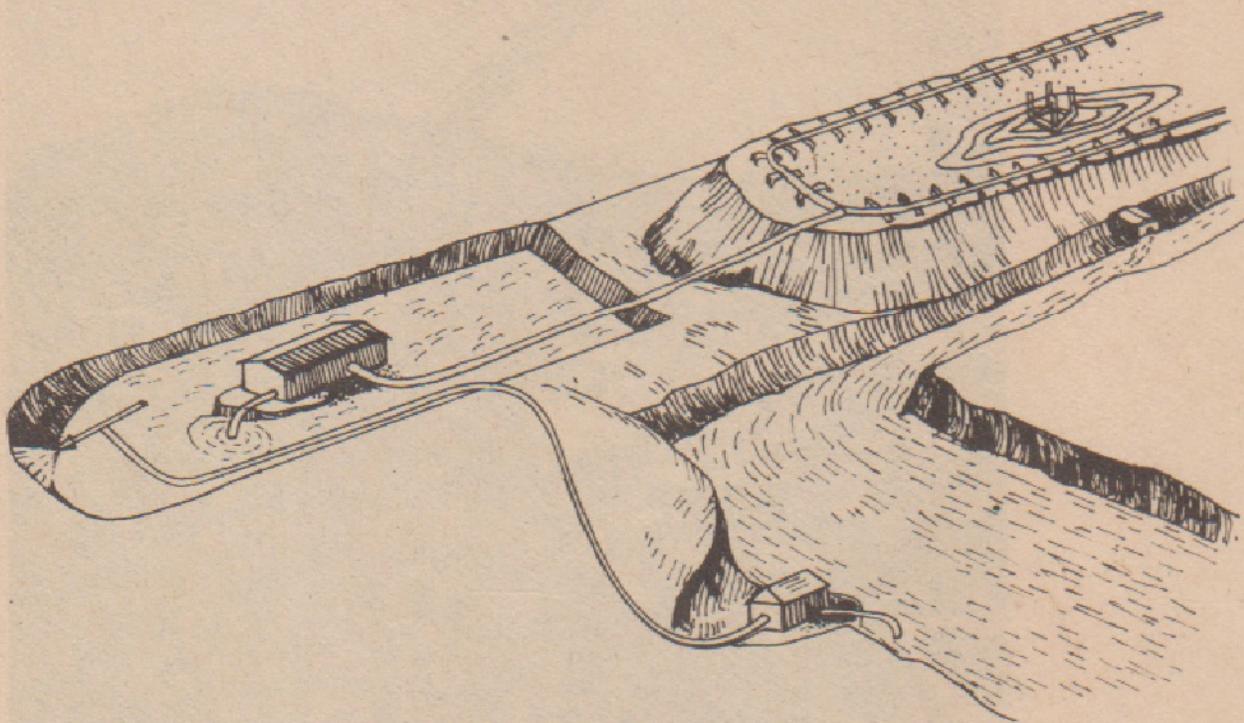


Fig. 3.55 Esquema de explotación por derrubio

El hidromonitor (Fig. 3.56) es una máquina cuyo principal elemento lo constituye una boquilla, de la cual el agua suministrada a gran presión por una bomba, sale a gran velocidad en forma de chorro compacto, capaz de golpear con gran fuerza de choque y fragmentar la roca. Estas máquinas pueden ser de gran presión (40-70 atm) o de pequeña presión (5-20 atm), y el mando suele ser en forma manual o por control remoto. Como regla, la máquina se monta sobre esquiés.

Para la obtención de arenas y gravas de fondos cubiertos con agua (mar, presas, lagos, canales), se utilizan ampliamente máquinas flotantes. Así como también para el destape de minerales de manganeso e hierro, sumergidos. En este caso, la

roca se succiona después de una fragmentación mecánica o hidráulica. El laboreo se puede realizar hasta una profundidad de 15 m. La práctica de explotación de estos equipos, demuestra que en algunos casos su utilización es más económica que el laboreo con hidromonitores.

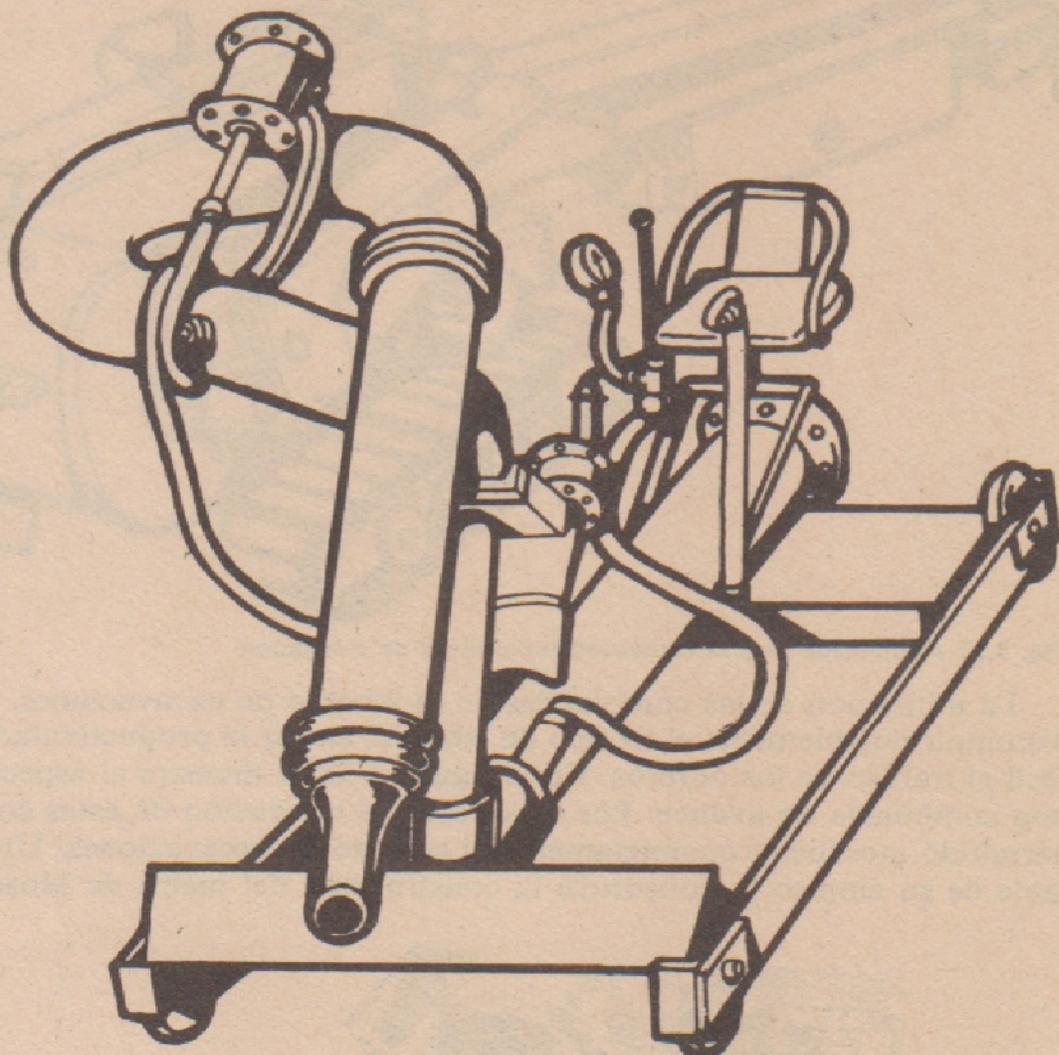


Fig. 3.56 Hidromonitor

Las máquinas de corte se utilizan en las labores de corte del cuerpo mineral, para facilitar su posterior separación. Se emplean en rocas de poca fortaleza y se han difundido principalmente en la minería del carbón. En Cuba se emplean estas máquinas de corte para el laboreo de mármoles.

Las combinadas se utilizan tanto en los trabajos de extracción como en laboreo de excavaciones. Se han difundido ampliamente en el arranque, acarreo y carga del mineral. Además, se han diseñado diferentes combinadas en función de la potencia y buzamiento del cuerpo mineral, así como de las propiedades de las rocas. Generalmente son accionadas con energía eléctrica.

En la figura 3.57 se muestra una combinada, la MBL*, utilizada ampliamente en la extracción de minerales de manganeso en la cuenca de Nikopol-Marganets,

* Transliteración del ruso (N. del E.).

URSS. Sus principales elementos son: el órgano de trabajo, que consiste en una tambora con paletas que arrancan y cargan el mineral, montada sobre una base giratoria; las transportadoras de recepción y de descarga; los dispositivos de marcha montados sobre orugas; el hidrosistema y los equipos eléctricos.

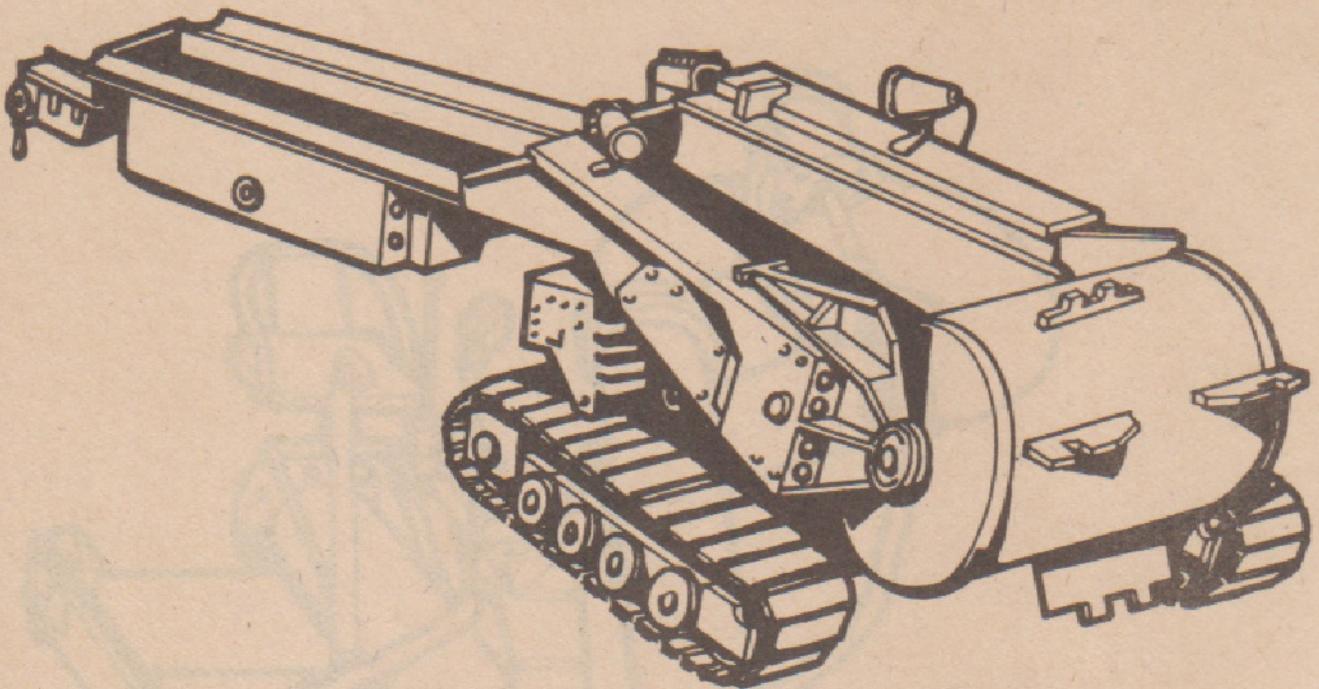


Fig. 3.57 Combinada para la extracción subterránea de manganeso

La utilización de las combinadas en el laboreo de excavaciones, ha permitido disminuir notablemente el tiempo de laboreo, elevar la productividad y hacer más fácil el trabajo de los obreros. En la figura 3.58 se muestra el aspecto externo de una combinada de avance. Por otra parte, la utilización de estas combinadas ha permitido mecanizar completamente el laboreo de excavaciones. Un ejemplo notable de su empleo lo constituye la construcción del metro de Moscú.

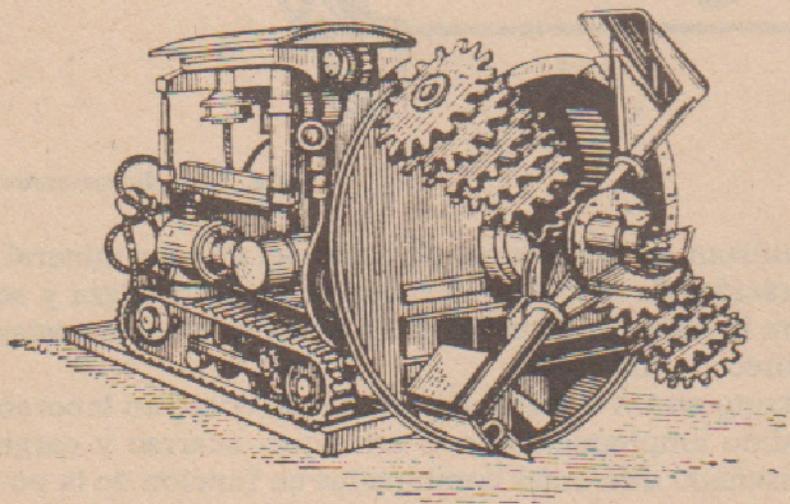


Fig. 3.58 Combinada de avance

En los últimos años se ha hecho gran hincapié en la mecanización completa de los trabajos de extracción bajo tierra, con lo que se elimina la necesidad de que el minero se encuentre todo el tiempo en el frente de trabajo. Para esto se han diseñado complejos de extracción.

Elementos de beneficio de minerales

Generalidades

Los materiales extraídos de la corteza terrestre pueden ser utilizados en forma directa o sometidos a un proceso de preparación previa. La preparación previa de los materiales se conoce como beneficio de minerales. En este proceso los minerales se llevan a un tamaño determinado y, posteriormente, se separan los componentes innecesarios, con lo que se enriquece o concentra el mineral útil. El producto que se obtiene se denomina concentrado. Las partes de la masa minera que se separan del mineral, como material innecesario, se denominan colas. Cuando el proceso tecnológico es completo, estas colas se utilizan para obtener otros productos útiles, aunque con frecuencia se almacenan. En algunos casos se suele obtener un producto intermedio, en el cual el contenido del material útil es inferior que en el concentrado, pero mayor que en las colas. Este producto, como regla, debe ser sometido a un proceso de beneficio posterior.

En la elección correcta de los métodos de beneficio, influyen: la composición química, es decir, el contenido de elementos químicos; la composición mineralógica, o sea, el contenido de minerales; la forma de manifestación de los principales elementos componentes; las peculiaridades de la estructura y textura del material, por tanto, el tamaño de las inclusiones minerales; la forma y distribución de estas y sus agregados; la composición granulométrica, es decir, la distribución por tamaño en el producto final, así como en el producto de trituración, molienda y clasificación; y por último, las propiedades físicas de estos materiales.

La composición granulométrica se determina por el análisis del mismo nombre, que se realiza mediante el cernido del material a través de cribas, también denominadas tamices (Fig. 4.1). Cada uno de estos tamices tienen orificios de un tamaño determinado, de tal forma que permiten el paso de partículas de menor tamaño hacia los tamices inferiores, mientras que retienen las mayores.

En cada uno de los tamaños se acumula una cantidad de material, cuyo tamaño es inferior al de los orificios del tamiz anterior y, lógicamente, superior al de los orificios del tamiz donde se encuentran. El porcentaje en peso con respecto al total de mineral, constituye el contenido del tamaño dado. La parte del material que queda en el tamiz se denomina retenido y la que pasa a través, cernido.

El cernido constituye la clase d , es decir, que ha pasado a través de los orificios con dimensión mínima d . El retenido constituye la clase $+ d$, es decir, con tama-

no superior a la dimensión d . De tal forma, el cernido en el tamiz d (superior) y retenido en el tamiz d_2 (inferior), constituye la clase $-d_1 + d_2$.

Para el análisis granulométrico se utiliza un juego de tamices con orificios cuadrados. Las dimensiones de estos orificios en los diferentes tamices, están dados por una serie de valores que se conocen como escala de los tamices. En esta escala se suele mantener una relación constante entre las dimensiones de los orificios de los tamices vecinos, la cual se conoce como módulo de la escala. De tal forma, las dimensiones de los orificios de un tamiz se obtienen multiplicando el valor del tamiz anterior por el módulo. La serie parte de un valor inicial denominado base.

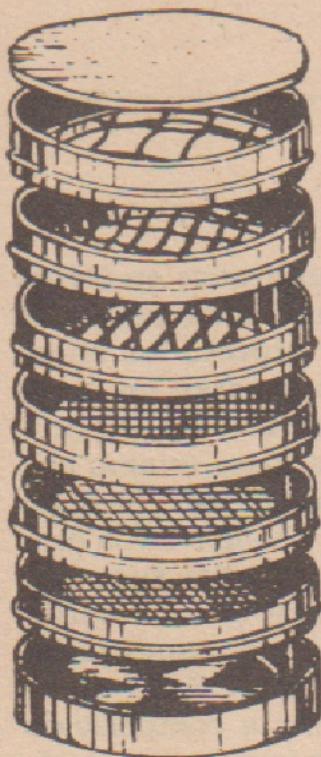


Fig. 4.1 Tamices

Una de las escalas más comunes es la conocida como escala de Taylor, que tiene un módulo igual a $\sqrt{2}$, y cuya base es igual a 0,074 mm. Multiplicando consecutivamente por el módulo, a partir de esta base se obtienen las dimensiones de los orificios, en mm, a saber: 0,074; 0,104; 0,147; 0,208; 0,295; 0,417; 0,59; 0,83; 1,17; 1,65; 2,36; 3,33; y 4,7; también se pueden obtener tamaños inferiores dividiendo por el módulo $\sqrt{2}$. Por ejemplo, el inmediato inferior a la base es 0,053.

En la literatura suele encontrarse el tamaño expresado en mallas, que constituyen el número de orificios en una pulgada lineal (25,4 mm). De tal forma que, mientras menor es el tamaño de los orificios, y por tanto, de las partículas del material mayor es el número de estos. La base de la escala de Taylor, 0,074 mm, corresponde a una magnitud de 200 mallas.

En los trabajos de investigación se suele utilizar una escala más densa, con un módulo igual a $\sqrt[4]{2}$, es decir, que incluyen un tamiz intermedio entre cada uno de los que corresponden a la escala de Taylor. Por último, debe señalarse que a cada tamaño de los orificios corresponde un diámetro determinado de los alambres con los que se confecciona el tamiz.

Tabla 4.1
RESULTADOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

Tamaño o clase	Peso del retenido, %	% acumulativo del cernido
+1,17	0,74	0,74
-1,17 + 0,83	2,60	3,34
-0,83 + 0,59	14,14	17,75
-0,59 + 0,42	19,13	36,88
-0,42 + 0,30	26,16	63,04
-0,30 + 0,21	15,81	78,85
-0,21 + 0,15	11,27	90,12
-0,15 + 0,10	6,63	96,75
-0,10 + 0,074	2,62	99,37
-0,074	0,63	100,00

El resultado también se puede expresar en forma gráfica, mediante una curva que se conoce como características de tamaño, y para cuya construcción se coloca el tamaño de los orificios en el eje de las abscisas y los tantos por ciento acumulativos en el eje de las ordenadas. En la figura 4.2 se muestra una característica de tamaño (una de las escalas es logarítmica), cuya composición granulométrica también se ha expresado en la tabla No. 4.1.

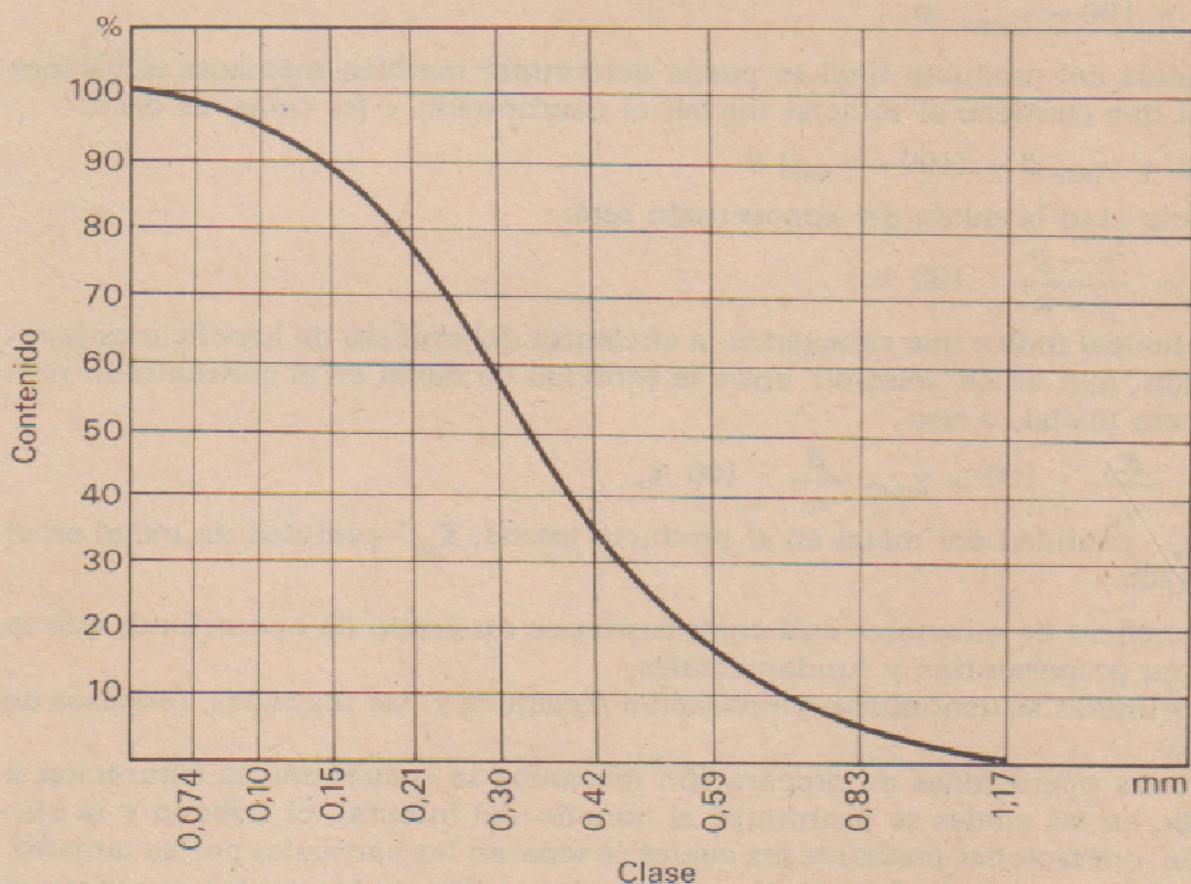


Fig. 4.2 Gráfico de la composición por clase: característica granulométrica

En beneficio de minerales se trabaja con mezclas de granos minerales de diferentes formas y tamaños, los cuales se suelen caracterizar por un parámetro conocido como diámetro del grano. Por diámetro se entiende la dimensión mínima de un orificio cuadrado, a través del cual es capaz de pasar el grano.

La cantidad de metal que contiene una mena se denomina ley. Se expresa, como regla, en tanto por ciento de metal útil con respecto a toda la masa minera. La ley del producto inicial, antes de someterse a cualquier proceso de beneficio, se denomina ley de cabeza. El contenido mínimo de metal en una mena, indispensable para que pueda ser sometido a un proceso tecnológico dado, constituye la condición necesaria.

El contenido de metal, de elementos químicos o sus combinaciones en el mineral, el concentrado y las colas, se suelen designar con letras griegas; α para el mineral, β para el concentrado y θ para las colas. La ley se determina mediante análisis químico.

El proceso de beneficio se caracteriza por una serie de índices:

Salida del concentrado (γ_{conc}) se le llama a la relación entre el peso del producto obtenido-concentrado (K) y el peso del material inicial (q).

$$\gamma_{conc} = \frac{K}{q};$$

en tanto por ciento:

$$\gamma_{conc} = \frac{K}{q} \cdot 100 \%$$

La salida de las colas será:

$$\gamma_{colas} = 100 - \gamma_{conc} \%$$

La salida del producto final se puede determinar también mediante el balance de metal que contiene el mineral inicial, el concentrado y las colas, es decir:

$$100 \alpha = \gamma_{conc} \beta + (100 - \gamma_{conc}) \theta$$

En este caso la salida del concentrado será:

$$\gamma_{conc} = \frac{\alpha - \beta}{\beta - \theta} \cdot 100 \%$$

El principal índice que caracteriza la eficiencia del proceso de beneficio es la recuperación, que es la relación entre la cantidad de metal en el concentrado y en el producto inicial, o sea:

$$= \frac{K_{\beta}}{q_{\alpha}} \cdot 100 = \gamma_{conc} \frac{\beta}{\alpha} \cdot 100 \%$$

donde q_{α} - cantidad del metal en el producto inicial; K_{β} - cantidad de metal en el concentrado.

El beneficio de minerales está compuesto por un grupo de operaciones que se dividen en preparatorias y fundamentales.

Las primeras se denominan preparación mecánica y, las segundas, procesos de beneficio.

Entre las operaciones de preparación mecánica se encuentran la trituración y molienda, en las cuales se disminuye el tamaño del mineral, el cribado y la clasificación, operaciones mediante las cuales se separan las partículas por su tamaño.

Los procesos de beneficio incluyen las operaciones en las cuales se separa el mineral en sus diferentes componentes. A este grupo de procesos pertenecen la se-

La representación gráfica de las operaciones a la que es sometido un producto se denomina esquema tecnológico. El croquis que caracteriza la variación cualitativa del producto (composición, tamaño, humedad, etc.), se denomina esquema cualitativo. Si se muestran las cantidades del mineral y de los demás productos, en las diferentes operaciones, se le llama esquema cuantitativo. En la práctica estas representaciones gráficas suelen unirse en un esquema cuantitativo-cualitativo único.

El esquema que muestra los equipos y aparatos que ejecutan una u otra operación, así como el recorrido de los materiales de uno a otro aparato, se denomina esquema del circuito de aparatos.

En la figura 4.3 se muestra un esquema cuantitativo cualitativo, y en la figura 4.4 un esquema del circuito de aparatos de un proceso tecnológico.

Procesos de preparación mecánica

Trituración y cribado

El mineral extraído se lleva a la fábrica de beneficio en pedazos de diferentes tamaños que alcanzan, a veces, más de 1 m. Estas rocas no se prestan para beneficiarlas y es indispensable triturarlas. La trituración se puede llevar a cabo de diferentes formas: aplastamiento, escisión, desgaste y choque (Fig. 4.5).

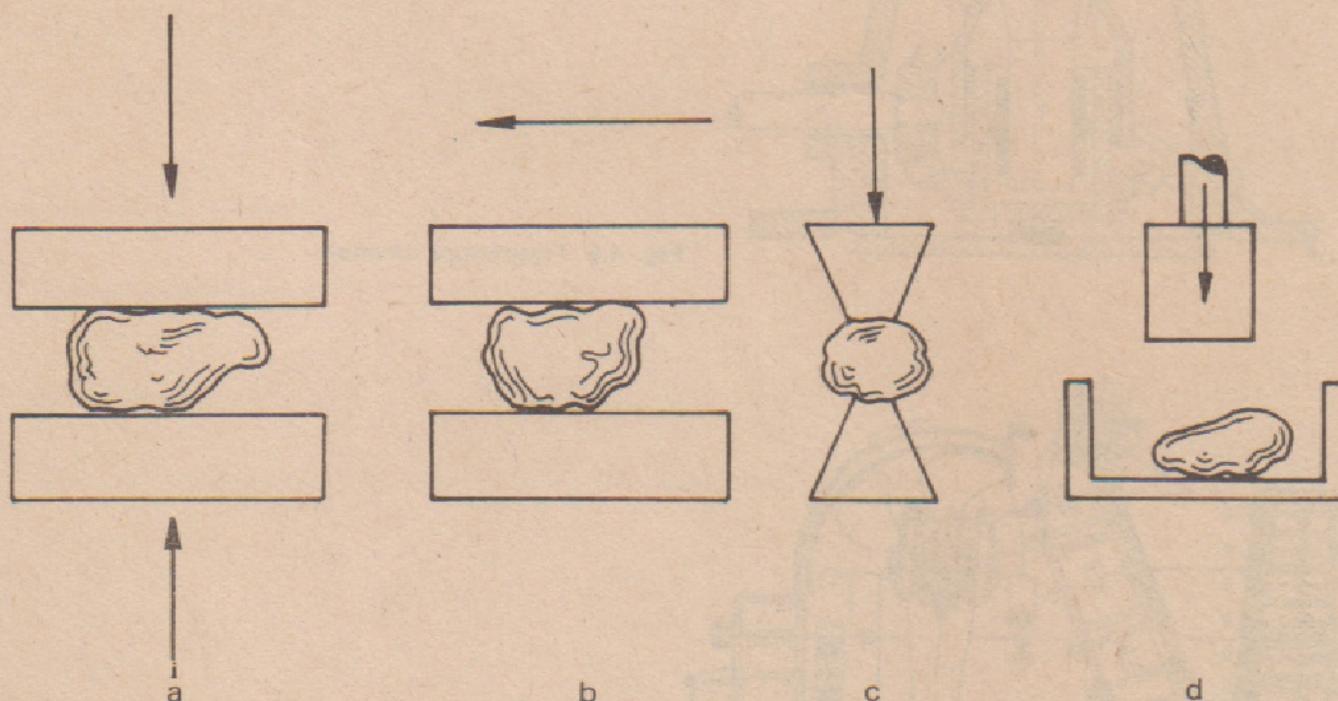


Fig. 4.5 Métodos de trituración: a) aplastamiento; b) desgaste; c) escisión; d) choque

La elección de uno u otro método de trituración se realiza en función de las propiedades fisicomecánicas del material y de sus dimensiones iniciales y finales. En la práctica, las rocas duras y viscosas se trituran mediante aplastamiento, golpe o desgaste, y las frágiles, por escisión.

La trituración se divide en varias etapas: gruesa, con dimensiones desde 1 200 hasta 250-300 mm; media, desde 300 hasta 75-50 mm; y fina, desde 75-50 mm hasta 25 mm y menos.

La trituración es un proceso caro que consume cerca del 40 % de los gastos relacionados con el beneficio, mientras que los equipos de trituración ocupan cerca del 60 % del costo del equipamiento de la fábrica.

En función de su construcción, las trituradoras se dividen en cónicas, de quijada (mandíbula), rodillos, martillo y de rotación. Las trituradoras de mandíbula y cónicas se utilizan para la trituración gruesa. Para la trituración media y fina se emplean, como regla, trituradoras cónicas. Los materiales frágiles y de baja fortaleza se fragmentan en trituradoras de martillo o de rodillo. En las figuras 4.6-4.9 se muestran los esquemas de las trituradoras mencionadas.

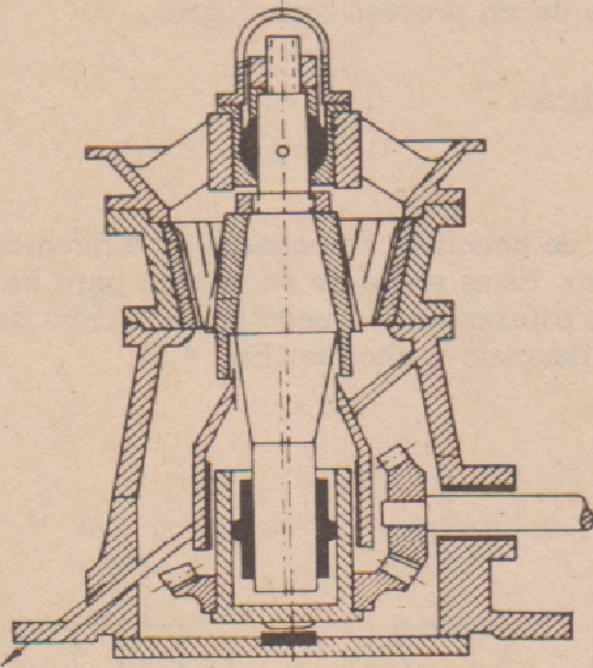


Fig. 4.6 Trituradora de cono

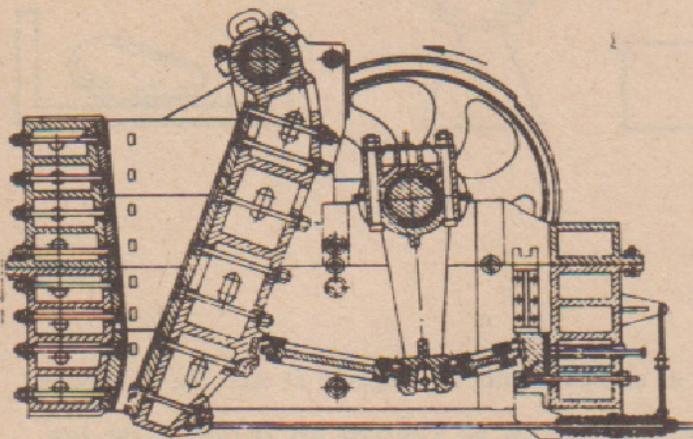


Fig. 4.7 Trituradora de quijada

El cribado es el proceso mediante el cual se separan los materiales por su tamaño, cerniéndolos a través de uno o varios tamices. Los pedazos de material con dimensiones inferiores a la de los orificios del tamiz, pasan a través de este, mientras que las mayores quedan. El material que queda en la criba se denomina producto superior, y el que pasa, producto inferior.

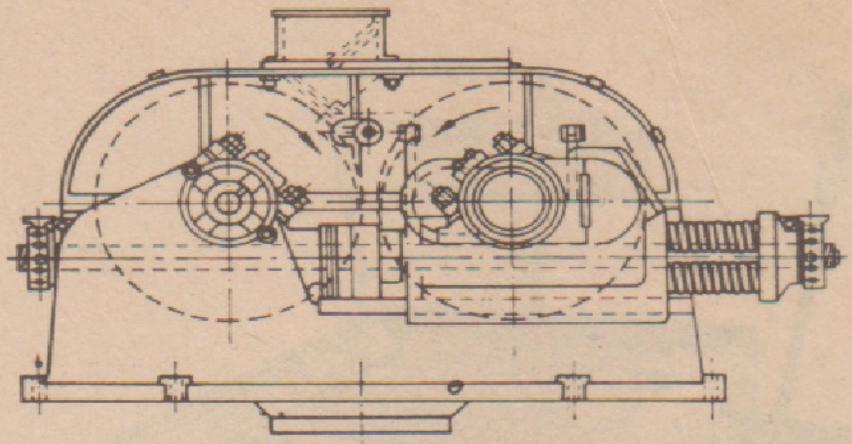


Fig. 4.8 Trituradora de rodillos

En función de su objetivo, el cribado puede ser independiente, preparatorio y auxiliar. El primero se utiliza para separar el producto final; el segundo, para diferenciar el producto en clases que pasan al proceso de beneficio; y el tercero, se sitúa en diferentes etapas de la trituración para separar el material ya preparado por su tamaño y con ello disminuir la carga de la máquina. El proceso se lleva a cabo en cribas, con uno o varios paños sobre los ejes longitudinales inclinados, que generalmente son sometidos a un movimiento oscilatorio (Fig. 4.10). A veces se utilizan cribas giratorias de cilindros con ejes inclinados, denominadas *Tromel* (Fig. 4.11), en las cuales el material entra por su parte superior y en su recorrido las partículas de diferentes grosores van cayendo, lográndose así su superación por tamaño. Las partículas más grandes salen por el extremo inferior del cilindro y constituyen el rechazo.

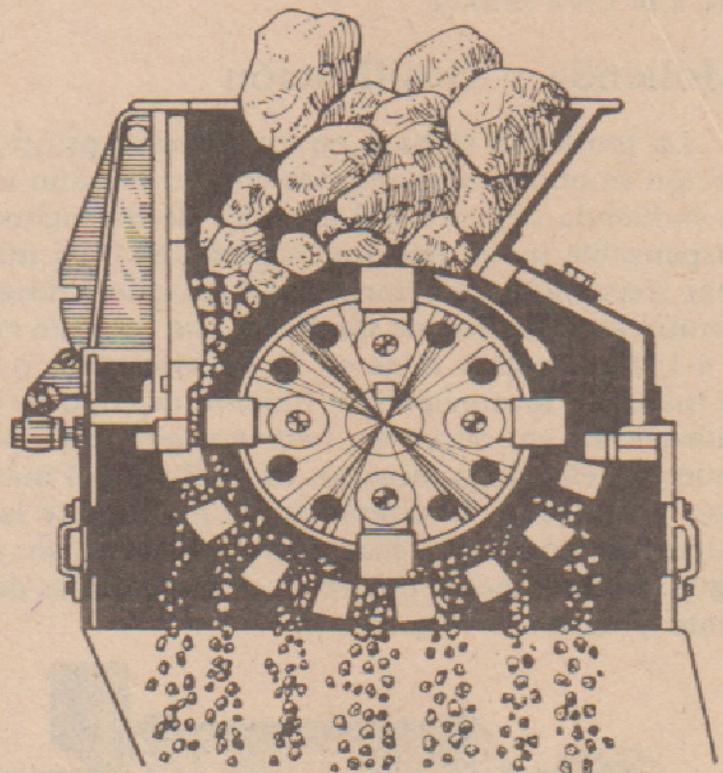


Fig. 4.9 Trituradora de martillos

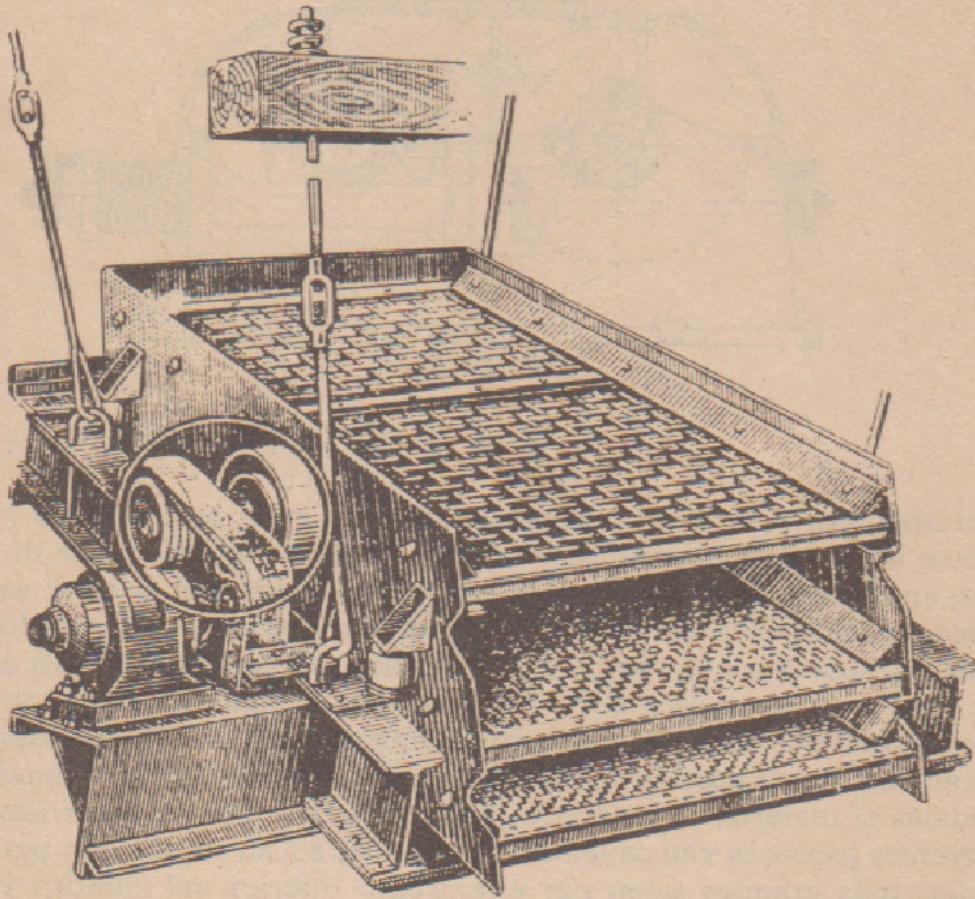


Fig. 4.10 Criba oscilante

Molienda y clasificación

La molienda se basa en los mismos principios de la trituración. En esta operación se obtienen productos con un tamaño inferior a 5 mm. La profundidad de la molienda depende del carácter de las inclusiones. En algunos minerales es indispensable moler hasta un tamaño de 0,05 mm. Para la molienda se utilizan con más frecuencia los principios de choque y desgaste. La máquina de molienda más común es el molino de tambora, que consiste en un recipiente cilíndrico (Figs 4.12 y 4.13) que rota y tiene en su interior bolas o barras metálicas que, al caer sobre el material, lo muelen. En función del tipo de cuerpo que muelen, los molinos se diferencian en: de bolas, barras y automolinos. En este último, el elemento que muele es el propio mineral. El traslado del material tiene lugar a lo largo del molino y se debe a la diferencia de nivel entre la carga y la descarga. La molienda puede ser húmeda y seca. En el primer caso, junto con el material se suministra agua. Se diferencian cuatro tipos industriales de molinos: de tambora, anulares, de plato y de disco (Fig. 4.14).

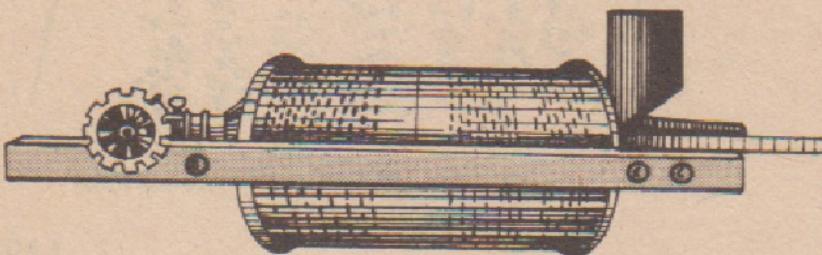


Fig. 4.11 Criba giratoria

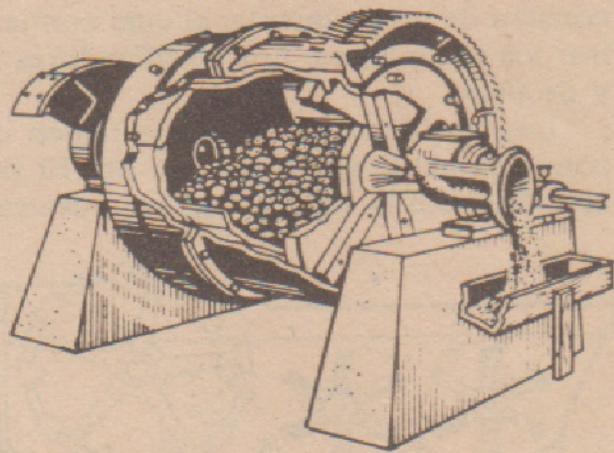


Fig. 4.12 Molino de bolas

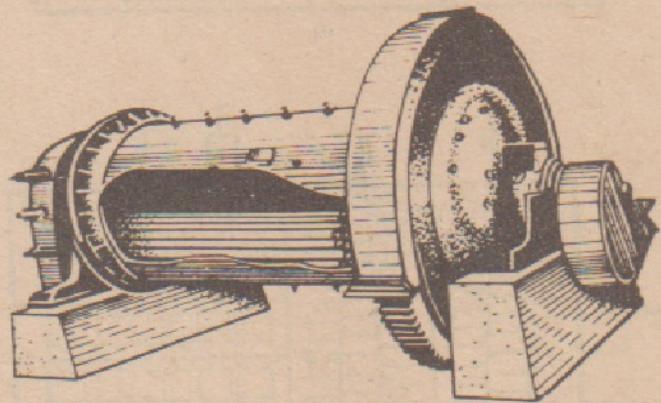


Fig. 4.13 Molino de barras

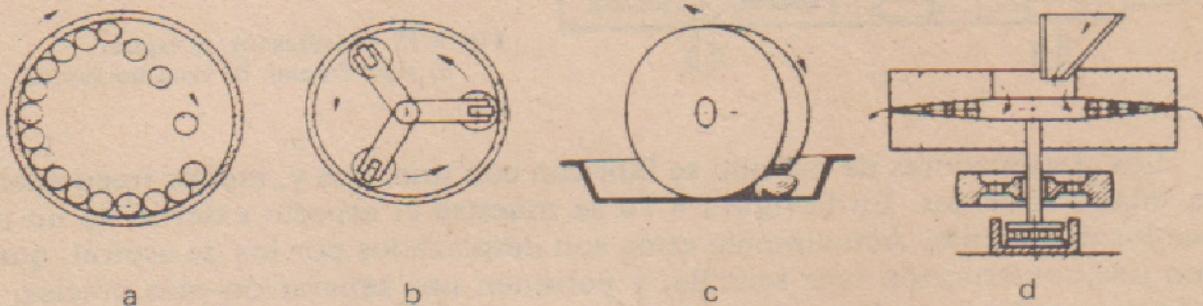


Fig. 4.14 Tipos de molinos: a) de tambora; b) anular; c) de plato; d) de disco

En función de la forma de descarga, los molinos se diferencian en: con descarga central y con descarga lateral a través de un tamiz.

Se llama clasificación al proceso de separación de los granos del mineral por su tamaño. La clasificación puede ser preparatoria y auxiliar. La clasificación preparatoria se usa antes de los procesos de beneficio, mientras que la auxiliar se utiliza antes de la molienda para separar el producto ya preparado. En muchas fábricas de beneficio se emplea la clasificación hidráulica, que se basa en la separación de las partículas minerales por clases, en un flujo ascendente. Como regla, se clasifican materiales con un tamaño de 3-4 mm. En la clasificación hidráulica la separación por tamaño de las partículas se puede realizar también en flujos horizontales e inclinados. En la práctica, las partículas que tienen una velocidad de caída en el líquido, mayor que la velocidad del flujo, descienden al fondo, mientras que las otras son arrastradas por el flujo. Las partículas que sedimentan se denominan sedimento y las que son arrastradas, rebozo.

Las máquinas destinadas a la clasificación hidráulica de los minerales, se conocen como clasificadores. Son de frecuente uso los clasificadores mecánicos que constan de un recipiente, el cual contiene la pulpa, y de un mecanismo para arrastrar los sedimentos. Los clasificadores mecánicos pueden ser espirales, de rastrillo y de plato.

Los clasificadores espirales tienen uno o dos espirales, los cuales pueden estar completamente sumergidos o no. El primero se utiliza para obtener un producto más fino. En la figura 4.15 se muestra un esquema de un clasificador de espiral.

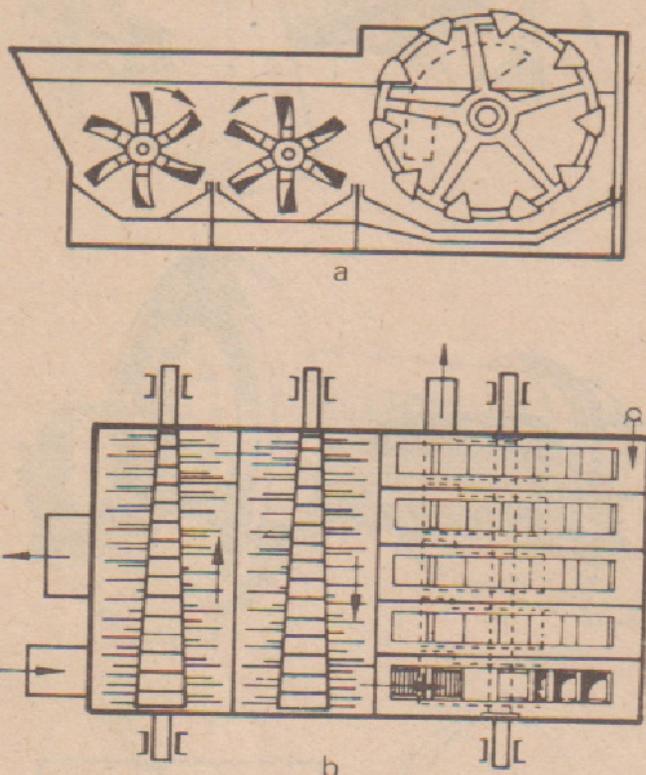


Fig. 4.15 Clasificador de espiral
a) vista frontal; b) vista horizontal

Los clasificadores de rastrillo se fabrican con uno, dos y, menos frecuentemente, cuatro rastrillos. En la figura 4.16 se muestra el aspecto externo de un clasificador de rastrillo. Actualmente estos son desplazados por los de espiral, que tienen una construcción más sencilla, y permiten una separación más precisa; además, son mejores en la explotación, en particular, cuando están en coordinación con grandes molinos.

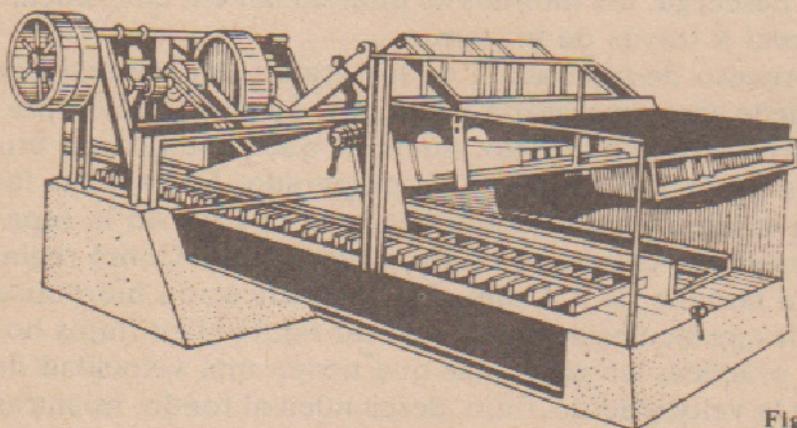


Fig. 4.16 Clasificador de rastrillos

Procesos de beneficio

La separación de los componentes de la masa minera se conoce como beneficio y se lleva a cabo por diferentes métodos. Entre los más difundidos se encuentran los gravimétricos, la flotación, la separación magnética, la selección manual, el lavado, etcétera. Todos estos métodos se basan en las diferencias de las propiedades físicas o fisicoquímicas de los materiales.

Los métodos de beneficio se dividen en diferentes procesos. Por proceso de beneficio se conoce la separación de unos minerales de otros, utilizando de una manera determinada las diferencias de sus propiedades.

Los clasificadores de plato se utilizan para obtener un rebozo muy fino, y en las fábricas de beneficio se usan muy rara vez.

Junto a los clasificadores de espiral, han obtenido una gran difusión para la clasificación de los productos de la molienda, los hidrociclones: aparatos de forma cilindro-cónica, cuyo esquema se muestra en la figura 4.17. La parte inferior tiene forma de cono, mientras que la superior, de cilindro. Este aparato tiene conectado un tubo por el que llega la pulpa bajo presión, desarrollada por una bomba. La pulpa se mueve por la tangente a la superficie interna, y con posterioridad, desciende gradualmente por una trayectoria en forma de espiral; mientras que las partículas se mueven con gran velocidad alrededor del eje del hidrociclón. Las partículas más pesadas son lanzadas por la fuerza centrífuga hacia las paredes del aparato y, moviéndose por una espiral interna, son expulsadas a través del tubo inferior. Las partículas más ligeras salen por el tubo superior. En el hidrociclón se pueden separar partículas con tamaño desde 0,01 hasta 1 mm. Mientras más fino se desee obtener el rebozo, mayor es la presión que es necesario imprimirle a la pulpa. El tamaño de las partículas también se puede regular variando el diámetro de los tubos superior e inferior. Cuando el aparato no trabaja con pulpa, sino con una mezcla de aire con partículas sólidas, se denomina simplemente ciclón.

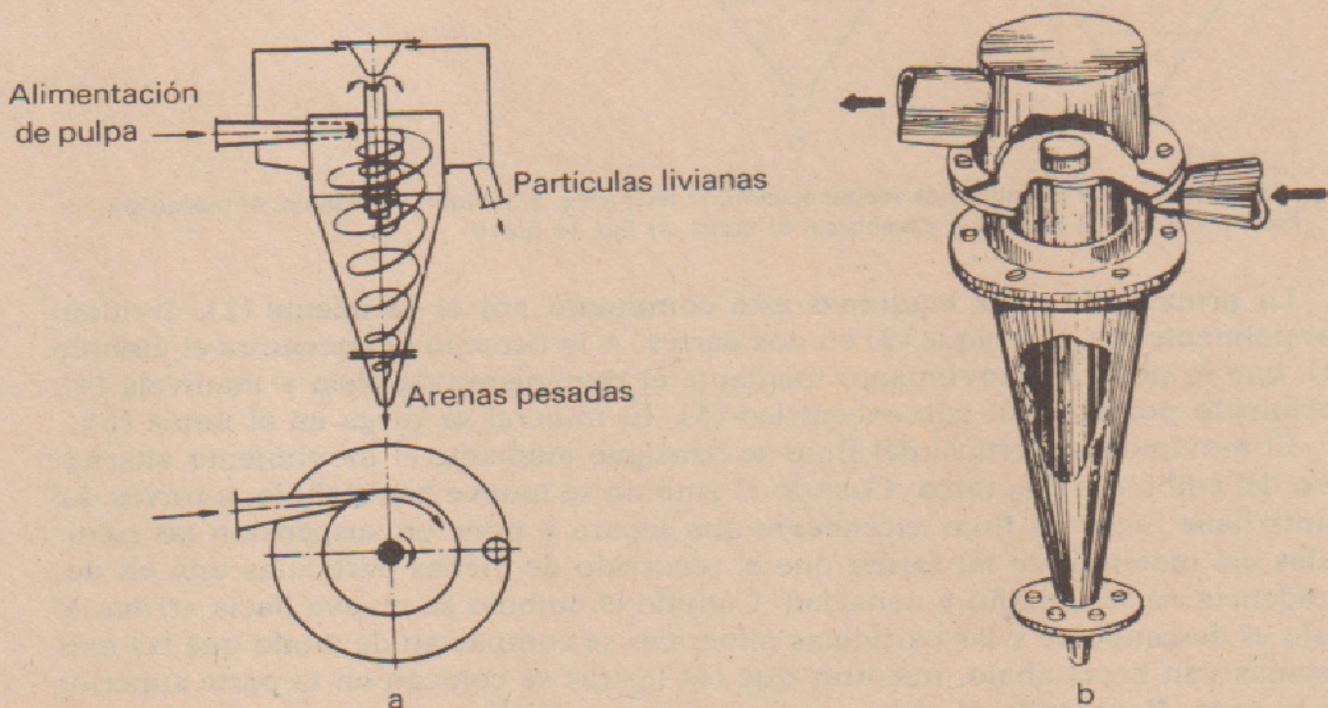


Fig. 4.17 Hidrociclón: a) esquema de trabajo; b) aspecto externo

Métodos gravimétricos

Los métodos gravimétricos se basan en la separación de los minerales por su densidad y se realizan en medios líquidos o gaseosos (aire). A este método pertenece un grupo de procesos, como son la precipitación (sedimentación) diferenciada y el beneficio sobre mesas de concentración, en medios densos y en canales.

La sedimentación se utiliza para el beneficio de minerales con una densidad considerablemente diferente a la del estéril: minerales de hierro, manganeso, cromo y algunos minerales no ferrosos.

El proceso se lleva a cabo en máquinas de sedimentación y la separación ocurre por la acción de un medio líquido (agua) en dirección vertical. En la práctica se han difundido ampliamente dos tipos de máquinas de sedimentación: con tamiz inmóvil y con tamiz móvil (Fig. 4.18).

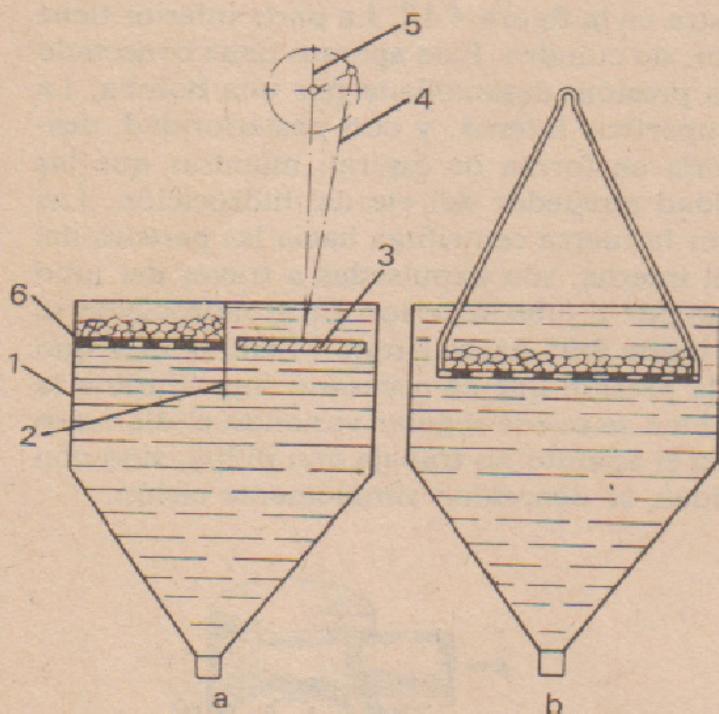


Fig. 4.18 Esquema de máquinas de sedimentación: 1) recipiente; 2) tabique; 3) émbolo; 4) mecanismo de biela-manivela; 5) árbol con excéntrica; 6) tamiz. a) fijo, b) móvil

La primera de estas máquinas está compuesta por el recipiente (1), dividido parcialmente por el tabique (2) en dos partes. A la derecha se encuentra el émbolo (3), que se pone en movimiento mediante el mecanismo de biela y manivela (4), accionado por el árbol con excéntrico (5). El mineral se carga en el tamiz (6).

El movimiento vertical del flujo se consigue mediante el movimiento alternativo del émbolo o diagrama. Cuando el émbolo se mueve hacia abajo, a través del tamiz tiene lugar un flujo ascendente que separa y pone en suspensión las partículas del material, de tal forma que el recorrido de dichas partículas está en dependencia de su tamaño y densidad. Cuando el émbolo se mueve hacia arriba, el flujo es descendente y las partículas minerales se compactan de modo que las más pesadas van hacia abajo, mientras que las ligeras se colocan en la parte superior de la capa. Repitiendo el ciclo continuamente se logra la separación del material en capas de diferente densidad.

Las partículas más pesadas constituyen el concentrado y se descargan a través del tamiz, mientras que las más ligeras constituyen las colas y se descargan por rebozo a través de la parte superior de la máquina.

En las máquinas del segundo tipo, el flujo ascendente y descendente se logra mediante el movimiento alternativo del tamiz cargado de material, y en ella tiene lugar el mismo proceso. Las máquinas con tamiz móvil son menos usadas. Las máquinas de sedimentación son conocidas como de cribado pulsado. También se les llama por su nombre en inglés (*jigs*).

En algunas máquinas de cribado pulsado, en lugar de émbolo, se utiliza aire comprimido, el cual se entrega a presión desde un colector situado sobre la máquina, a través de un distribuidor que provoca el movimiento ascendente y descendente del agua.

En las mesas de concentración se benefician minerales con un tamaño inferior a 3 mm. La separación se lleva a cabo mediante el movimiento alterno del plano de la mesa, en dirección longitudinal, y de un flujo de agua que cae por el plano inclinado de la mesa en dirección transversal. El proceso de trabajo se muestra en el esquema de la figura 4.19.

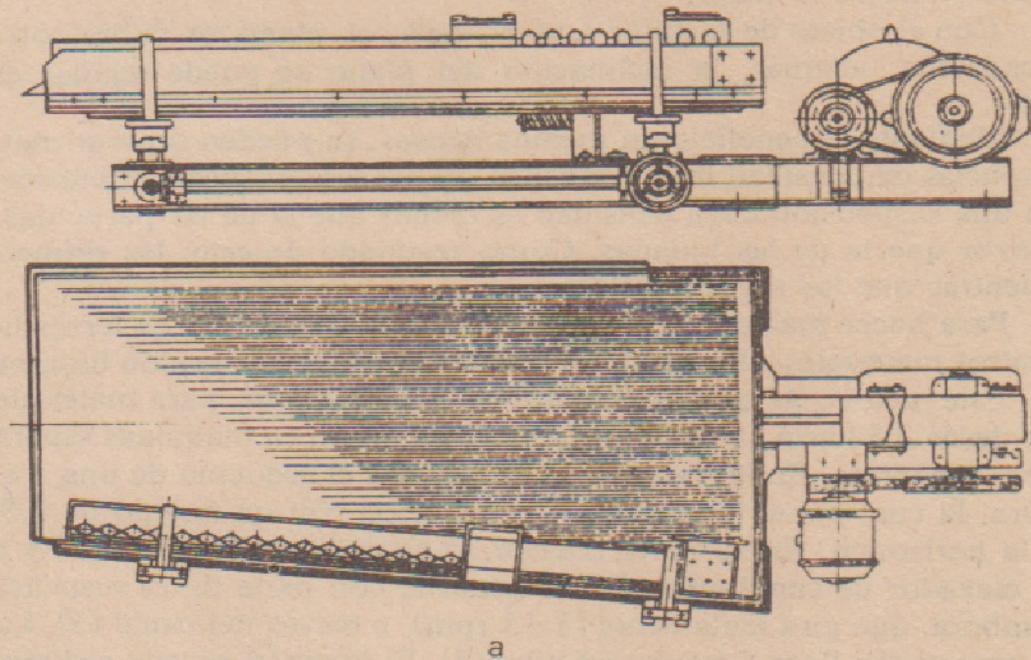


Fig. 4.19 Mesas de concentración (a) y esquema de trabajo (b): L -partículas livianas; P -partículas pesadas; V_p -velocidad de las partículas pesadas; V_L -velocidad de las partículas livianas

La pulpa se alimenta por la parte superior del plano inclinado de la mesa, al que un mecanismo anima con movimiento alterno en dirección longitudinal. Cuando el plano se mueve hacia adelante, junto con él se traslada el material, y cuando va hacia atrás, el material continúa moviéndose hacia adelante a causa de la inercia.

Por otra parte, el flujo de agua arrastra las partículas en dirección transversal. De tal forma, cada partícula se encuentra bajo la acción de las fuerzas de gravedad, inercia, fricción y del flujo de agua, ya que su trayectoria depende principalmente de su peso, tamaño y forma.

Las partículas pesadas *P*, debido a su mayor masa, se mueven a más velocidad en dirección longitudinal, mientras que la velocidad en la dirección transversal, determinada principalmente por el flujo líquido, es menor que en las partículas livianas *L*. La resultante del movimiento de las partículas pesadas tiene lugar en una dirección que permite la salida del material (concentrado) por el extremo longitudinal. Las partículas más livianas tienen menor masa y la acción de las fuerzas de inercia sobre ellas es menor, pues por su poco peso son arrastradas con facilidad por el flujo líquido en dirección transversal, lo que se favorece por la inclinación de la mesa en esa misma dirección. La resultante del movimiento tiene lugar en una dirección que permite la salida de las partículas ligeras (colas) por el extremo transversal de la mesa.

Con el objeto de facilitar este proceso, el plano se cubre con una superficie acanalada; además, la inclinación del plano se puede regular en ciertos límites.

Mediante el beneficio en medios densos, se pueden separar materiales con diferencias de densidad muy pequeñas. El proceso consiste en introducir el material en una suspensión cuya densidad es menor que la de las partículas pesadas, pero mayor que la de las livianas. Como resultado de esto, las primeras se hunden, mientras que las segundas flotan.

Para hacer más denso el medio se utiliza polvo fino de ferrosilicio, magnetita u otros materiales, el cual forma con el agua una suspensión bastante homogénea.

Este método de beneficio se utiliza, generalmente, para materiales de un tamaño desde 2,5 hasta 50-100 mm, y se lleva a cabo en máquinas separadoras de tambora o cónicas. En la figura 4.20 se muestra el esquema de una máquina de tambora, la cual posee la tambora (1) inclinada con un ángulo de 2,5° con respecto a la horizontal. En su parte interior se encuentra el espiral (2), y en su extremo el elevador de cangilones (3). El material con parte de la suspensión, entra a la tambora, que gira lentamente (5-15 rpm), a través del canal (5). La otra parte de la suspensión llega a través del tubo (7). El material pesado sedimenta y lo arrastran las paletas del espiral hasta el elevador de cangilones que lo descarga por el canal (4). Las partículas livianas flotan y se descargan por el orificio (6).

Otro método gravimétrico es el beneficio en canales o en separadores de paletas. En estos aparatos, la separación tiene lugar por la acción de las fuerzas centrífugas y de gravedad sobre el flujo de pulpa. En la figura 4.21 se muestra un separador helicoidal que está formado por el grupo de canales (1). La alimentación se lleva a cabo en forma de pulpa por la parte superior del separador a través de la boquilla (2), mientras que por la boquilla (3) se suministra agua. En cada vuelta del separador se encuentra un orificio para la salida del material pesado (4). Las partículas más ligeras se obtienen por los canales. El material más pesado se obtiene en la primera vuelta y los otros productos de peso intermedio en las vueltas siguientes. El proceso se basa en el carácter diferente del movimiento de las partículas minerales, en suspensión en un flujo líquido, las cuales, en dependencia de

su peso, tamaño y forma, son arrastradas hacia el fondo o se mueven en suspensión en el flujo.

El lavado se utiliza para separar materiales viscosos en los cuales los componentes útiles están cementados con arcilla. En este proceso los materiales no solo se mullen, sino que además, se concentran al expulsar las partículas arcillosas.

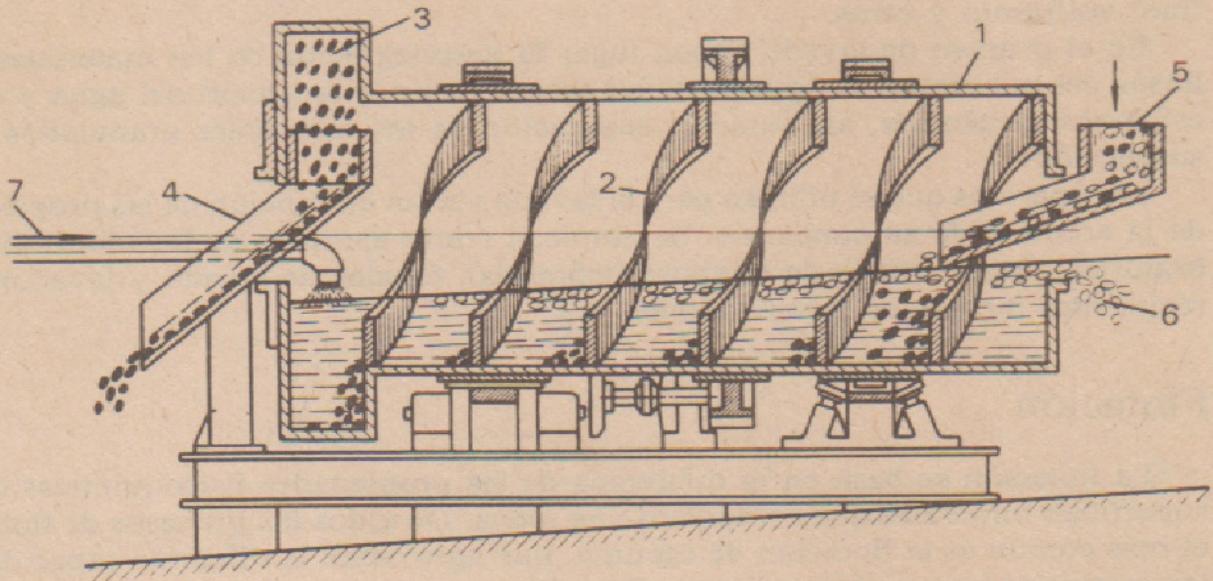


Fig. 4.20 Máquina separadora en medios densos (de tambora): 1) tambora; 2) espiral; 3) elevador de canchales; 4) canal de descarga de partículas pesadas; 5) canal de carga; 6) descarga de partículas livianas; 7) alimentador de suspensión

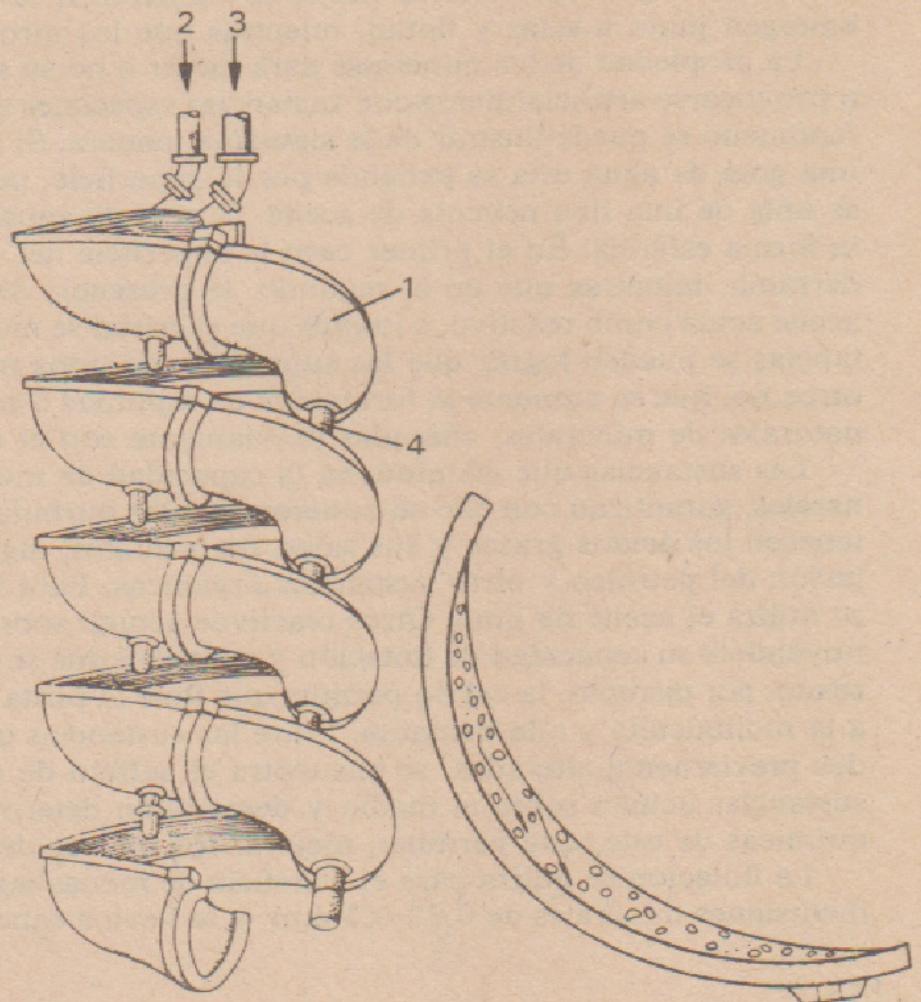


Fig. 4.21 Separador de canales helicoidales: 1) canales; 2) boquilla de pulpa; 3) boquilla de agua; 4) orificio de salida del material

En Cuba se aplica para separar materiales arcillosos de las arenas, los cuales empeoran notablemente sus propiedades y dificultan o imposibilitan su uso en la construcción. Se puede utilizar en el lavado de arena de placeres y, en particular, de arenas auríferas para separar el polvillo y las pepitas metálicas de los materiales menos densos. Se someten a lavado también los cantos de hierro, manganeso, platino, volframio y otros.

En el proceso de lavado tienen lugar la desintegración de los materiales arcillosos del mineral, y su transporte en suspensión por la acción del agua y de los esfuerzos mecánicos, así como la separación de los materiales granulados de la suspensión.

Los aparatos que se utilizan para el lavado varían en función de las propiedades de la arcilla y de su contenido. Se emplean como aparatos de lavado: cribas vibratorias planas, cribas de tambora (trómeles), toneles de lavado y lavadoras de recipientes inclinados y horizontales

Flotación

La flotación se basa en la diferencia de las propiedades fisicoquímicas de las superficies minerales que componen una mena. De todos los procesos de flotación el más común es la flotación de espuma, que aprovecha la diferente capacidad de los minerales para mejorar su superficie. El proceso se lleva a cabo en una cámara con agua en la que se introduce el material, compuesto por distintos minerales, previamente molido y a través de la cual se hace pasar aire. Los granos de aquellos minerales cuya superficie se moja, se adhieren a la superficie de las burbujas, emergen junto a estas y flotan, mientras que los otros quedan en el fondo.

La propiedad de los minerales para mojar o no su superficie puede ser natural, o provocarse artificialmente con sustancias especiales denominadas reactivos. Este fenómeno se puede ilustrar de la siguiente manera: Si sobre un cristal se deja caer una gota de agua esta se extiende por la superficie, pero si previamente el cristal se unta de una fina película de aceite, la gota de agua no se derrama y mantiene la forma esférica. En el primer caso la superficie del cristal se moja y el agua se derrama, mientras que en el segundo, la presencia del aceite no lo permite. El aceite actúa como reactivo, e impide que el cristal se moje. Utilizando distintas sustancias se pueden lograr que las superficies de unos materiales, se mojen y la de otros no, que se aumente la formación de espumas o se restituyan las propiedades naturales de minerales, alteradas previamente con el uso de otros reactivos.

Las sustancias que disminuyen la capacidad de mojarse de las superficies minerales, garantizan con ello su adherencia a las burbujas de aire. A este grupo pertenecen los ácidos grasos y sus sales, los xantatos, algunos derivados de la destilación del petróleo y otras sustancias orgánicas. Para formar una espuma estable se utiliza el aceite de pino. Otros reactivos actúan sobre algunos minerales disminuyéndole su capacidad de flotación y permiten que se obtenga solo el mineral deseado; por ejemplo: la cal no permite que flote la pirita y el almidón no deja flotar a la molibdenita y a la hematita. Entre las sustancias que restituyen las propiedades previamente alteradas, se encuentra el sulfato de cobre. Por último, algunas sustancias actúan sobre el medio y desarrollan determinadas propiedades fisicoquímicas de este, que permiten mejorar los índices de flotación.

La flotación se utiliza para el beneficio de menas no ferrosas, pulverizadas con inclusiones minerales de 0,02-0,2 mm, y se lleva a cabo en aparatos especiales de-

nominados máquinas de flotación, que pueden ser mecánicas, neumáticas o combinadas.

Las máquinas mecánicas están ampliamente difundidas y una de sus construcciones se muestra en la figura 4.22. El cuerpo (1) de la máquina constituye un recipiente dividido en varias celdas mediante tabiques transversales (2). Dentro de cada celda se encuentra el árbol (3), que rota mediante un motor eléctrico unido a través de una transmisión de correa y polea (4). El árbol vertical se encuentra dentro del tubo (5) y tiene montado en su parte inferior un rodete (6) con paletas radiales. Sobre el rodete está montado el estator inmóvil, formado por el disco (7) y las paletas (8). Por el contorno del disco hay orificios que pueden cerrarse con tapones; sobre el estator se sitúa el casquete (9), ambos, juntos, forman el aereador. El aire se aspira por el rodete a través del tubo de aire. La pulpa es suministrada desde el alimentador (10), aspirada por el rodete a través del tubo e impulsada a la cámara (celda). La espuma de la máquina se extrae por rastrillos al canal del concentrado. En las siguientes cámaras pasa a través de entradas especiales. El rebozo de celda a celda se regula con la esclusa pulsante (11), y la presión de la pulpa en ella se regula con un contrapeso.

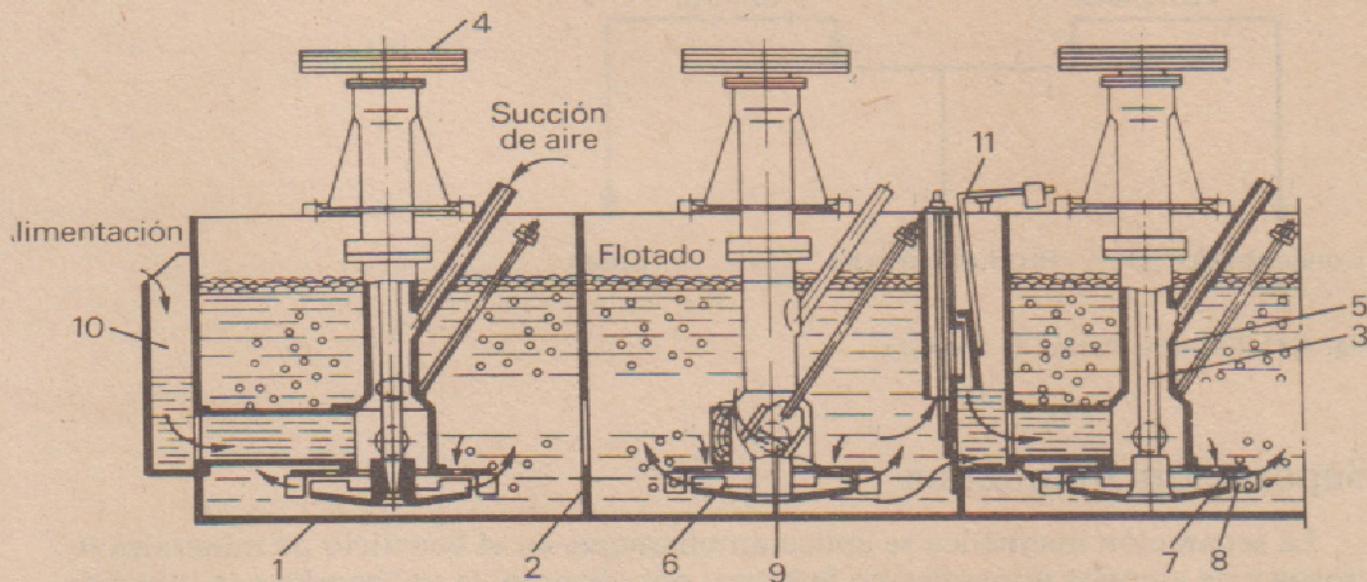


Fig. 4.22 Máquina de flotación: 1) cuerpo; 2) tabique; 3) árbol; 4) poleas; 5) tubo; 6) rodete; 7) disco; 8) paletas; 9) casquete; 10) alimentador; 11) esclusa pulsante

La flotación con extracción de concentrado de varios minerales se denomina colectiva, mientras que la extracción consecutiva de los minerales se denomina selectiva. En la flotación colectiva selectiva, al principio se extrae un concentrado de varios minerales y a continuación este concentrado se somete a selección.

En la práctica de beneficio de minerales se utilizan diferentes esquemas tecnológicos de flotación, cuya elección depende, entre otras cosas, de las características del mineral. En la figura 4.23 se muestra un esquema básico de flotación. Después de la preparación previa (molienda, tratamiento con reactivos, etc.), el mineral se somete a la flotación principal. Como quiera que el concentrado se encuentra contaminado con partículas extrañas, se somete a una flotación de limpieza, cuyo resultado ofrece el concentrado final y un semiproducto. Las colas después de la flo-

tación principal contienen parte del mineral valioso, y por esta causa se somete a una flotación de control que ofrece un semiproducto y las colas finales. El semiproducto que se obtiene en este proceso se trata posteriormente de diferentes formas.

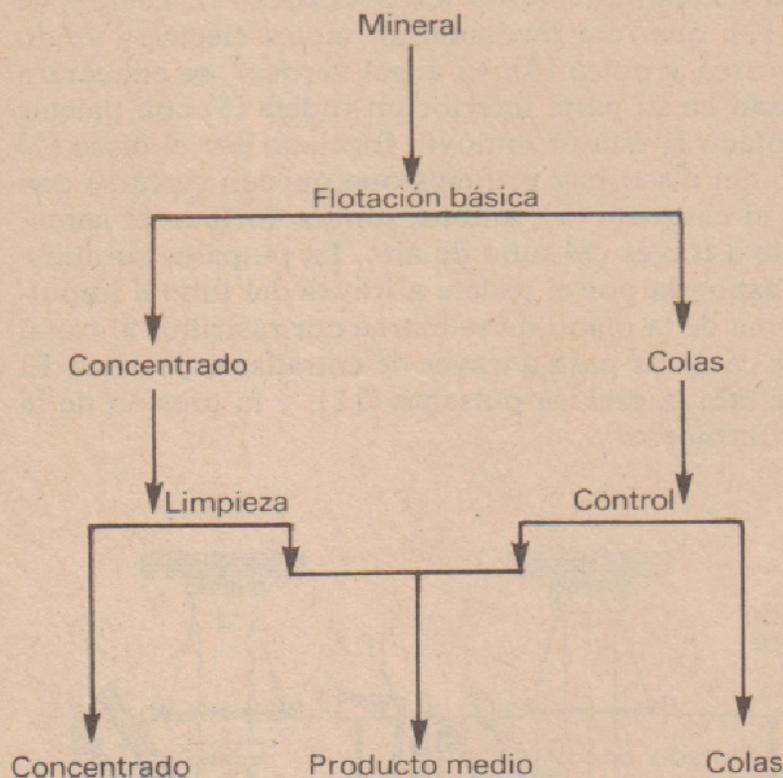


Fig. 4.23 Esquema básico de flotación

Separación magnética

La separación magnética se aplica ampliamente en el beneficio de minerales ferrosos y de algunos minerales no ferrosos; por ejemplo, la volframita y la ilmenita: minerales de wolframio y titanio, respectivamente. Este proceso se lleva a cabo en aparatos especiales denominados separadores.

Para la mejor comprensión del proceso son indispensables algunas nociones sobre electromagnetismo que exponemos a continuación. Si en un campo magnético se introduce, perpendicular a su dirección, un conductor lineal de longitud l , y se hace pasar una corriente por él de magnitud I , entonces sobre el conductor actúa la fuerza F dirigida perpendicularmente a la inducción magnética B y a la dirección de la corriente I . La magnitud de esta fuerza depende de la intensidad de la corriente y de la longitud del conductor. Sin embargo, para igual intensidad e igual longitud del conductor, esta fuerza tiene diferentes valores en distintos campos magnéticos, lo cual implica que depende también de las propiedades de estos últimos (fig. 4.24).

El campo magnético se distingue por una magnitud vectorial denominada inducción magnética, la cual caracteriza tanto la intensidad como la dirección del campo magnético en un punto dado.

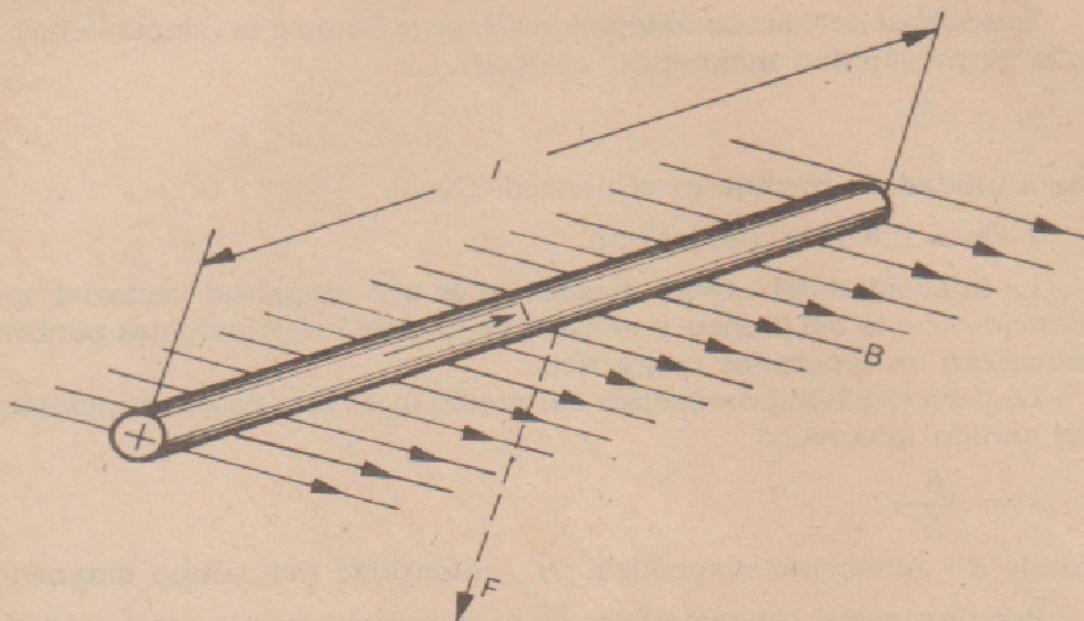


Fig. 4.24 Conductor en un campo magnético

La fuerza F que actúa sobre el conductor se determina por la siguiente expresión:

$$F = I l B, \text{ N};$$

donde I - intensidad de la corriente, A; l - longitud del conductor, m; B - inducción magnética, weber, (Wb);

por lo tanto, la inducción magnética sería:

$$B = \frac{F}{Il}$$

Como quiera que: $1 \text{ N} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ m}}$, y $1 \text{ J} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ s} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A} \times 1 \text{ s}$;

donde N- newton; m- metros; J- joule; V- volt; W- watt; A- ampere.

Las dimensiones de la inducción serán:

$$\frac{\text{N}}{\text{A} \times \text{m}} = \frac{\text{J}}{\text{A} \times \text{m}^2} = \frac{\text{V} \times \text{A} \times \text{s}}{\text{A} \times \text{m}^2} = \frac{\text{V} \times \text{s}}{\text{m}^2}$$

El producto $\text{V} \times \text{s}$, es la unidad del flujo magnético y se denomina weber, de tal forma la inducción magnética se mide:

$$B = \frac{\text{Wb}}{\text{m}^2}$$

Como quiera que el weber es una unidad de medida muy grande y en la práctica la inducción magnética suele ser más pequeña, se sustituye por una unidad que corresponde a un valor menor del flujo magnético y se denomina Gauss (Gs).

$$1 \text{ Gs} \doteq 10^{-4} \text{ weber/m}^2$$

Intensidad del campo magnético (H) se le llama a la relación entre la inducción y la permeabilidad magnética, es decir:

$$H = \frac{b}{\mu},$$

cuya unidad de medida es el oersted: Oe

$$1 \text{ Oe} = 0,8 \text{ A} \times \text{vueltas/cm}$$

La intensidad del campo magnético es una magnitud vectorial, cuya dirección coincide con la del campo y constituye uno de los principales parámetros que caracterizan un separador magnético.

La permeabilidad magnética del medio μ , es uno de los principales parámetros del campo magnético.

$$\mu = \frac{B}{H},$$

donde B - inducción magnética; H - intensidad del campo magnético.

Por otra parte, los materiales se caracterizan por la receptividad volumétrica que constituye la razón entre la intensidad J de imantación de un cuerpo y la intensidad del campo magnético H , de tal forma:

$$\gamma = \frac{J}{H}.$$

Por sus propiedades magnéticas, los cuerpos pueden ser paramagnéticos y diamagnéticos, en los primeros la permeabilidad magnética μ es superior a la unidad, mientras que en los segundos, es inferior: los minerales paramagnéticos pueden ser magnetofuertes (ferromagnéticos) y magnetodébiles, los cuales son atraídos por el imán; mientras que los minerales diamagnéticos no lo son. Las propiedades magnéticas de los minerales se caracterizan frecuentemente por la receptividad magnética específica χ , dada por la razón entre la receptividad volumétrica y la densidad del mineral, es decir:

$$\chi = \frac{\gamma}{\rho}, \text{ cm}^3/\text{g};$$

donde χ - receptividad volumétrica; ρ - densidad.

Los minerales magnéticos fuertes (magnetita, titano-magnetita, pirrotin) tienen receptividad magnética específica mayor de $3\,000 \times 10^{-6}$, mientras que los débiles (volframita, ilmenita, hematita y otros), menos de $1\,000 \times 10^{-6}$. Los no magnéticos (cuarzo, calcita, calcopirita), alcanzan valores entre 26×10^{-6} hasta $300 \times 10^{-6} \text{ cm}^3/\text{g}$. A la separación magnética se someten tanto los minerales magnéticos fuertes y débiles, como los no magnéticos.

En principio, la separación magnética de los minerales se lleva a cabo de la siguiente manera: los materiales previamente triturados y molidos se introducen en un campo magnético no homogéneo creado por imanes. Los minerales con mayor receptividad magnética específica se imantan y son atraídos por el imán, mientras que los no magnéticos pasan libremente entre los polos del imán. De tal forma se separan los materiales magnéticos de los no magnéticos. Para beneficiar minerales fuertemente magnéticos, la intensidad del campo deben ser de no menos de 900-1 500 Oe, y para los magnetos débiles, de 7 000 hasta 20 000.

Los separadores magnéticos pueden ser imanes electromagnéticos o permanentes. Los imanes permanentes se fabrican con aleaciones especiales de ferróniquel y cobalto, se imantan con corriente eléctrica directa. Los separadores más difun-

didos en el proceso de beneficio húmedo de minerales magnetofuertes, son los de tambora. En la figura 4.25 se muestra la construcción de uno de estos aparatos con imán permanente y consta de: la caja de carga (1), la tambora (2), el recipiente (13), los soportes (10), el canal de descarga del concentrado (7) y el dispositivo de descarga de colas (12). La parte inferior de la tambora se sumerge en el recipiente. La tambora magnética se fabrica con chapas de acero no magnético; la porción externa de la tambora se cubre con una capa de goma para evitar el desgaste y para proteger la superficie interna de la humedad. En el árbol inmóvil (15) se fija el sistema magnético de tres polos compuesto por el núcleo (3) y los bloques magnéticos (4). El sistema magnético está inclinado con respecto a la vertical. La rotación de la tambora se lleva a cabo por un motor eléctrico, a través de una transmisión de cadena y un reductor. El material en forma de pulpa llega a la caja de carga (1), de donde pasa a la canal alimentadora (14) y, posteriormente, por gravedad, al espacio entre la canal y la tambora. Por la acción del campo magnético formado por el imán, las partículas magnetofuertes se atraen a la superficie de la tambora. Después que salen de la zona del campo magnético, estas partículas se desprenden y caen en la canal (6), de donde pasan al conducto de descarga (7). Para separar mejor las partículas de la superficie de la tambora, se coloca un dispositivo de lavado.

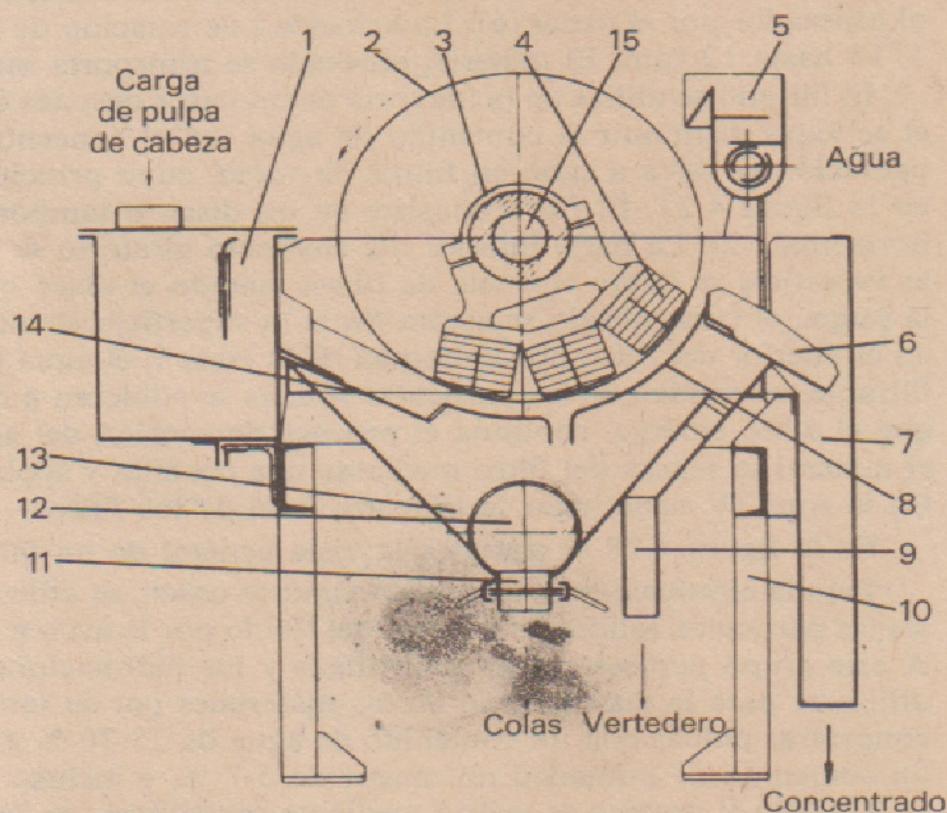


Fig. 4.25 Esquema de un separador magnético: 1) caja de carga; 2) tambora; 3) núcleo; 4) bloques magnéticos; 5) dispositivo de lavado; 6) canal; 7) conducto de descarga; 8) pared separadora; 9) conductor de rebozo de colas; 10) soportes; 11) descarga de colas; 12) dispositivo de descarga; 13) recipiente; 14) canal alimentador; 15) árbol

Para una mejor separación se suelen instalar esquemas de múltiples etapas, en los cuales el material pasa consecutivamente por diferentes etapas y el concentrado se obtiene solo en la última. Además de los separadores de tambora se utilizan también, aunque menos frecuentemente, los de banda.

Otros procesos

Espesamiento, filtrado y secado

Los concentrados que se obtienen mediante procesos húmedos de beneficio, contienen gran cantidad de agua, que debe eliminarse, en mayor o menor medida, para facilitar el transporte o la elaboración posterior.

El agua se elimina del concentrado mediante los procesos de: espesamiento, filtrado y secado. El agua que se obtiene, como regla, regresa al proceso de beneficio como agua de recirculación.

El espesamiento se realiza en espesadores que son capaces de eliminar del concentrado y las colas, hasta el 50-60 % del agua que contienen. En este proceso las partículas sólidas sedimentan y en la parte superior se forma una capa de agua limpia. Los aparatos más difundidos para el espesamiento de pulpa son los espesadores de acción continua, que pueden ser con accionamiento central o periférico. En la figura 4.26 se muestra uno de estos espesadores con accionamiento periférico, que consta del tanque (1) y la armazón (2) con los rastrillos (4). La armazón se apoya en la columna central (3) y en el monorriel situado en el perímetro externo del tanque. La armazón se mueve mediante el accionamiento (5). La pulpa penetra al espesador por el canal (6). La velocidad de rotación de la armazón varía desde 1/15 hasta 12 rpm. El material espesado se transporta mediante las bombas (7).

El filtrado se utiliza en la mayoría de los casos después del espesamiento, y con él se logra disminuir el contenido de agua en el concentrado hasta 8-10 %. La operación se lleva a cabo en filtros de vacío, cuyo principio de acción se ilustra en la figura 4.27. El filtro consiste en un disco o tambora que gira en el árbol horizontal (2). La parte inferior del elemento giratorio se sumerge en la pulpa y la superficie se cubre con tela de filtro; cuando el disco o la tambora pasan por la pulpa, el concentrado se aspira hacia la superficie, debido al vacío que se crea en el interior del filtro por la bomba de la zona I; el agua pasa a través de la tela filtrante, mientras que las partículas sólidas se adhieren a la superficie. A medida que el disco emerge, continúa el proceso de succión del agua y, posteriormente, el mineral se separa del filtro mediante una cuchilla y soplando aire comprimido. En la zona IV tiene lugar la limpieza final de los filtros.

En la figura 4.28 se muestra la vista general de un filtro de vacío de discos.

Para la eliminación del agua, en algunos casos, se utilizan aparatos en los cuales las partículas sólidas se separan del fluido por la acción de la fuerza centrífuga. A este grupo pertenecen las centrifugas y los hidrociclones, que también suelen utilizarse para la clasificación de los materiales por su tamaño. En ellos se logra concentrar pulpas con un contenido de agua de 25-70 % y obtener productos con un contenido de humedad no mayor de 5-7 %, e incluso menos.

Cuando el proceso se realiza mediante centrifugas, se denomina centrifugación. La centrifuga simple está formada por un rotor cilíndrico vertical con paredes laterales perforadas o no perforadas. El rotor se fija a un árbol vertical que se hace girar mediante un electromotor y que se sitúa en una cubierta coaxial inmóvil (Fig. 4.29).

El secado constituye la última etapa de deshumificación y en ella la humedad se elimina mediante evaporación. El proceso se lleva a cabo en secadores, que pueden ser de tamboras, soleras, etc. Los secadores de tambora (Fig. 4.30) constan de una tambora cilíndrica (1), inclinada en la dirección del movimiento del material, que se apoya y gira sobre llantas (2) apoyadas en los rolletes (3). La tambora se pone en movimiento mediante el accionamiento (4). El material llega a la tambora

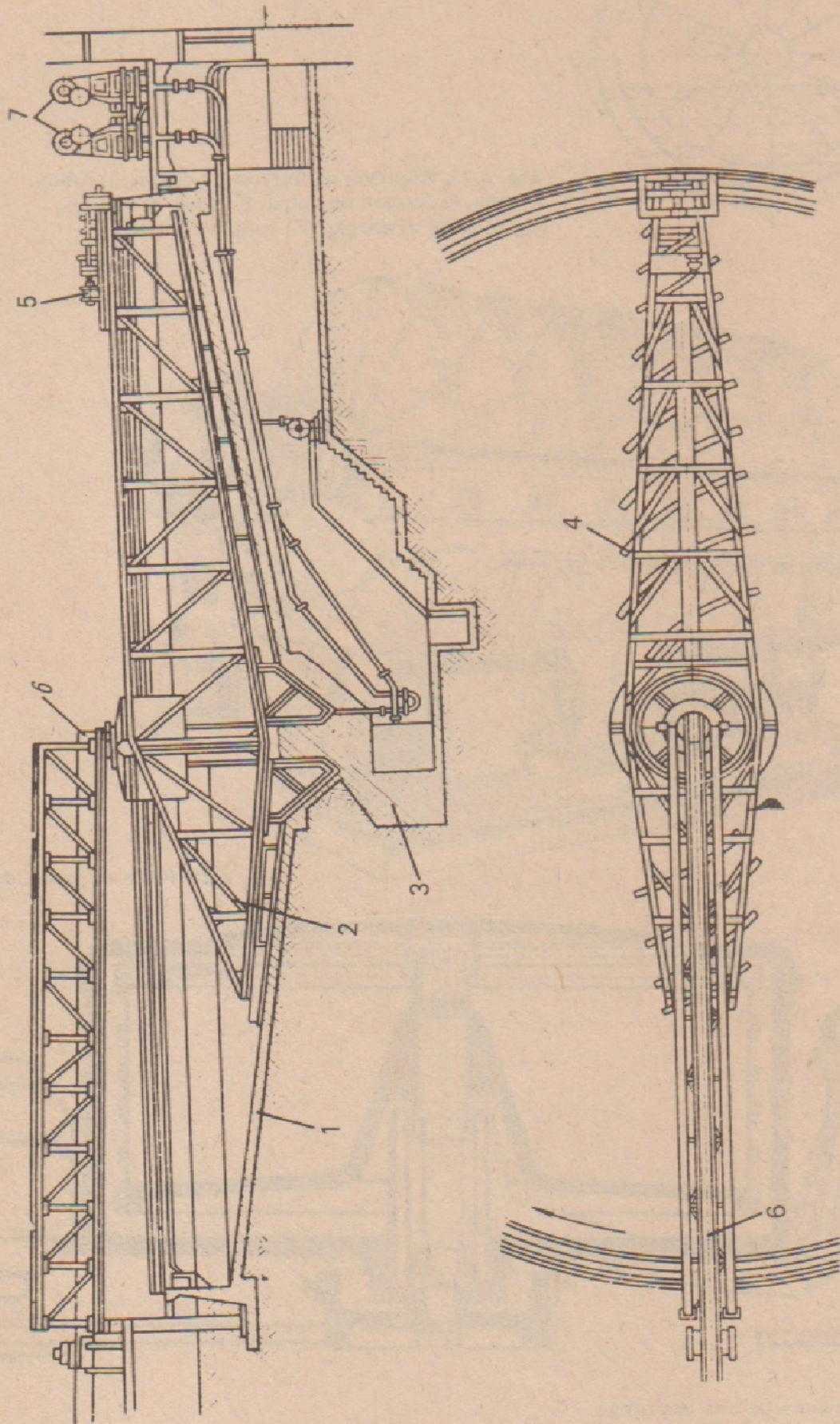


Fig. 4.26 Espesador con accionamiento periférico: 1) tanque; 2) armazón; 3) columna central; 4) rastrillos; 5) accionamiento; 6) canal alimentador; 7) bombas para el material espesado

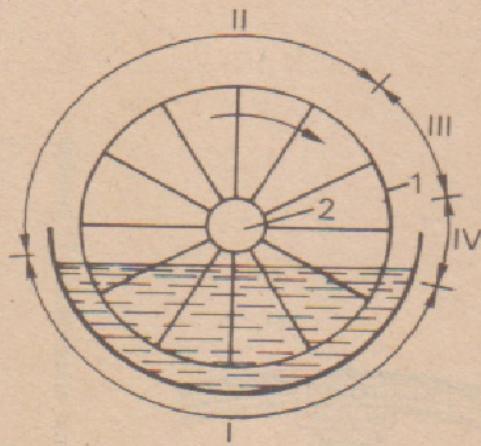


Fig. 4.27 Esquema de filtrado: 1) discos, 2) árbol;
 I) zona de succión de pulpa; II) zona de filtrado;
 III) zona de descarga; IV) zona de limpieza

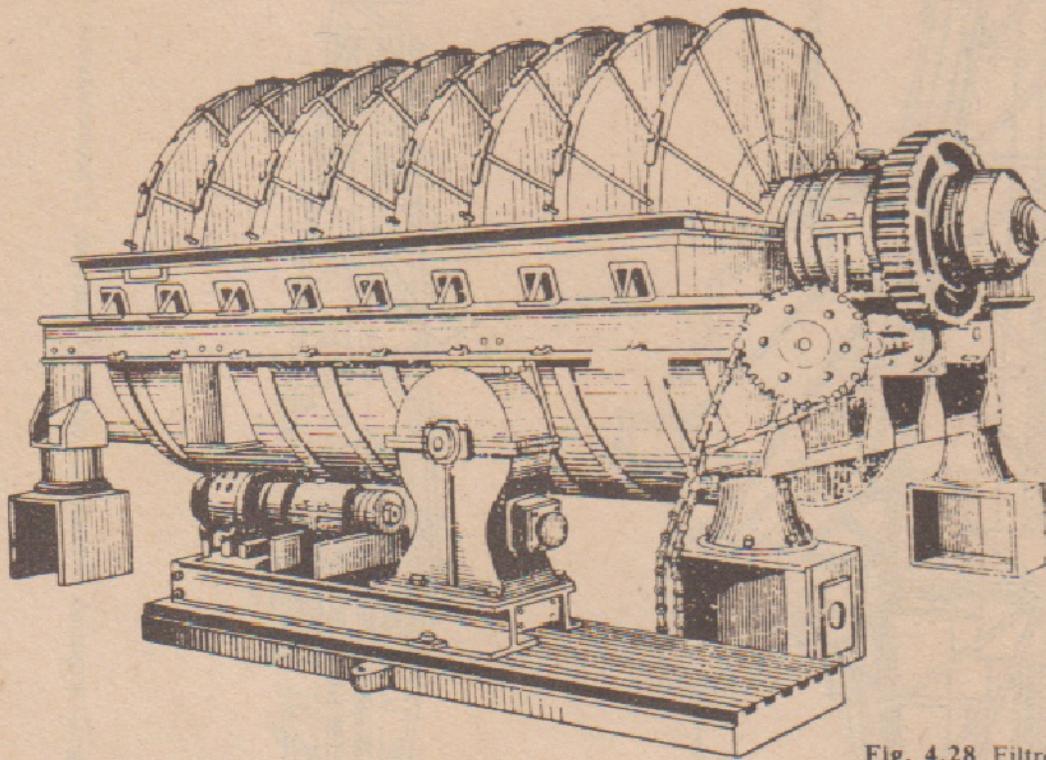


Fig. 4.28 Filtro de vacío, de discos

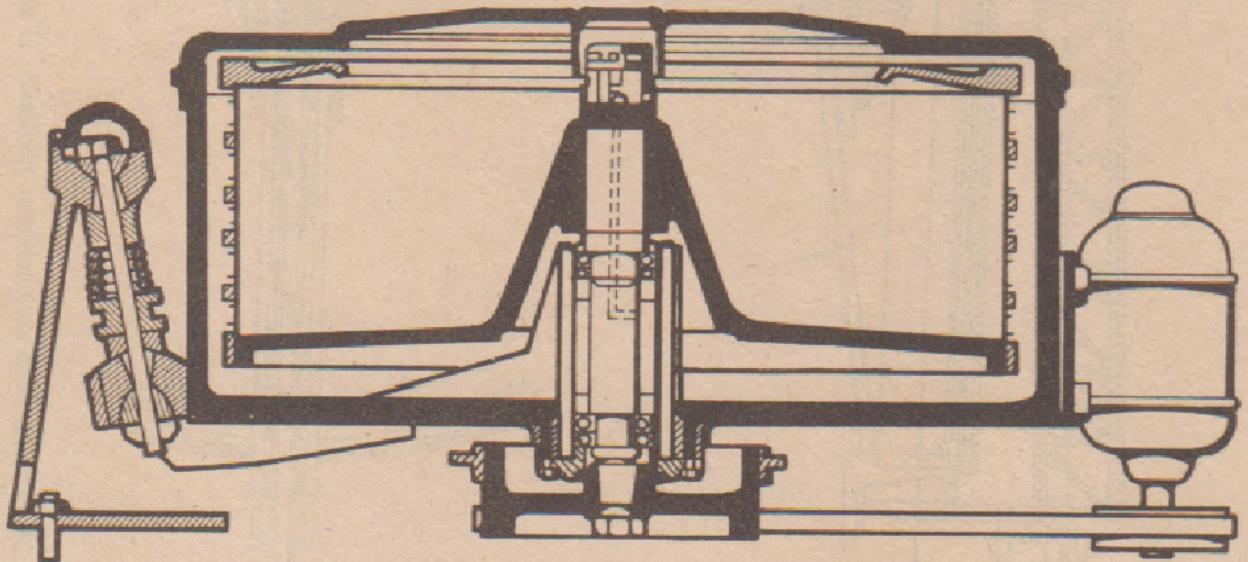


Fig. 4.29 Esquema de una centrifuga

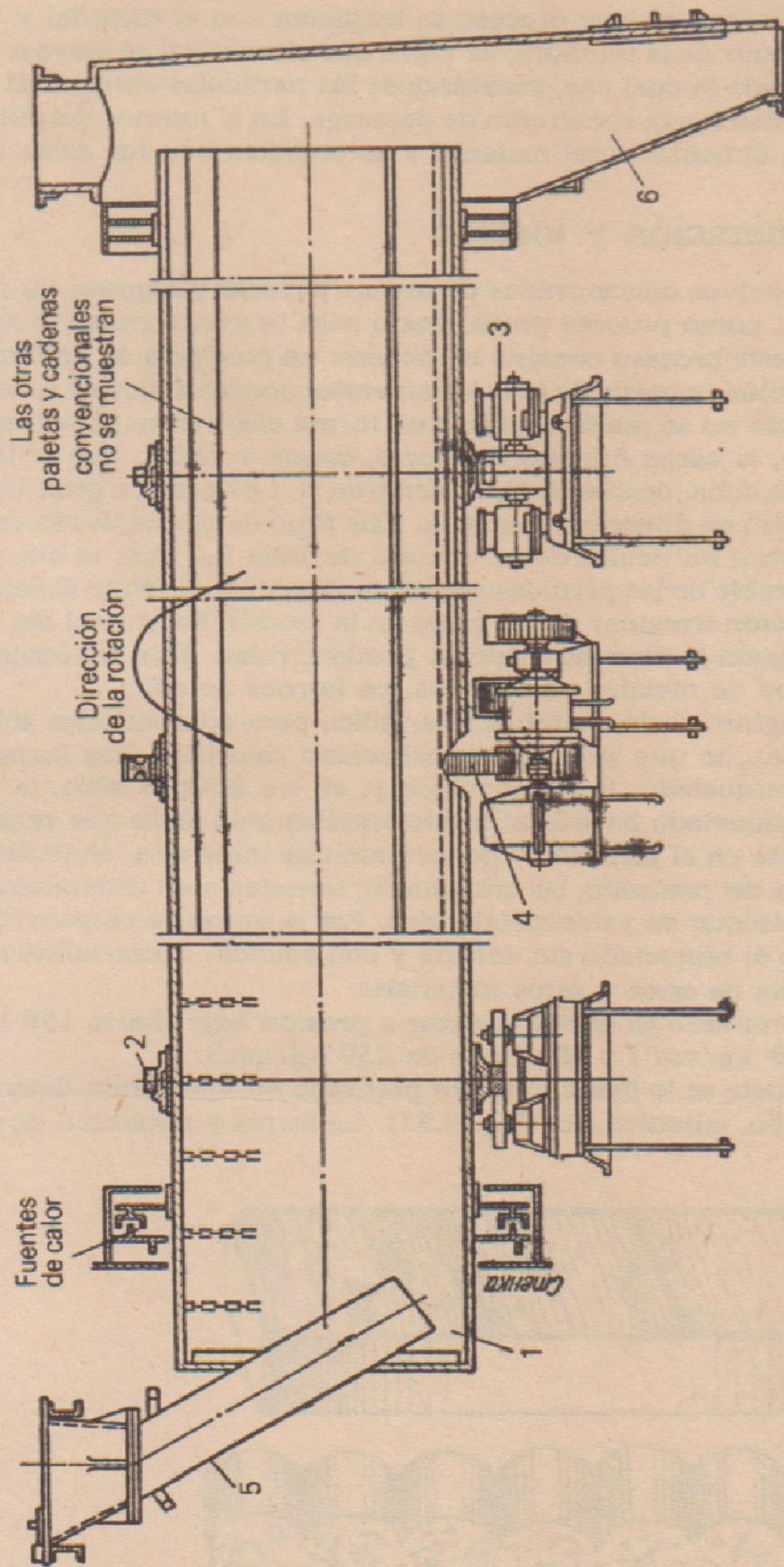


Fig. 4.30 Secador de tambora: 1) tambora; 2) llantas; 3) rolletes; 4) accionamiento; 5) canal; 6) frente de descarga

por la canal (5) y se mueve hacia el frente de descarga (6). En el extremo de carga hay un hogar donde se quema el combustible (petróleo o gas). Los gases calientes que se forman en este proceso se trasladan con el material y lo secan. Debido al movimiento de la tambora, se logra que el material se eleve a una altura determinada, desde la cual cae, separándose las partículas entre sí, al mismo tiempo que se trasladan hacia el extremo de descarga. En el interior del cilindro hay espas que facilitan el traslado del material y su contacto con los gases calientes.

Aglomeración y tostado

Los polvos concentrados de menas ferrosas y algunas no ferrosas deben aglomerarse, como proceso preparatorio para la transformación metalúrgica. El objetivo de este proceso consiste en obtener un producto de un tamaño adecuado para la fundición, a partir de polvos minerales concentrados de grano muy fino, que en ese estado no se pueden utilizar en forma efectiva en el proceso metalúrgico. Por ejemplo, la carga mineral de hierro, coque y caliza, que se introduce en un alto horno de cuba, desciende lentamente en él. Los gases, a gran velocidad (6-10 m/s), se mueven en dirección contraria. Este flujo tiene una fuerza de sustentación capaz de arrastrar partículas de un tamaño de hasta 5-6 mm, lo que provoca el aumento considerable de las pérdidas en forma de polvo, dificulta el soplado y provoca una distribución irregular de los gases en la sección horizontal del horno, empeorando la fundición y disminuyendo la productividad. Este fenómeno se observa en la fundición de metales no ferrosos, en hornos de cuba.

La aglomeración también se utiliza para combustibles sólidos: el carbón, la turba, etc., lo que aumenta su capacidad calorífica. Las formas de aglomeración son el briquetado, la sinterización y, en los últimos años, la modulación.

El briquetado ha sido utilizado ampliamente antes que surgiera la sinterización, y consiste en el prensado y concentrado de minerales, en pedazos de igual tamaño. Después del prensado, las briquetas se someten a un tratamiento térmico y químico para aumentar su valor metalúrgico. Por la forma de preparación de la carga, se diferencia el briquetado sin adición y con adición. Como aditivos se utilizan la brea, la sémola de arroz y otros materiales.

El prensado se puede realizar a presión baja (hasta 150 kg/cm^2), media (de $150\text{-}200 \text{ kg/cm}^2$) y alta (más de 250 kg/cm^2).

Briqueta se le llama al polvo prensado en una forma determinada: prisma, esfera, cubo, cilindro, etc. (Fig. 4.31). La forma y magnitud de estas depende de su destino.

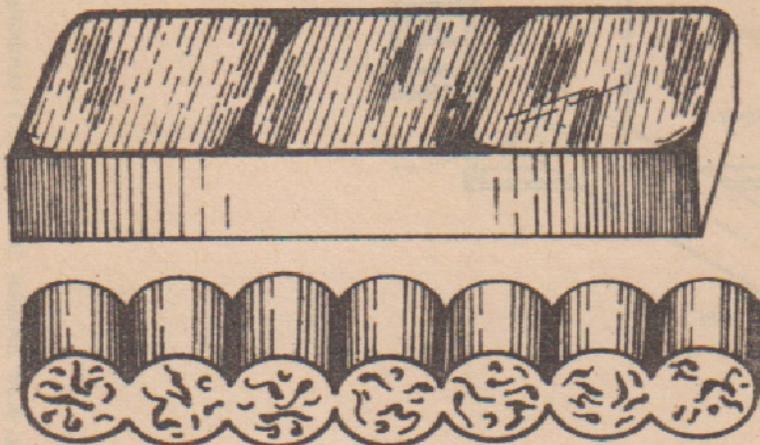


Fig. 4.31 Briquetas

Actualmente, para la aglomeración se utiliza la sinterización. El aglomerado se obtiene en máquinas de bandas. Estas constan de una serie de carros de aglutinación (aglomeración) con emparrillado (Fig. 4.32). En la parte superior de la máquina los carros pasan sobre una cámara unida con extractores especiales para crear el vacío en esa zona y bajo el emparrillado. El carro se mueve mediante el accionamiento de la máquina.

En la sinterización de concentrados de hierro, el material se mezcla con el combustible y la caliza, en mezcladores especiales, en los cuales se introduce también el rechazo, o sea, el aglomerado con un tamaño inferior a 6 mm. El rechazo mejora la conductibilidad de los gases y en la carga aumenta la productividad de la instalación. Después de una mezcla cuidadosa, la carga se traslada en transportadores de bandas a una tolva especial, desde la cual los alimentadores la entregan a la máquina de sinterización.

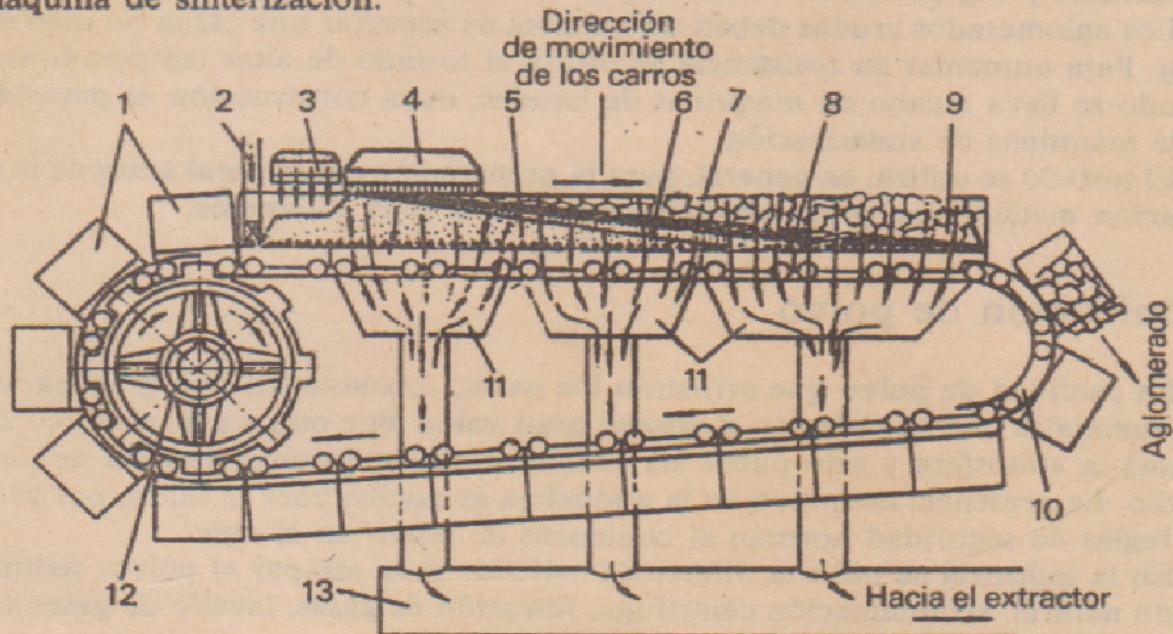


Fig. 4.32 Máquina de aglomeración: 1) carretillas; 2) colador de capa; 3) colador de carga; 4) horno de encendido; 5) capa de la cama; 6) carga seca; 7) zona de calentamiento; 8) zona de combustión del combustible sólido; 9) zonas del aglomerado preparado; 10) rieles guías; 11) cámara de vacío; 12) engrane motor; 13) colector de gas

Al principio del emparrillado del carro, se coloca una cama con aglomerado de 6-15 m. La cama evita el esparcimiento de la carga y protege las parrillas de la reacción de las altas temperaturas. Sobre la cama se coloca la carga en forma de capa, cuya altura varía entre 180 y 400 mm. El extractor crea un vacío debajo del emparrillado y la aglomeración comienza con el encendido de la carga bajo el crisol. La combustión produce gases con una temperatura de 1 200 a 1 400 °C, las cuales, por la acción del vacío, atraviesan la capa de la carga. A medida que se mueve el carro, la zona de combustión se desplaza hacia abajo. A los 12-20 min, la zona de combustión atraviesa la capa de la carga y alcanza la cama. La velocidad del carro se elige de tal forma que en este momento se vuelque y descargue el aglomerado de la máquina. Después de esto se enfría, se pasa a las tolvas y de allí a los medios de transporte.

La obtención de aglomerados de concentrados muy finos, disminuye la productividad de las máquinas de aglomeración, debido a que se disminuye la penetrabilidad de los gases.

En los últimos años se ha extendido el proceso de aglomeración de nódulos de hierro, cuya materia prima es el concentrado de minerales de este metal. Los nódulos se obtienen en dos operaciones consecutivas: la obtención de nódulos crudos con diámetro de 22-25 mm y su tostación.

Los nódulos crudos se obtienen en tamboras a las cuales se llevan el concentrado húmedo, cal y bentonita. La bentonita es un material cementante que aumenta la resistencia de los nódulos y constituye el 0,5-1 % de la carga.

Los aglomeradores de recipiente constituyen un disco inclinado, con un diámetro de 5,5 m, que gira con una velocidad de 1,5-15 rpm. La carga en movimiento se aglomera; estos aglomerados se desplazan a la periferia a medida que aumentan su tamaño, y seguidamente se descargan en una canal especial.

Los aglomerados crudos deben ser capaces de soportar una carga no menor de 5 kg. Para aumentar su resistencia se utiliza el tostado de altas temperaturas. El tostado se lleva a cabo en máquinas de bandas, cuya construcción es parecida a la de máquinas de sinterización.

El tostado se utiliza, en general, para la preparación del mineral antes de la elaboración metalúrgica, y sus objetivos pueden ser muy diferentes.

Eliminación de polvo

La cantidad de polvo que arrastran los gases, constituyen una gran parte de los materiales que se elaboran y poseen gran valor. Por otra parte, el polvo contamina la atmósfera y esto puede ser peligroso desde el punto de vista de un incendio. La presencia del polvo en la atmósfera es nociva para la salud, por lo que las reglas de seguridad norman el contenido de polvo en el aire.

En la industria se utilizan diferentes métodos para atrapar el polvo: sedimentación natural, sedimentación centrifuga, filtración de gases, lavado de gases y sedimentación electrostática.

La sedimentación natural se usa para separar de los gases partículas relativamente grandes, como método de sedimentación previa, y en muy raros casos es capaz de garantizar una eliminación de polvo completa.

Para la sedimentación por la acción de la fuerza centrifuga, se utilizan principalmente los ciclones, en los cuales se fuerza a rotar el flujo gaseoso en un aparato cilíndrico vertical y alrededor de un tubo expulsor central. La rotación se logra mediante la entrada tangencial del gas a gran velocidad, 12-40 m/s. Las partículas de polvo se mueven, alcanzan la pared externa y deslizándose por ella caen en la tolva, que constituye el extremo inferior del cilindro. El gas descontaminado se eleva por el tubo central. En el filtrado, el polvo se separa, dejando pasar el gas contaminado a través de un tabique filtrante. Como elementos filtrantes se utilizan telas de algodón absorbentes, arena, rocas porosas, planchas de cerámicas y tubos, etcétera.

La separación electrostática se basa en que las partículas de polvo, al caer en un medio ionizado que se encuentra entre los electrodos de un campo eléctrico de dirección constante, se cargan y, por la acción del campo eléctrico, son enviadas a uno de los electrodos, el cual, como regla, se aterra (une a tierra) y sedimenta.

Para separar el polvo se utilizan electrofiltros, en los cuales el gas contaminado se deja pasar por un campo eléctrico de alta tensión, formados por dos electrodos. Uno de ellos, el positivo, está unido a tierra y el otro, el negativo, se une al polo negativo de un generador de corriente directa de alta tensión.

El polvo que se encuentra en el gas, sedimenta en el electrodo positivo y, a medida que se acumula, cae en forma de tolva receptora.

Además de la eliminación del polvo de los gases, se utiliza la separación del polvo de materiales sólidos. La necesidad de separar el polvo de pedazos grandes surge debido a que este, como regla, empeora los resultados del proceso tecnológico de elaboración o las condiciones sanitarias.

Para la separación del polvo se utilizan métodos húmedos y secos. El aislamiento del polvo se realiza en separadores de cámara o centrífugas, así como en separadores vibratorios o de rodillos. Para eliminar el polvo en locales industriales, o para evitar que se forme, se utiliza la ventilación con extractores y la eliminación hidráulica del polvo. Esto último es uno de los métodos más efectivos de la lucha contra el polvo y consiste en el aumento de la humedad del producto, hasta evitar que se forme.

La humedad se consigue rociando agua mediante dispositivos especiales, hasta formar una cortina iónica de pequeñas gotas de agua. Esta cortina transmite humedad al material, constituye un filtro, moja y sedimenta el polvo que se encuentra en el medio.

Elementos de metalurgia

Por metalurgia se conoce el proceso de producción mediante el cual se obtienen metales o aleaciones, a partir de minerales u otros materiales que se refinan después de su obtención. Por extensión, se denomina también metalurgia a la parte de la actividad científica que se dedica a estos temas.

La metalurgia constituye la fuente abastecedora de metales: principales materiales para la construcción de máquinas, equipos, herramientas y hasta edificaciones, o sea, que es la base de la industria moderna y constituye un requisito indispensable de la civilización actual. Los países altamente industrializados poseen un nivel de producción metalúrgica relativamente elevado, mientras que los países subdesarrollados tienen una metalurgia incipiente o carecen prácticamente de ella, lo que determina su subdesarrollo.

El crecimiento metalúrgico es una tarea compleja que exige grandes inversiones, la preparación de cuadros altamente calificados, la existencia de condiciones técnicas favorables (yacimientos minerales, combustibles, y otras fuentes de energía, mano de obra, etc.). Por otra parte, las relaciones desiguales entre países con diferente nivel de desarrollo, en favor de los países industrializados capitalistas, interesados en obtener recursos con el menor esfuerzo posible, entorpecen el desarrollo de los países subdesarrollados.

Podemos afirmar que, sin metalurgia no hay desarrollo, y sin esta no es posible lograr un nivel de vida elevado y estable del pueblo. Por esta causa, el crecimiento metalúrgico en Cuba, utilizando las condiciones favorables determinadas por la existencia de los enormes yacimientos lateríticos del este de la provincia de Holguín —base de la metalurgia del níquel, cuyas colas pueden ser una excelente materia prima para la producción del hierro— constituye una de las principales tareas técnico económicas que debe resolver el país para crear la base material y técnica del socialismo, y con ello garantizar un alto nivel de vida de la población.

Clasificación de los metales y minerales

Las clasificaciones industriales de los metales frecuentemente son convencionales y en muchos casos responden a la estructura de la industria, la organización de la actividad científico investigativa y la preparación de cuadros técnico-ingenieriles.

Una clasificación muy difundida es la que divide todos los metales en ferrosos y no ferrosos.

Al grupo de los metales ferrosos pertenecen el hierro, el manganeso, el vanadio y el cromo, estrechamente relacionados con la producción de hierro y sus aleaciones (aceros).

El grupo de metales no ferrosos se divide en:

- a) Metales no ferrosos pesados, entre los cuales los principales son: cobre, níquel, zinc y estaño, que desempeñan un importante papel en la producción industrial, y otros menos importantes como: cadmio, cobalto, arsénico, antimonio, bismuto y mercurio, con un volumen de producción mucho menor que los primeros.
- b) Metales no ferrosos ligeros, que se dividen también en principales: aluminio, magnesio, titanio, sodio, y menos importantes: berilio, litio, bario, calcio, estroncio y potasio.
- c) Metales preciosos: oro, plata, platino, y los metales del grupo del platino: osmio, iridio, rutenio, paladio, etcétera.
- d) Metales raros que a su vez se dividen en varios grupos. Entre ellos se encuentran los refractarios: volframio, galio, germanio, indio, renio, rubidio, cesio y otros; las tierras raras: lantano y todos los lantánidos; los radioactivos: polonio, radio, uranio, actinio, plutonio, neptunio y otros.

Los metales no ferrosos ligeros se diferencian de los pesados por su densidad que varía desde 0,53 (Li)-4,5 (Ti), en los primeros, desde 5-6 (As, Zn, Sb)-13,6 g/cm³(Hg), en los pesados.

Los metales preciosos se diferencian de los demás por su baja actividad química, ya que no se unen directamente con el oxígeno.

Entre los metales raros se incluyen un grupo que se utiliza en la técnica y en la industria, en relativamente pequeñas cantidades, principalmente debido a que no abundan en la naturaleza, se encuentran muy diseminados y, como regla, se extraen junto a otros metales como derivados, o son muy caros debido a los costos de producción, o no están lo suficientemente estudiados.

Los metales radioactivos se relacionan en un grupo independiente debido a sus propiedades, que se utilizan ampliamente en la industria atómica.

Esta clasificación industrial de los metales puede variar en función del desarrollo de la técnica de la rama dada de la industria. Por ejemplo, algunos años atrás, el titanio se consideraba como un metal raro, sin embargo, debido al desarrollo elevado de la metalurgia del titanio, frecuentemente se relaciona en el grupo de metales no ferrosos ligeros.

Por otra parte, la etapa actual de desarrollo de la industria minero metalúrgica cubana, introduce correctivos en su estructura, en la organización del trabajo científico investigativo y en la preparación de los cuadros técnico ingenieriles; estos cambios se establecen, generalmente, en correspondencia con las clasificaciones de los países socialistas desarrollados, pero que, evidentemente, sufrirán en nuestro país múltiples transformaciones, indispensables para adaptar estos procesos al nivel de desarrollo alcanzado, a nuestras condiciones concretas y a las necesidades del desarrollo.

La principal fuente del metal es el mineral. Desde el punto de vista metalúrgico se denomina mineral a los materiales de los cuales se pueden extraer, en forma económicamente ventajosa, los metales. Desde este ámbito, el concepto de mineral puede variar con el desarrollo de la técnica y la aparición de un nuevo proceso tecnológico, puede convertir en mineral, materia prima para la industria metalúrgica, materiales que anteriormente no se consideraban minerales, ya sea por el bajo con-

tenido de metal, o por encontrarse en formas en la cual no es posible someterlos a procesos conocidos. De tal manera, las lateritas se han convertido en un mineral valioso para la producción de níquel y cobalto, y sus colas, en las condiciones cubanas, deben convertirse en una excelente materia prima para la producción de otros metales o aleaciones, en particular, y en un futuro inmediato, de hierro y acero.

Por su composición química los minerales se dividen en:

- a) nativos, en los cuales el metal se encuentra en forma libre (oro, cobre, plata y platino).
- b) oxidados, en los cuales los metales se encuentran en forma de óxidos, carbonatos e hidratos (F_2O_3 , $PbCO_3$ y $Al(OH)_3$);
- c) sulfuros (PbS ; CU_2S ; NiS), en los cuales el metal se encuentra en forma de sulfuros (las aristas de los minerales sulfurosos tienen un brillo metálico característico).

Por su estructura la mena no es homogénea y está formada por:

- a) minerales metálicos del metal principal primario;
- b) minerales metálicos de otros metales principales (polimetálicos), por ejemplo, de plomo-zinc;
- c) minerales asociados a los minerales metálicos principales, por ejemplo, el cobalto que acompaña siempre al níquel, o el oro, la plata y los metales raros, que acompañan con frecuencia a un mineral principal;
- d) masa principal de la mena-ganga o estéril - que no contiene metales valiosos y está compuesta por cuarzo, silicatos, aluminio-silicatos, etcétera.

Cuando se explotan las menas es conveniente la utilización integral de sus componentes valiosos. En muchas fábricas metalúrgicas se extraen varios metales diferentes. Los minerales lateríticos del este de la provincia de Holguín, tienen propiedades que permiten, en las condiciones actuales, la extracción de varios metales y con ello el desarrollo de una metalurgia integral.

Procesos metalúrgicos

Se denominan metalúrgicos aquellos procesos cuyo objetivo es la extracción del metal a partir de la mena o de cualquier otro material. Los procesos metalúrgicos se dividen en dos grandes grupos: pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos. En la figura 5.1 se muestra la clasificación de los procesos metalúrgicos.

Procesos pirometalúrgicos

Los procesos pirometalúrgicos, en la mayoría de los casos, transcurren con altas temperaturas y, frecuentemente con la fundición de los materiales. Los procesos pirometalúrgicos se dividen en tostado y fundición metalúrgica.

El tostado es un proceso metalúrgico que se lleva a cabo a una alta temperatura pero, con frecuencia, sin que se quiera, tiene lugar una fundición parcial de las fases que participan en el proceso.

El tostado, en función de la esencia química del proceso, puede ser de calcinación, aglomeración, reducción, cloración, y fluoración.

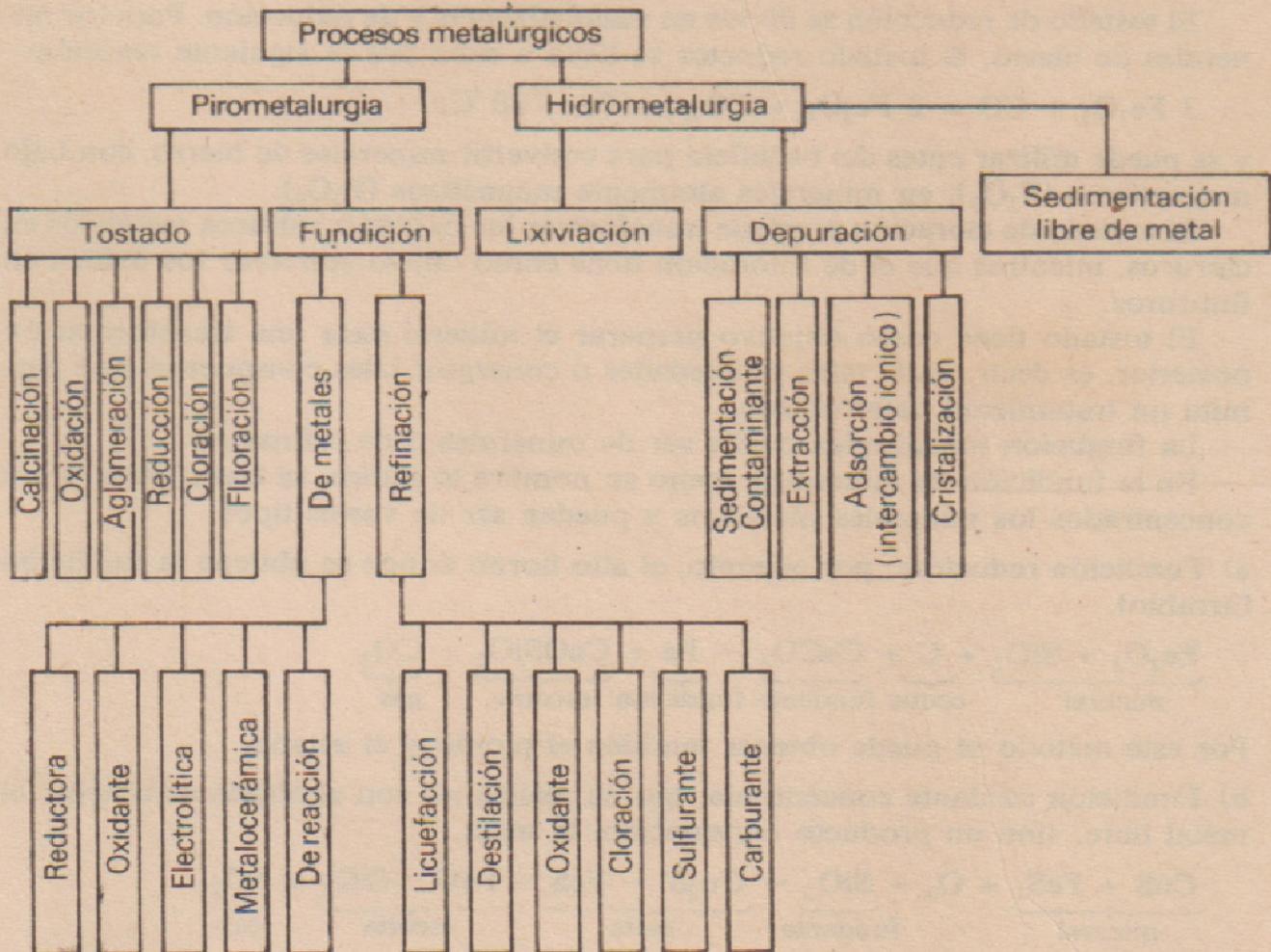
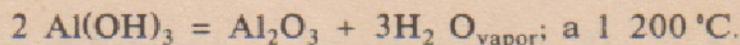
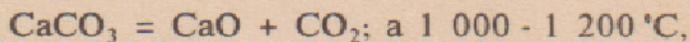
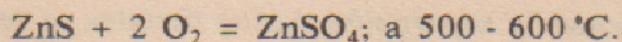
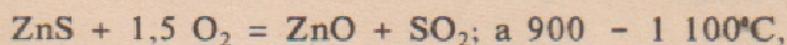


Fig. 5.1 Clasificación de los procesos metalúrgicos

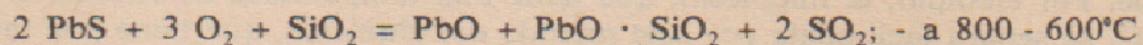
La calcinación se lleva a cabo con el objeto de cambiar la composición química de los minerales de una mena y se utiliza principalmente para carbonatos o hidróxidos con diferentes temperaturas. Las reacciones que tienen lugar pueden ser las siguientes:



El tostado de oxidación se lleva a cabo con los minerales sulfurosos concentrados, con el objeto de convertir los sulfuros metálicos en óxidos o sulfatos metálicos. Por ejemplo, las reacciones que tienen lugar a diferentes temperaturas pueden ser:

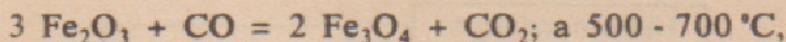


La aglomeración es un tostado mediante el cual el material pulverulento se aglomera en pedazos de mayor tamaño. Por ejemplo:



Este proceso se utiliza siempre antes de la fundición en hornos de cuba.

El tostado de reducción se divide en magnetizantes y de reducción. Para los minerales de hierro, el tostado reductor se lleva a cabo por la siguiente reacción:



y se puede utilizar antes del beneficio para convertir minerales de hierro, con bajo magnetismo (Fe_2O_3), en minerales altamente magnéticos (Fe_3O_4).

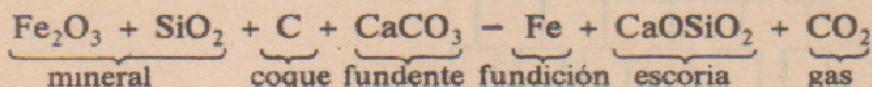
El tostado de cloración persigue transformar los óxidos y sulfuros metálicos en cloruros, mientras que el de fluoración tiene como objeto convertir los óxidos en fluoruros.

El tostado tiene como objetivo preparar el mineral para una transformación posterior, es decir, darle tales propiedades o conseguir tales compuestos que permita un tratamiento determinado.

La fundición metalúrgica puede ser de minerales o de refinación.

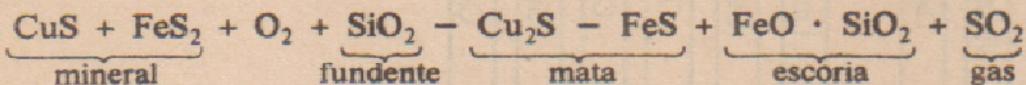
En la fundición de minerales, como su nombre lo indica, se transforma o son concentrados los minerales metálicos y pueden ser de varios tipos:

a) Fundición reductora, por ejemplo, el alto horno donde se obtiene la fundición (arrabio),



Por este método se puede obtener también el plomo y el estaño.

b) Fundición oxidante concentrada, que se realiza no con el objeto de obtener el metal libre, sino un producto enriquecido: la mata.



c) Electrólisis de sales fundidas (fundición electrolítica), mediante la cual se puede obtener el metal, tanto en estado sólido como líquido.

d) Fundición de polvos (fritado).

e) Fundiciones de reacción basadas en la interacción de los sulfuros con los óxidos, al calentarse.

Las fundiciones de refinación tienen como objetivo refinar los metales de sus impurezas. Para esto se utiliza la diferencia entre las propiedades de los principales metales y los contaminantes.

La refinación puede ser:

a) Licuación, que se basa en la formación y separación por su densidad de dos fases, de las cuales la mayor en cantidad (sólida o líquida) está compuesta por el metal que se refina. Los contaminantes se concentran en la otra fase (sólida o líquida) y no se disuelven en el metal principal. Por ejemplo, el cobre se disuelve mal en el zinc fundido a $350 \text{ }^\circ\text{C}$ y emerge a la superficie en forma de solución sólida de zinc y cobre.

b) Destilación refinadora, en este proceso la separación de los metales se realiza sobre la base de la diferencia de presión entre los vapores del metal y sus contaminantes y se realiza mediante rectificación (destilación fraccionaria) o destilación simple. Por ejemplo, el magnesio, que tiene una temperatura de ebullición de $1107 \text{ }^\circ\text{C}$, se separa fácilmente por este método del aluminio, que tiene una temperatura de ebullición de $1500 \text{ }^\circ\text{C}$.

c) Refinación oxidante, se basa en la diferente afinidad hacia el oxígeno del metal principal y sus contaminantes. Por ejemplo, el hierro como contaminante se oxida en cobre fundido cuando se le insulfla aire, y forma el óxido de hierro (F_2O), que no se disuelve en cobre líquido y emerge a la superficie.

d) Refinación clorada, se basa en la diferente afinidad del metal y sus contaminantes hacia el cloro. Por ejemplo, el zinc se puede separar del plomo utilizando su gran afinidad hacia el cloro. En este caso, al agregar cloro a una mezcla de plomo y zinc líquido, se forma el cloruro de zinc ($ZnCl_2$), que no se disuelve en el plomo líquido y emerge a la superficie.

e) Refinación sulfurosa, se fundamenta en la diferente afinidad hacia el azufre del metal principal y sus contaminantes. Por ejemplo, por este método se puede separar el cobre del plomo introduciendo azufre en una mezcla líquida de plomo y cobre, así se logra separar plomo líquido del recién formado sulfuro de cobre.

f) La refinación carburante se apoya en la capacidad de algunos metales para formar, en ciertas condiciones especiales, combinaciones volátiles. Por este método se puede separar el cobre del níquel.

Procesos hidrometalúrgicos

Los procesos hidrometalúrgicos transcurren a relativas bajas temperaturas (100 - 300 °C), en las superficies de contacto de los gases, sólidos y líquidos. Los principales procesos de este tipo son: lixiviación, depuración y sedimentación.

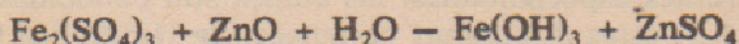
Lixiviación. Proceso mediante el cual el metal se disuelve en una solución con separación posterior del material estéril. Como soluciones se utilizan ácidos, álcalis y sales. Este proceso se utiliza en Cuba para la obtención del níquel a partir de las lateritas, en las plantas de Moa y Nicaro.

La lixiviación es un proceso ampliamente usado en la vida doméstica para obtener café. Para lo cual, los granos de este producto se muelen y se les hace pasar agua hirviente o vapor de agua, de tal forma que se lleve las sustancias solubles. La eficiencia del proceso depende no solo de la calidad del grano, sino de su tamaño, de la temperatura de la solución disolvente, de la presión, etcétera.

De la misma forma, en la obtención del níquel es indispensable darle al material el tamaño más adecuado para su futura lixiviación, la cual tiene lugar a una temperatura determinada en una solución ácida (ácido sulfúrico H_2SO_4), en el caso de Moa, o en una solución alcalina (amoniacal), en el caso de Nicaro, con la posterior separación del estéril primero y del metal después, mediante destilación (Nicaro) o sulfuración (Moa).

Depuración. Las soluciones contienen, además del metal principal, una serie de contaminantes que pasan a formar parte de él en la lixiviación, y que para descontaminarlos se utilizan los siguientes procesos:

a) Sedimentación del contaminante con reactivos: por ejemplo, la sedimentación del hierro, que contamina las soluciones de óxido de zinc, de las soluciones de sulfato de zinc,



b) Extracción con solventes orgánicos, basándose en la propiedad de algunos de ellos de disolver y, simultáneamente, formar con las sales de algunos metales combinaciones que no se disuelven, ni forman compuestos con las sales de otros.

c) Procesos de adsorción* y de intercambio de iones (iónico) utilizando resinas sintéticas. Algunas resinas tienen la propiedad de intercambiar los iones H^+ , que se encuentran en su composición, por algunos cationes que se hallan en la solución.

d) Cristalización, generalmente fraccionada, mediante la cual en un extremo de la cadena de cristalización se obtienen cristales puros de las sales de algunos metales y, en el otro extremo, una solución mezclada de otro metal.

Sedimentación. En este caso, del metal de una solución en forma libre, y para la cual se usan los tres métodos siguientes:

- a) sedimentación electrolítica de soluciones acuosas,
- b) cementación expulsión de un metal de la solución por otro,
- c) reducción con reductores gaseosos (H_2 , CO , CH_4), o sólidos bajo presión.

Los procesos relacionados constituyen las principales operaciones en la obtención de metales; sin embargo, en la producción metalúrgica, como en la producción minera o de beneficio, además de los procesos principales existen una serie de procesos auxiliares, algunos de los cuales ya han sido descritos anteriormente y entre los cuales se pueden citar:

- transporte de materiales;
- mezcla de productos en el mismo estado: sólido-sólido, o en diferentes estados: sólido-líquidos;
- secado;
- evaporación de soluciones;
- eliminación de polvo;
- captura de gases nocivos o valiosos.

Equipamiento hidrometalúrgico

En los equipos hidrometalúrgicos transcurren procesos hidrometalúrgicos, térmicos, de intercambio de masa, químicos y mecánicos.

Entre los procesos hidromecánicos tenemos la sedimentación de partículas suspendidas en un líquido por la acción de las fuerzas de gravedad y por fuerzas centrífugas, filtrado de líquidos bajo presión, mezclado, etc. Muchos de los aparatos y equipos en los que tienen lugar estos procesos han sido descritos anteriormente.

Al grupo de los procesos térmicos pertenecen el calentamiento, enfriamiento, evaporación y condensación, todos ampliamente utilizados.

Entre los procesos de intercambio de masas se pueden citar la adsorción, la extracción, la rectificación, el secado, etcétera.

Los procesos químicos están relacionados con la transformación de las sustancias y la variación de sus propiedades químicas.

Los procesos mecánicos incluyen la trituración, molienda de sólidos, clasificación, etcétera.

La base teórica de la mayoría de estos procesos se estudia en asignaturas del ciclo intermedio de las diferentes especialidades, las cuales son conocidas como disciplinas básicas específicas. A estas disciplinas pertenecen la Hidráulica (Mecá-

* Proceso metalúrgico que se basa en la propiedad de algunos sólidos de retener (adherir) en su superficie, sustancias disueltas en gases o líquidos. Debe diferenciarse de la absorción, que es la propiedad de algunos sólidos y líquidos de ser penetrados por los gases.

nica de los fluidos), Transferencia de calor, Termotecnia, Cinética química, etcétera.

En la práctica, en los equipos y aparatos tiene lugar más de un proceso, lo que dificulta su cálculo. Entre los equipos más frecuentes de la industria hidrometalúrgica se encuentran: mezcladores, sedimentadores o espesadores, filtros, centrifugas, calentadores, enfriadores y otros aparatos de intercambio de masa.

En lixiviación, los aparatos más frecuentes son los de adsorción y los autoclaves.

La adsorción es un proceso de adhesión (separación) de gases o vapores de mezclas gaseosas o soluciones, mediante absorbentes sólidos.

Una peculiaridad del proceso consiste en la selectividad y reversibilidad del adsorbente, gracias a lo cual se pueden absorber uno o varios componentes de la mezcla y, posteriormente, en otras condiciones, ceder el componente deseado. Como adsorbentes se utilizan sustancias sólidas porosas con gran superficie específica, regularmente reducida a la unidad de masa del adsorbente. Entre los adsorbentes más frecuentes se encuentra el carbón activado, $200-1000 \text{ cm}^2/\text{g}$ de superficie específica. Últimamente se emplean con frecuencia zeolitas e ionitas. Las primeras son minerales naturales (silicato de aluminio), mientras que las segundas son materiales orgánicos que tienen iones móviles, capaces de intercambiarse con los de la sustancia que interactúa con el adsorbente.

El proceso de adsorción se produce en forma periódica o continua. La adsorción periódica transcurre en aparatos de columna llenos de adsorbentes, en los cuales se pueden utilizar esquemas de adsorción única o múltiple.

El proceso continuo se lleva a cabo, como regla, a contracorriente, es decir, moviendo en direcciones contrarias al adsorbente y la mezcla que se separa; el movimiento del adsorbente se realiza por la fuerza de gravedad (columna vertical), o mediante diferentes dispositivos de transporte.

En la figura 5.2 se muestra el aspecto externo de un aparato de adsorción horizontal y otro vertical.

Los autoclaves son aparatos que contienen un fluido bajo presión, cerrados con una tapa, de tal forma que la misma presión actuando sobre la tapa garantiza un cierre hermético. En metalurgia se utilizan para aumentar la presión o la temperatura del medio donde tendrá lugar un proceso químico. Por su construcción, los

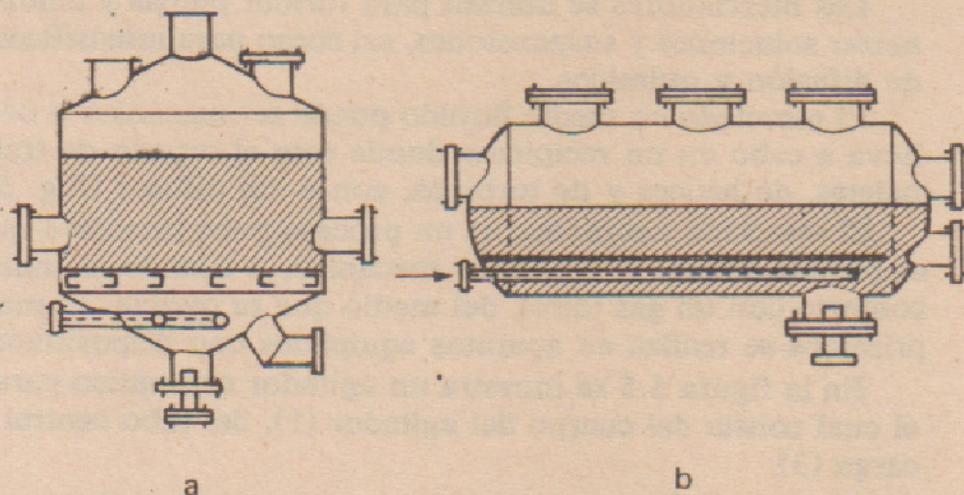


Fig. 5.2 Aparatos de adsorción: a) vertical; b) horizontal

autoclaves pueden ser horizontales, verticales y de columna (Fig. 5.3). Los autoclaves horizontales y verticales se equipan con paletas encargadas de mezclar y aerear la pulpa.

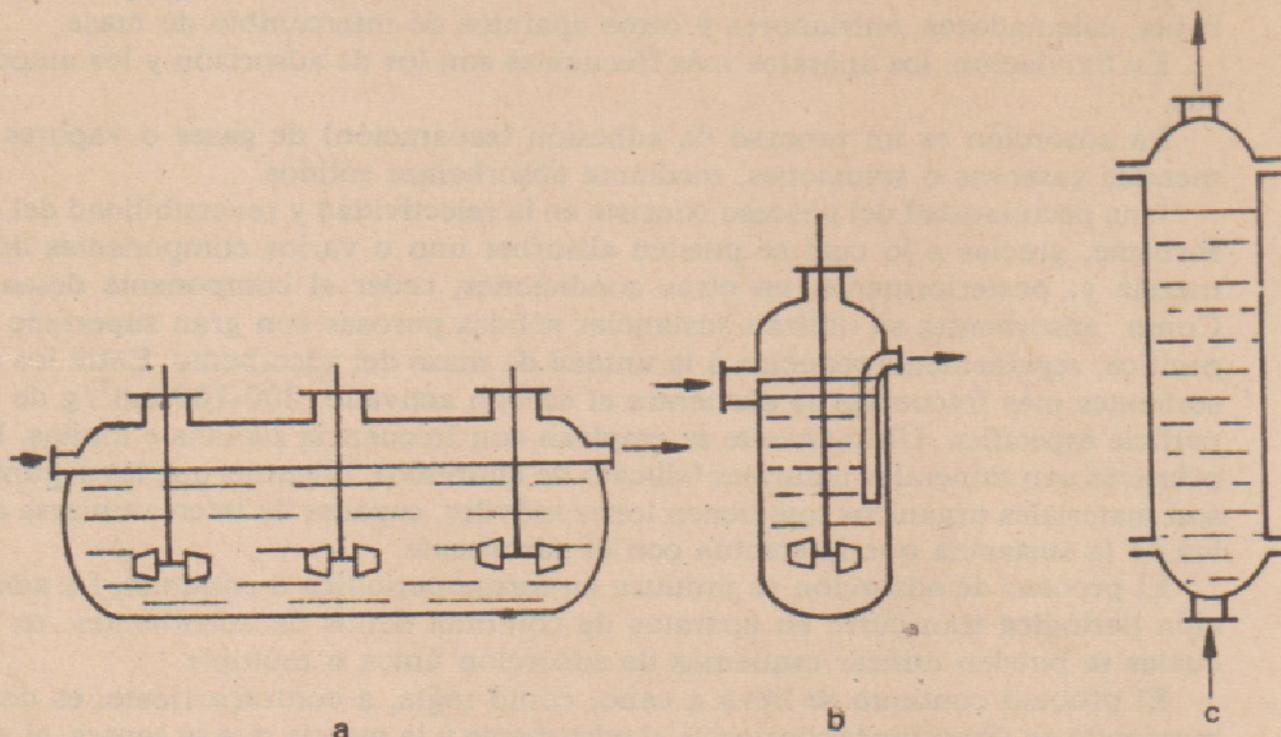


Fig. 5.3 Autoclaves: a) horizontal; b) vertical; c) de columna

Para evitar los problemas que surgen con la lubricación de la mezcladora a estas temperaturas, que limitan la velocidad del rotor en los autoclaves de columna, la mezcla y aereación se realiza mediante gases de reacción.

Además de los espesadores o sedimentadores, filtros, centrifugas y ciclones, en la industria metalúrgica y, en particular, en la hidrometalúrgica, suelen utilizarse los mezcladores, calentadores, enfriadores, condensadores, evaporadores, etcétera.

Los mezcladores se utilizan para formar pulpas y emulsiones, o para homogeneizar soluciones y suspensiones, así como para intensificar los procesos térmicos, de difusión y químicos.

El mezclado en medio líquido puede ser mecánico o neumático. El primero se lleva a cabo en un recipiente donde rota el órgano de trabajo, que puede ser de paletas, de hélices y de turbinas, con o sin difusor (Fig. 5.4).

El mezclado neumático es un proceso poco intensivo que se utiliza cuando no es posible aplicar el mezclado mecánico, o cuando es indispensable garantizar el contacto con un gas (aire), del medio que se mezcla. El mezclado con gases comprimidos se realiza en aparatos equipados con dispositivos especiales.

En la figura 5.5 se muestra un agitador neumático para el mezclado de pulpa, el cual consta del cuerpo del agitador (1), del tubo central (2) y del canal de descarga (3).

Los calentadores, enfriadores, condensadores y evaporadores, pertenecen al grupo de intercambiadores de calor en los cuales intervienen no menos de dos medios con diferentes temperaturas, y en los que el calor se transmite del medio con mayor temperatura al medio con menor temperatura.

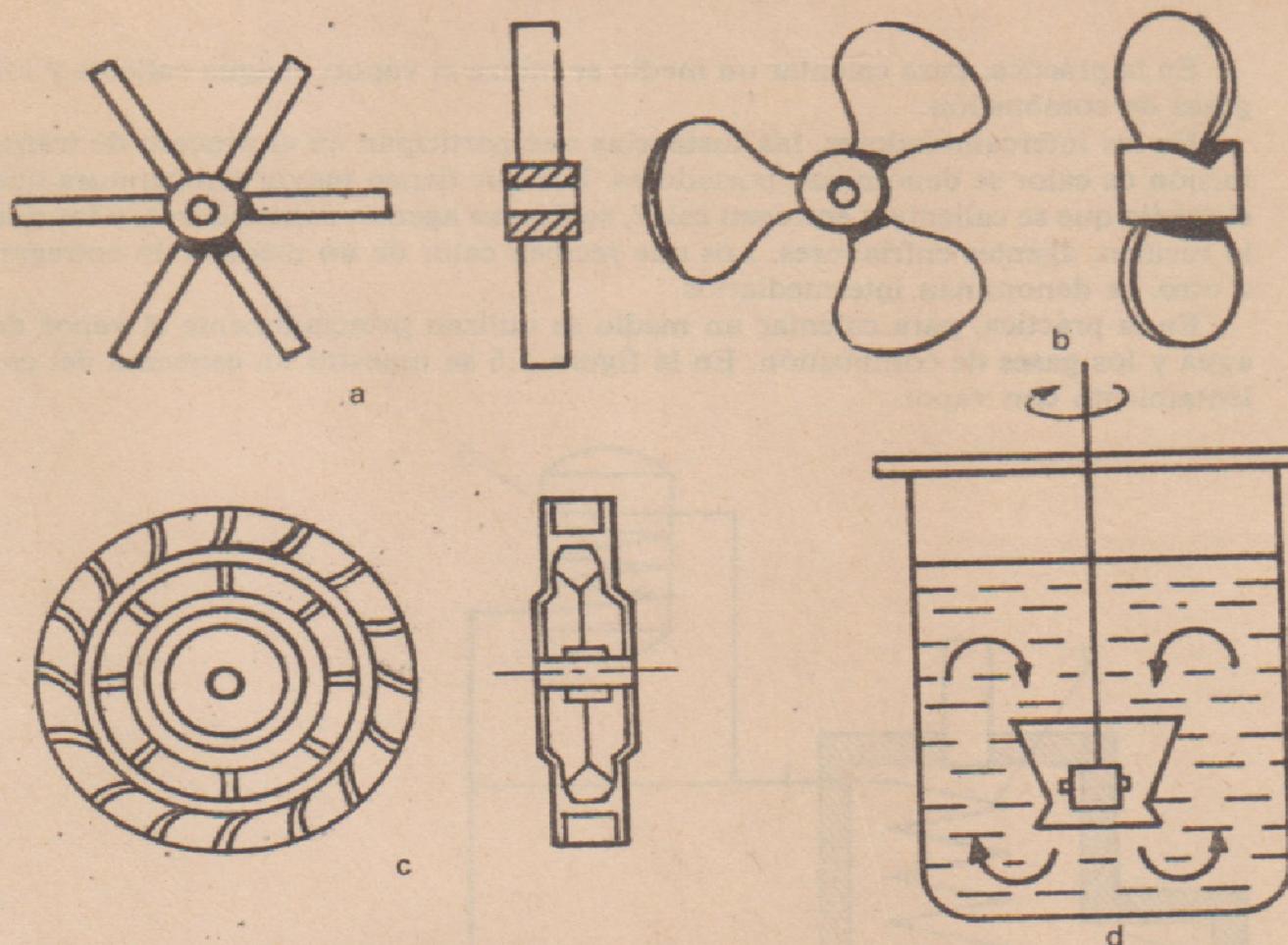


Fig. 5.4 Mezcladores: a) de paletas; b) de propela; c) turbinas; d) propela con difusor

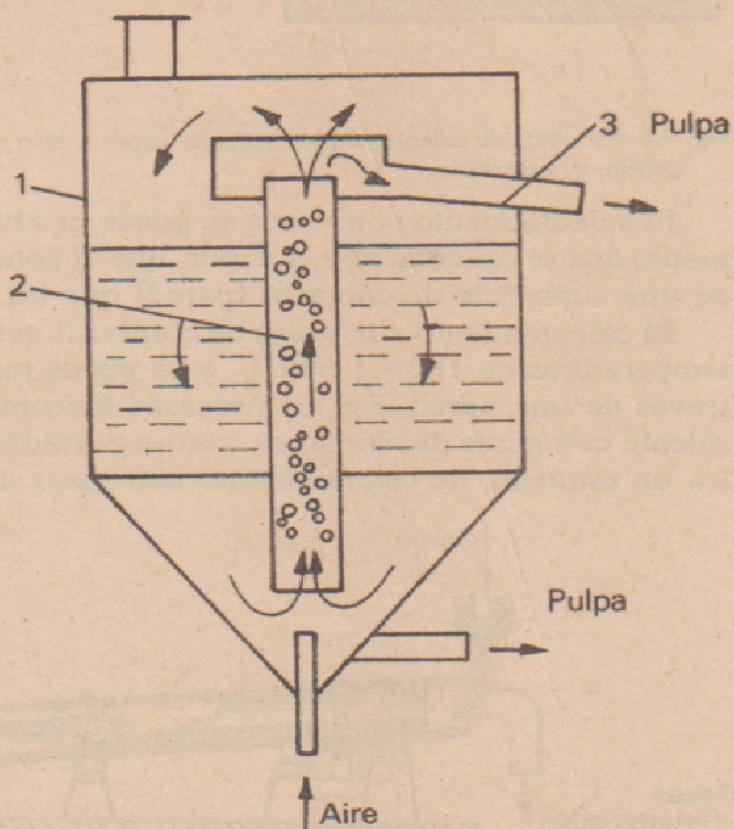


Fig. 5.5 Agitador neumático: 1) cuerpo; 2) tubo central; 3) canal de descarga

En la práctica, para calentar un medio se utiliza el vapor, el agua caliente y los gases de combustión.

En los intercambiadores, las sustancias que participan en el proceso de transmisión de calor se denominan portadores. Los que tienen mayor temperatura que el medio que se calienta y entregan calor, se llaman agentes calentadores, y los que lo reciben, agentes enfriadores. Los que reciben calor de un medio y lo entregan a otro, se denominan intermediarios.

En la práctica, para calentar un medio se utilizan principalmente el vapor de agua y los gases de combustión. En la figura 5.6 se muestra un esquema del calentamiento con vapor.

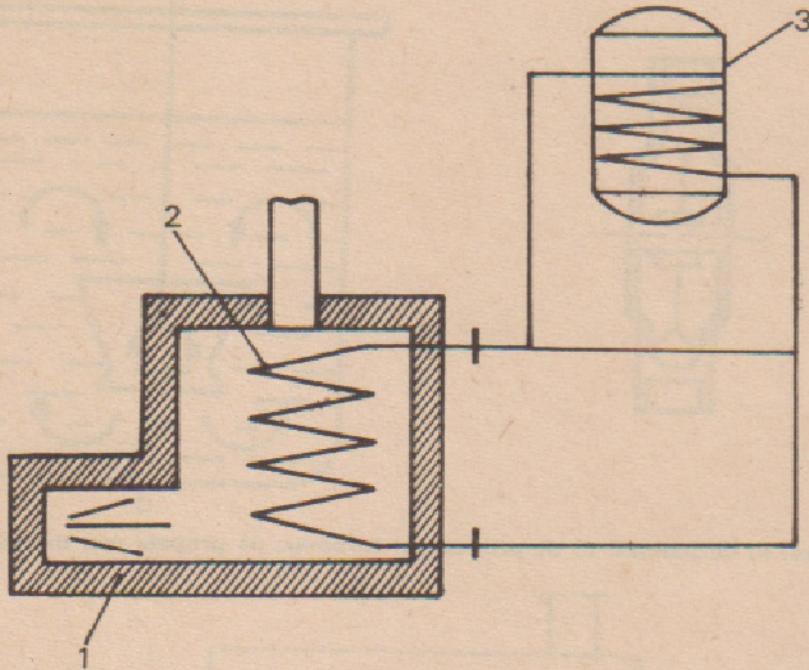


Fig. 5.6 Esquema de calentamiento mediante vapor u otro portador de calor intermedio: 1) horno; 2) serpentín; 3) calentador

El calentamiento con vapor se puede producir mediante el contacto directo del medio que se calienta, con el vapor, que al condensarse se mezcla con él, o a través de una superficie de contacto (pared) que las separa.

El calentamiento con gases de combustión se utiliza cuando son indispensables temperaturas de 180 - 1 000 °C, y se puede realizar también en forma directa o a través de una pared. En los procesos hidrometalúrgicos tiene interés el calentamiento con gases de chimenea con un portador térmico. En la figura 5.7 se muestra un esquema de calentamiento con gases de combustión.

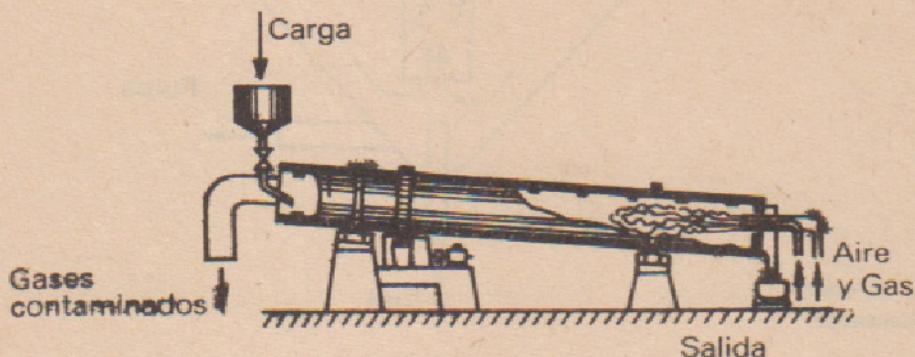


Fig. 5.7 Esquema de calentamiento mediante la combustión de gases

Para el enfriamiento a temperaturas corrientes se emplea, principalmente, como agente enfriador, el agua y el aire; para lograr temperaturas más bajas se utilizan el hielo y el agua fría, y para temperaturas aún más bajas, agentes refrigerantes, por ejemplo, amoníaco y otros.

La condensación de los gases se manifiesta tanto por medio del enfriamiento de los gases (vapor), como con el enfriamiento y compresión simultánea.

Los intercambiadores pueden ser:

- a) Intercambiadores de superficie en los cuales la transmisión de calor entre los medios que intercambian tiene lugar a través de una superficie (pared) que los separa.
- b) Intercambiadores de mezcla, en los cuales el calor se transmite de un medio a otro mediante contacto directo.

Entre los principales intercambiadores de superficie se encuentran los de tubo, serpentín, espirales, reactores y otros. A manera de ejemplo se describen algunos intercambiadores en la industria cubana.

Los intercambiadores de tubo que más frecuentemente se utilizan, pueden ser de carcasa y tubos, y de doble tubo (horquilla).

En la figura 5.8 se muestra un intercambiador de carcasa y tubos, que consta del cuerpo o carcasa, la reja de tubos, los cabezales y los tabiques transversales.

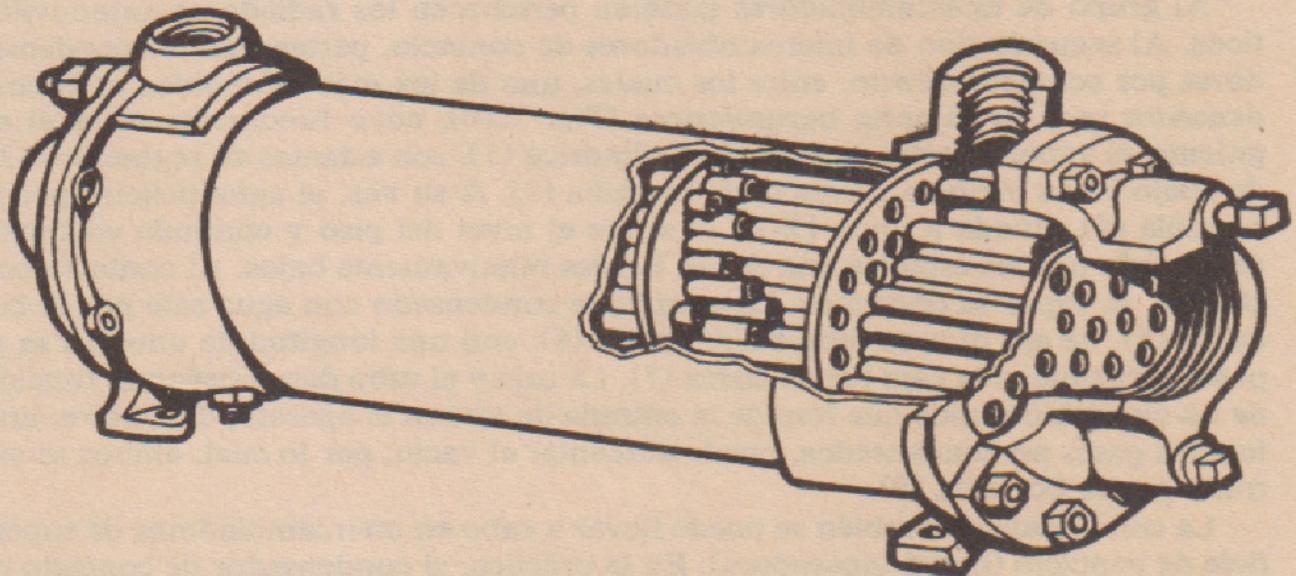


Fig. 5.8 Intercambiador de calor de carcasa y tubos

En la figura 5.9 se muestra otro intercambiador muy difundido: el de horquilla, que consta de varios elementos conectados en serie y formados por tubos concéntricos, de tal forma que uno se encuentra dentro del otro.

En estos intercambiadores se logra una mayor velocidad del líquido, y con ella se eleva el coeficiente de transmisión de calor, se admite mayor carga térmica y la incrustación en dichos intercambiadores es inferior; pero al mismo tiempo se produce un mayor gasto de metal que en los tubulares por unidad de superficie de enfriamiento.

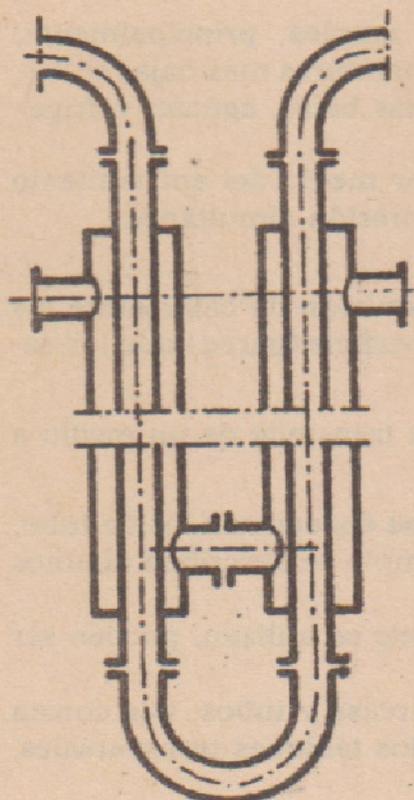


Fig. 5.9 Intercambiador de calor de horquilla

Al grupo de intercambiadores también pertenecen los radiadores autonovilísticos. Al segundo tipo de intercambiadores de contacto, pertenecen los condensadores por contacto directo, entre los cuales, uno de los más difundidos es el condensador seco de estantes barométricos (Fig. 5.10), cuyo funcionamiento es el siguiente: el vapor penetra en el cuerpo cilíndrico (1), con estantes de segmentos (2), de abajo hacia arriba a través de la boquilla (3). A su vez, el agua penetra por la boquilla (4) situada a unos 12-16 m sobre el nivel del piso y continúa en forma de cascada por los estantes que tienen bordes relativamente bajos. Al contacto con el agua, el vapor se condensa. La mezcla de condensado con agua sale por la boquilla (5), de ahí pasa al tubo barométrico (6), con una longitud de unos 10 m y, posteriormente, a la caja barométrica (7). La caja y el tubo desempeñan la función de un cierre hidráulico que impide la entrada de aire en el aparato; dicho aire, junto a los gases no condensados, puede aumentar el vacío, por lo cual, ambos se extraen por la boquilla (8).

La condensación también se puede llevar a cabo en intercambiadores de superficie de contacto (pared separadora). En la práctica, el condensador de contacto es un enfriador de tubos, en los cuales el agente enfriador es el agua.

Los principales procesos de intercambio de masa son la extracción, la rectificación, la adsorción y el secado, pero a este grupo también pertenecen la absorción, difusión a través de una película, cristalización y otros.

La extracción, como su nombre lo indica, es el proceso de obtención del componente de una fase u otra, y el mayor interés lo presenta la extracción en los sistemas líquido-líquido y líquido-sólido.

La rectificación es la separación de la mezcla líquida en componentes puros o enriquecidos, como resuado de la interacción del vapor con la base líquida. Se utiliza ampliamente en el esquema pirometalúrgico de la obtención del zinc. Un esquema frecuente de una instalación de intercambio de fase se muestra en la figura 5.11.

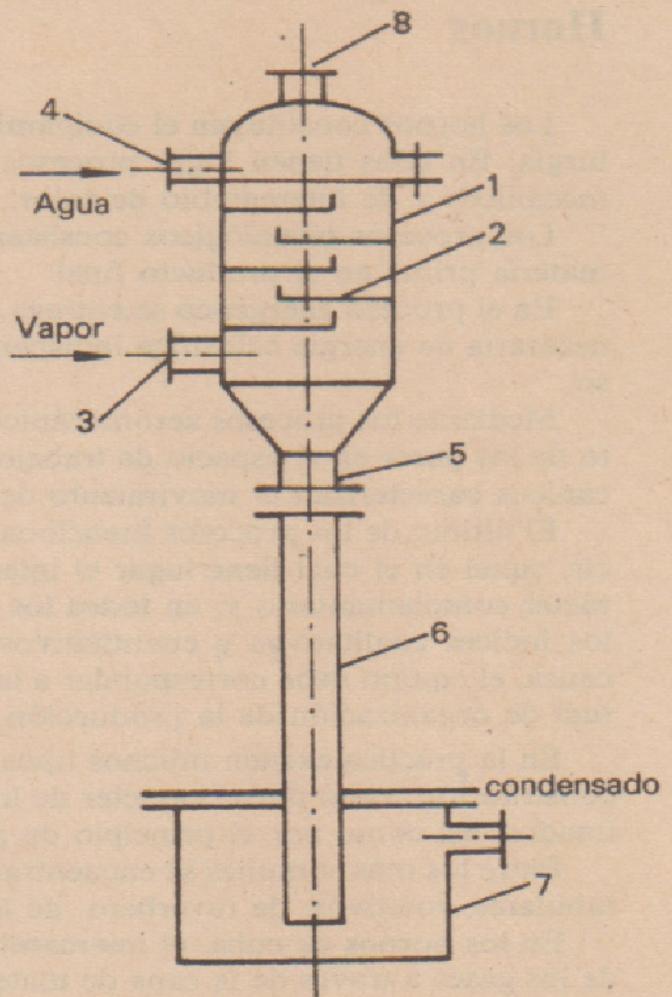


Fig. 5.10 Condensador barométrico: 1) cuerpo cilíndrico; 2) estantes; 3) boquilla de vapor; 4) boquilla de agua; 5) boquilla de condensado; 6) tubo barométrico; 7) caja barométrica; 8) boquilla

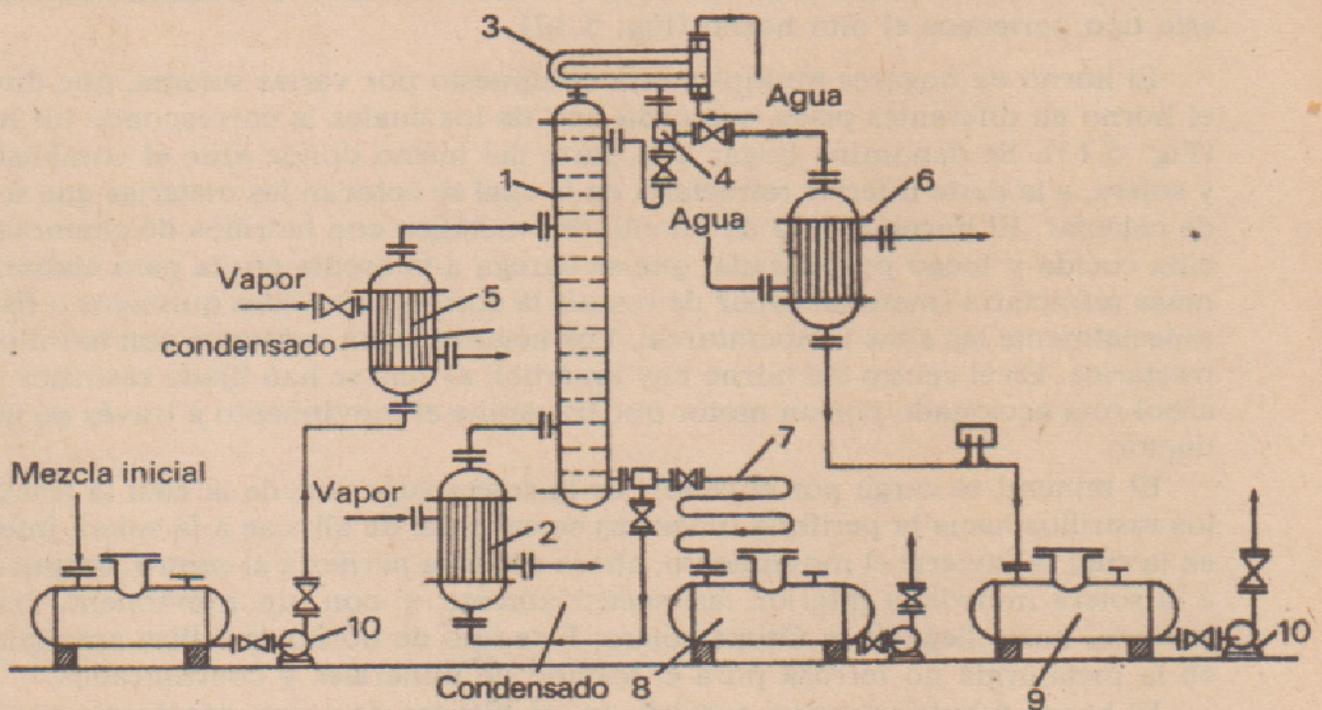


Fig. 5.11 Esquema de una instalación de rectificación (intercambio de masa): 1) columna rectificadora; 2) calentador; 3) deflemador; 4) separador de flema; 5) calentador de la mezcla inicial; 6) enfriador del destilado; 7) enfriador del producto final; 8 y 9) colectores; 10) bombas

Hornos

Los hornos constituyen el equipamiento fundamental utilizado en la pirometalurgia. En ellos tienen lugar procesos tecnológicos, energéticos, aeromecánicos, mecánicos y de intercambio de calor.

Los procesos tecnológicos consisten en la transformación fisicoquímica de la materia prima en el producto final.

En el proceso energético se entrega al espacio de trabajo del horno, la cantidad necesaria de energía calorífica indispensable para el transcurso normal del proceso.

Mediante los procesos aeromecánicos se describe principalmente el movimiento de los gases en el espacio de trabajo del horno, mientras que los procesos mecánicos caracterizan el movimiento de las partículas sólidas y líquidas.

El último de los procesos mencionados se define por su propio nombre, es decir, aquel en el cual tiene lugar el intercambio de calor. Cualquier otro tiene carácter complementario y, en todos los casos, debe garantizar el mejoramiento de los índices cualitativos y cuantitativos del proceso tecnológico. Por esta misma causa, el equipo debe corresponder a las peculiaridades tecnológicas y al nivel actual de organización de la producción.

En la práctica existen muchos tipos de hornos que se diferencian tanto por su construcción como por el carácter de los procesos tecnológicos a los que son destinados, así como por el principio de generación de calor.

Entre los más comunes se encuentran los hornos de cuba, de hogares múltiples, tubulares, rotativos, de reverbero, de lecho hirviente y eléctricos.

En los hornos de cuba, el intercambio de calor tiene lugar con el movimiento de los gases a través de la capa de material sólido. En estos hornos, tanto el combustible como las materias que se tratan, están mezcladas en el mismo espacio. A este tipo pertenece el alto horno (Fig. 5.12).

El horno de hogares múltiples está compuesto por varias soleras, que dividen el horno en diferentes pisos, y a cada uno de los cuales le corresponde un hogar (Fig. 5.13). Se denomina hogar a la parte del horno donde arde el combustible, y solera, a la parte inferior refractaria en la cual se colocan las materias que se han de calentar. El horno consta de un cilindro metálico con ladrillos de chamota, arcilla cocida y luego pulverizada, que se agrega a la arcilla cruda para elaborar la masa refractaria (material capaz de resistir la acción de agentes químicos o físicos, especialmente las altas temperaturas). Los hogares están cubiertos con ladrillos refractarios. En el centro del horno hay un árbol, al cual se han fijado rastrillos. Este árbol rota accionado por un motor que transmite el movimiento a través de un reductor.

El mineral se carga por el centro de la solera superior, de la cual la trasladan los rastrillos hacia la periferia, mientras se calienta; de allí cae a la solera inferior, en la cual se invierte el movimiento, ahora desde la periferia al centro, después cae a la solera inmediata inferior, así sucesivamente y con un movimiento zigzagueante, hasta llegar a la última solera. Este tipo de horno se utiliza ampliamente en la metalurgia no ferrosa para el tostado de minerales y concentrados.

El horno tubular rotativo consiste en un cilindro de acero, recubierto por dentro con ladrillos refractarios (Fig. 5.14). Este tipo de horno se utiliza ampliamente en la industria metalúrgica, en la producción de cemento, de refractarios, etcétera.

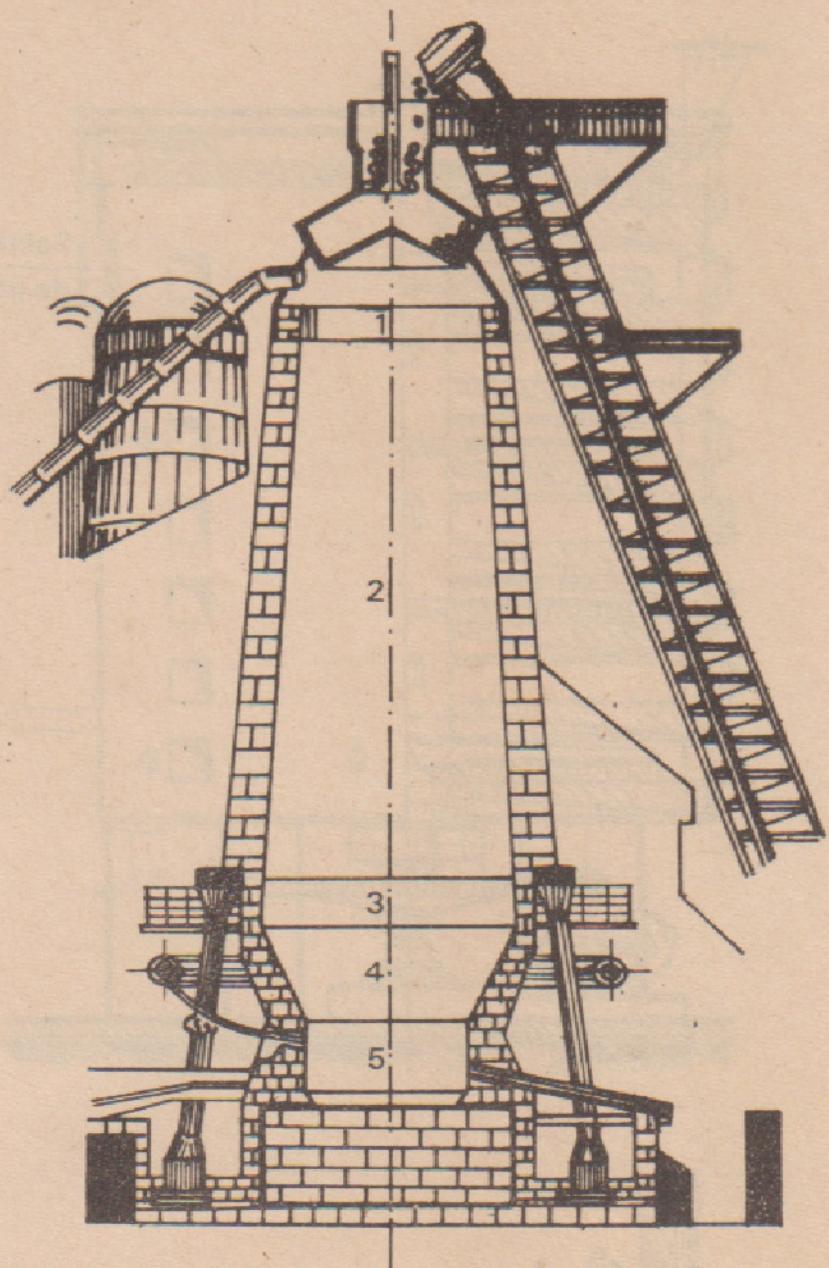


Fig. 5.12 Horno de cuba: 1) tragante; 2) cuba; 3) vientre; 4) etalaje; 5) crisol

En principio no se diferencia del secador de tambora descrito anteriormente. En estos hornos el calentamiento del material tiene lugar gracias a la energía de radiación y del intercambio, por convección, entre los gases calientes y las superficies del material.

En los hornos de reverbero, el combustible y la carga se hallan en recintos diferentes, separados por el altar: piedra que divide el hogar de la solera.

El combustible arde en el hogar y las llamas o los gases calientes atraviesan el altar y calientan, por convección, las materias que se encuentran en la solera, así como la bóveda, la cual a su vez transmitirá calor por radiación.

Los hornos de reverberos se destinan a la fundición de materiales finos. En la figura 5.15 se muestra el esquema de la construcción de uno de estos hornos.

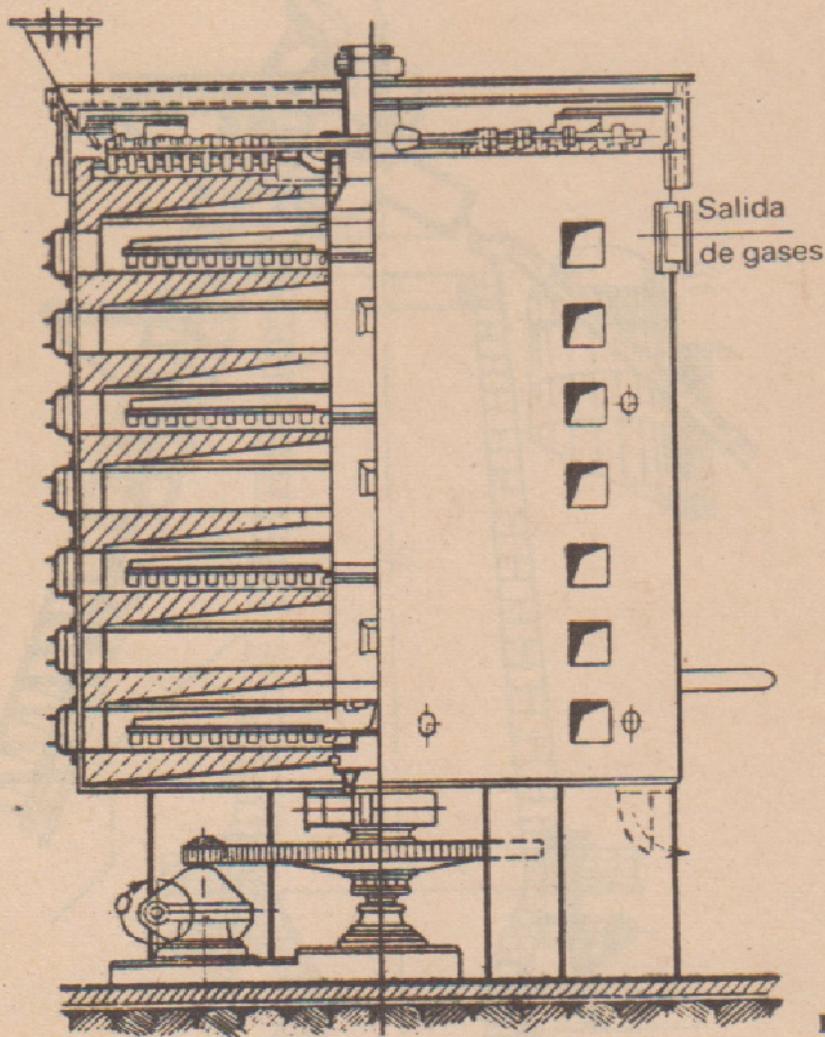


Fig. 5.13 Horno de hogares múltiples

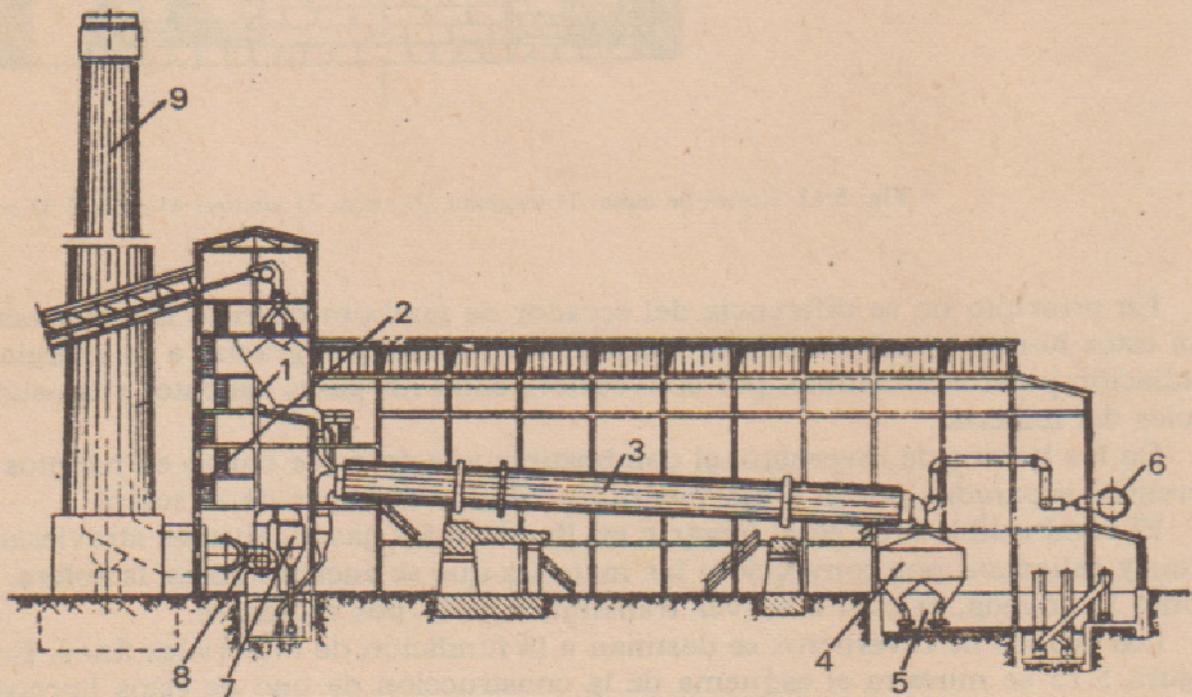


Fig. 5.14 Instalación de un horno tabular rotatorio: 1) tolva; 2) canal alimentador 3) horno; 4) enfriador; 5) transportadores; 6) conductor de gases; 7) ciclones; 8) extractores; 9) chimenea

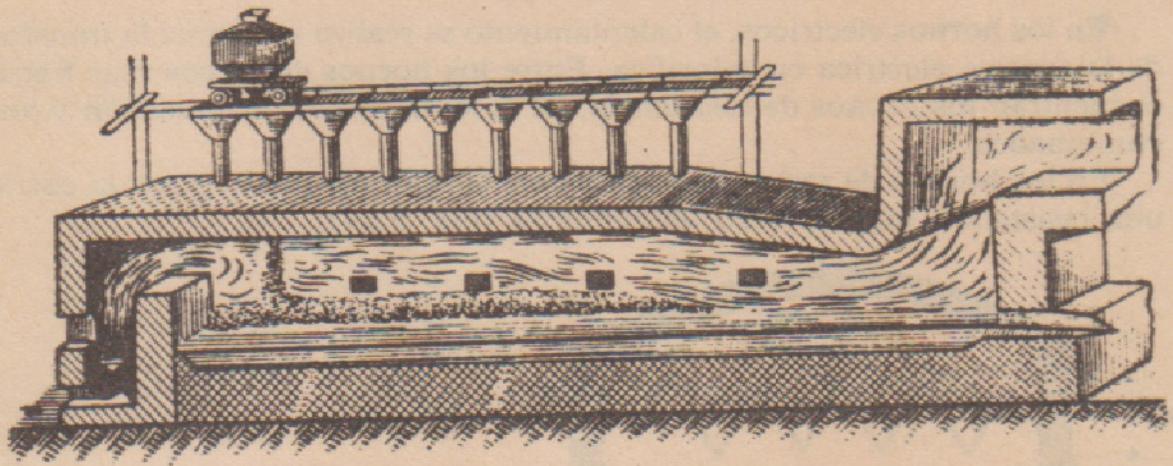


Fig. 5.15 Horno de reverbero

En los hornos de lecho hirviente, el intercambio de calor tiene lugar cuando los gases calientes atraviesan la capa del material. Estos hornos se utilizan ampliamente para calentar materiales sulfurados (Fig. 5.16). Constan de la cámara (1), que puede ser rectangular o cilíndrica, y de la solera (2), a través de la cual tiene lugar la distribución de aire del dispositivo para la carga (3) y la descarga (4).

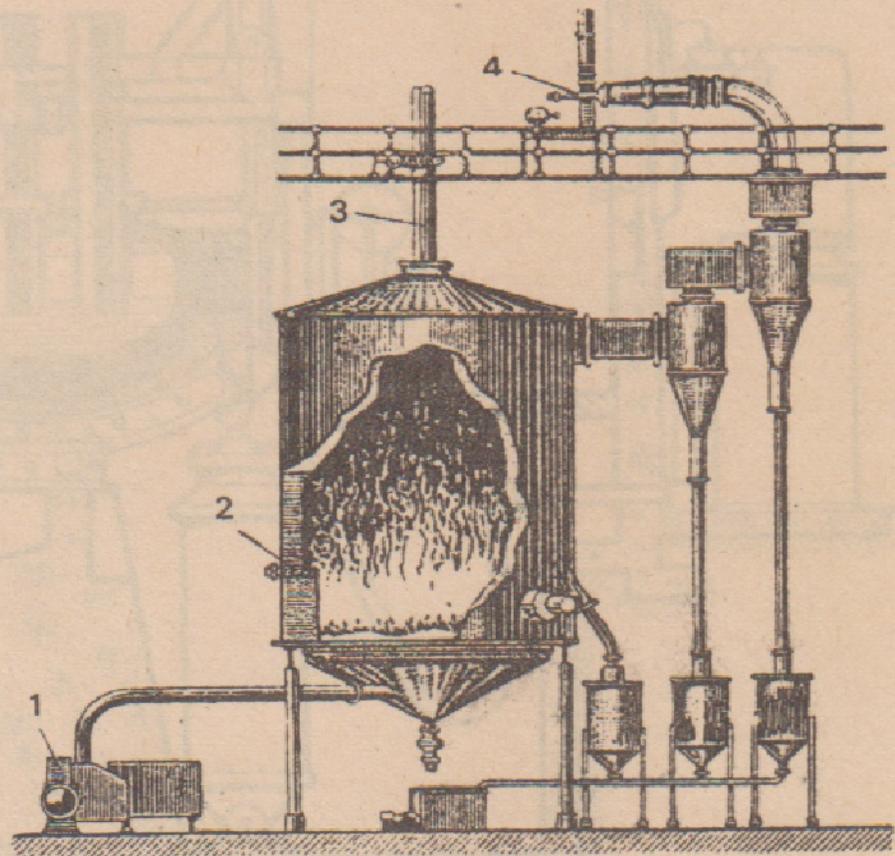


Fig. 5.16 Horno de lecho hirviente: 1) cámara; 2) solera; 3) dispositivo de carga; 4) dispositivo de descarga

En los hornos eléctricos, el calentamiento se realiza mediante la transformación de la energía eléctrica en calorífica. Entre los hornos eléctricos más frecuentes se encuentran los hornos de resistencia, de arco eléctrico, de inducción y los hornos combinados.

En los hornos de resistencia se obtiene el calor haciendo pasar la corriente por una resistencia que eleva su temperatura (Fig. 5.17).

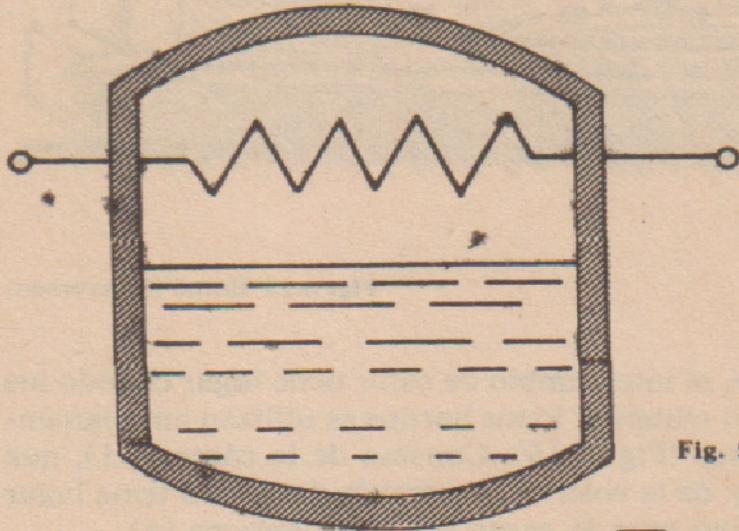


Fig. 5.17 Esquema de un horno de resistencia

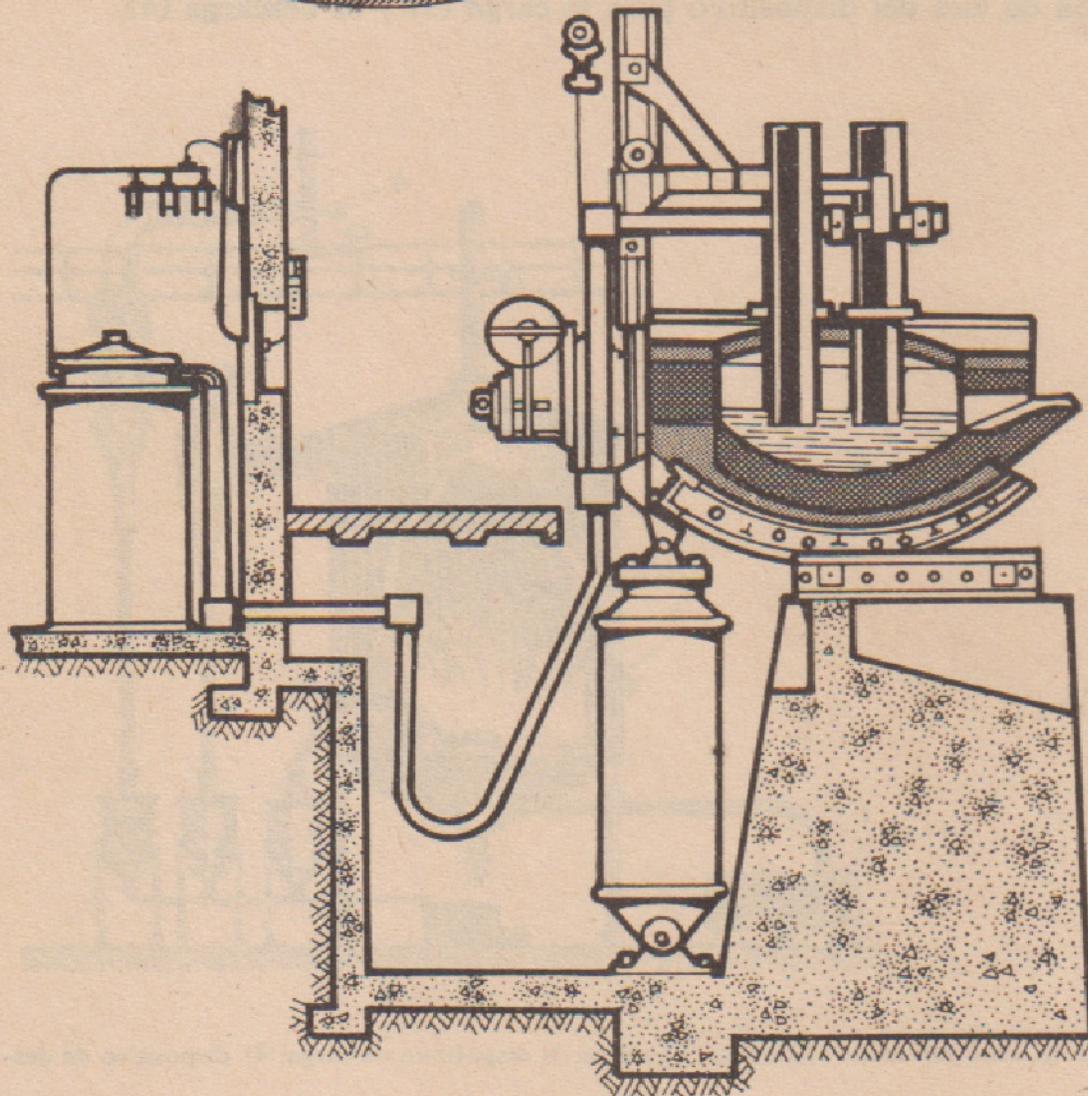


Fig. 5.18 Horno de arco eléctrico

Los hornos de arco eléctrico constituyen una variante de los hornos de resistencia, en los cuales se utiliza como resistencia la atmósfera del horno incluida entre dos electrodos de carbón y entre los cuales salta un arco eléctrico (Fig. 5.18). Pueden ser de acción directa o indirecta. En el primero, el arco arde entre los electrodos dentro del material, mientras que en el segundo, los electrodos están situados por encima del material. Se utilizan ampliamente para refinar cobre y níquel, así como para producir acero y otros metales.

Los hornos de inducción pueden ser de baja o alta frecuencia. En los primeros surge el fenómeno de inducción entre un devanado y la materia que se va a calentar, situada dentro de él, y que constituye el secundario de una bobina de inducción; en los segundos se rodea un crisol, recipiente hecho con materias refractarias que se utiliza para fundir o tostar materiales, con una bobina solenoide hecha de un tubo de cobre, y a través del cual circula agua.

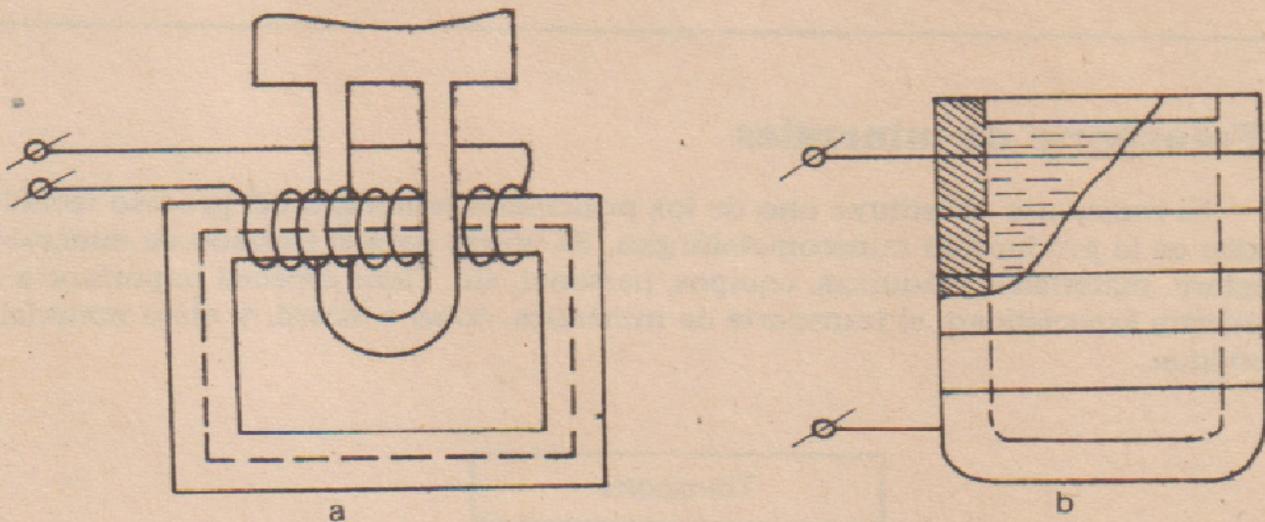


Fig. 5.19 Esquema de calentamiento por inducción: a) indirecta; b) directa

En la figura 5.19 se muestra un esquema de calentamiento por inducción.

Por último, en los hornos electrolíticos se combina el calentamiento obtenido por resistencia o por inducción, con los fenómenos de electrólisis.

Procesos auxiliares. Protección del trabajo. Economía

Transporte de minerales

El transporte constituye uno de los principales eslabones del proceso tecnológico en la producción minerometalúrgica. Se utiliza para el traslado de minerales, estéril, materiales, máquinas, equipos, personal, etc. Tiene especial importancia en nuestra especialidad, el transporte de minerales, colas o estéril, y otros materiales sólidos.

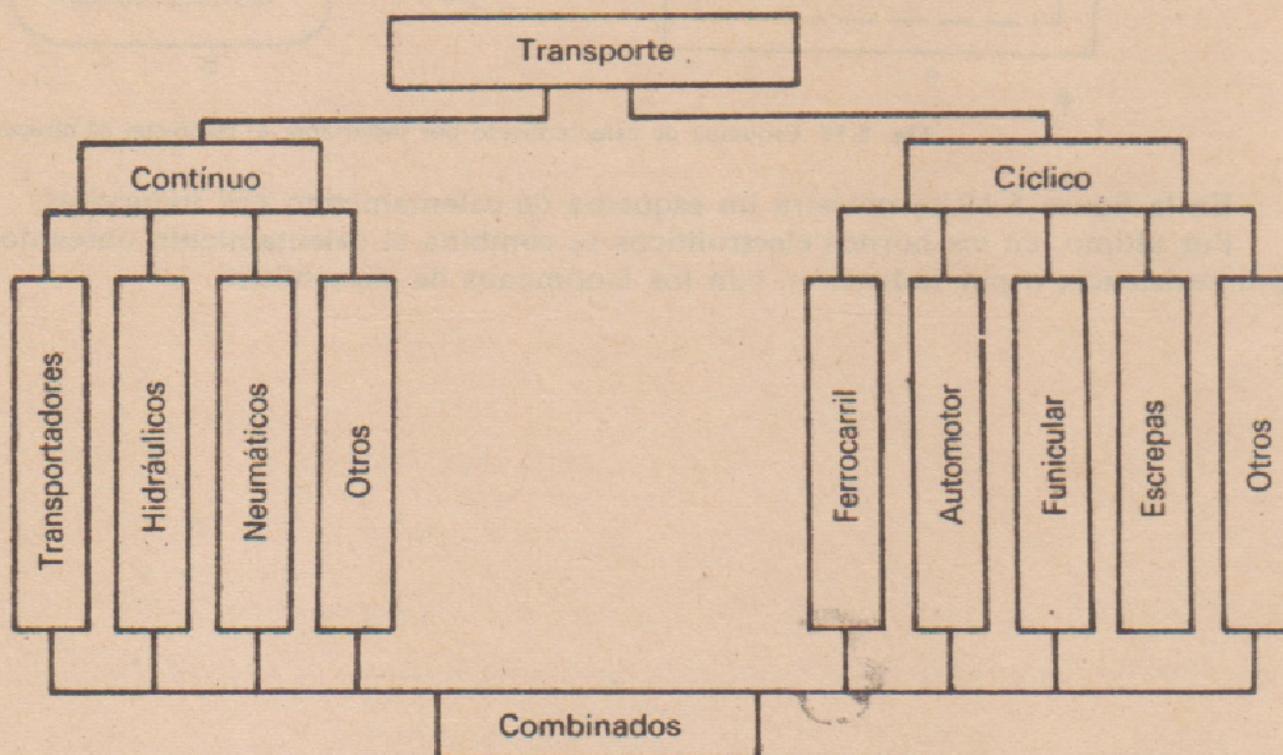


Fig. 6.1 Principales tipos de transporte de minerales

Al transporte le son características las peculiaridades del proceso de producción dado. Esto ha determinado, en muchos casos, la necesidad de estudiarlo en función de las condiciones de producción. De tal forma, en la industria minerometalúrgica suele diferenciarse el transporte subterráneo o a cielo abierto para la producción minera, y el transporte interno o externo para la producción en plantas de preparación mecánica, beneficio de minerales o metalúrgicas. Por otra parte, el transporte tiene características comunes que permite, dentro de ciertos límites, generalizar su estudio. Desde este punto de vista se puede clasificar por la forma de acción en continuo, periódico o cíclico.

En el primero de los casos, el movimiento de trabajo transcurre en forma continua y se mantiene, como regla, invariable por un largo período de tiempo. El transporte cíclico se lleva a cabo con desplazamientos periódicos, ejecutados en un ciclo determinado.

Entre los principales tipos de transporte de minerales se encuentran: el transporte ferrocarril, automotor, por transportadores, funicular, hidráulico, neumático, por escrepas y otros. Con frecuencia se utilizan más de un tipo de transportes combinados. Una forma abreviada de la clasificación mencionada se muestra en la figura 6.1.

Al mismo tiempo es necesario diferenciar dispositivos e instalaciones de transporte, en complejos tecnológicos de diferentes procesos de producción. A este grupo pertenecen las instalaciones y dispositivos de recepción, carga, almacenes, dosificadores, alimentadores, etcétera.

Transportadores

Los transportadores constituyen un tipo de transporte continuo, ampliamente difundido en la industria minerometalúrgica, tanto en el interior de las fábricas como en minas subterráneas y a cielo abierto, para distancias cortas, medias, e incluso largas.

En Cuba se utiliza para cortas distancias, en plantas de preparación mecánica, principalmente de materiales de construcción; en plantas de beneficio de minerales y metalúrgicas, así como en trabajos de apilado, almacenamiento y procesamiento de sal. Para distancias largas en la industria del níquel. Por ejemplo, en Nicaro, existen transportadores con una longitud de 3,2 km, combinados con transporte automotor y ferrocarril. En Moa, para el transporte de minerales lateríticos, se ha construido un transportador con una longitud de 2 800 m, combinado con transporte automotor e hidráulico. Por otra parte, los transportadores suelen ser elementos de importancia en combinadas, agregados, complejos, y otras máquinas minerometalúrgicas.

El transportador es conocido también con el nombre de *conveyor*. En principio consiste en una estera que se mueve sobre dispositivos colocados en sus extremos (Fig. 6.2), uno de los cuales es el motor, y el otro, el sistema de tracción.

De acuerdo con el tipo de elemento de trabajo se distinguen los transportadores de banda, de cangilones, de rastras, de placas, helicoidales, vibratorios y otros. (Fig. 6.3).

En el transportador de banda, el material se desplaza sobre una banda móvil que se apoya sobre rodillos y se mueve entre tamboras situadas en sus extremos

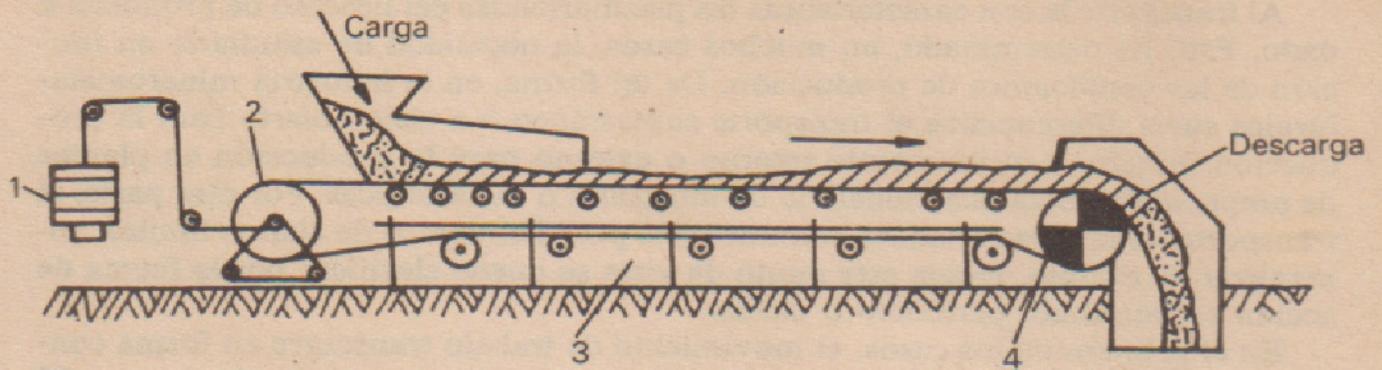


Fig. 6.2 Esquema de un transportador: 1) contrapeso; 2) tambora; 3) bastidor de apoyo; 4) tambora motriz

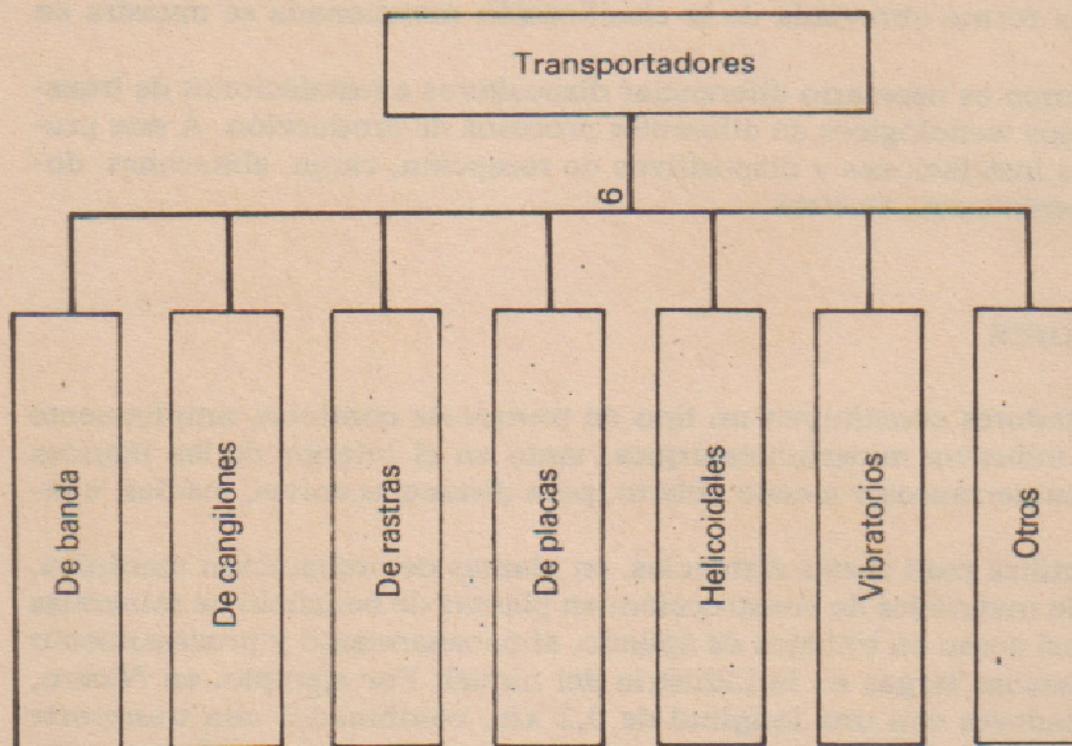


Fig. 6.3 Clasificación de los transportadores

(Fig. 6.4). Consta de la banda (1), la tambora motriz (2), la tambora de tensión (3), los rodillos (4), el dispositivo tensor —que no se muestra en la figura— y el accionamiento (5).

Los transportadores de banda han alcanzado gran difusión para el acarreo de minerales en la minería a cielo abierto, para el transporte interno de plantas de beneficio y metalúrgicas, así como formando parte de diferentes máquinas mineras.

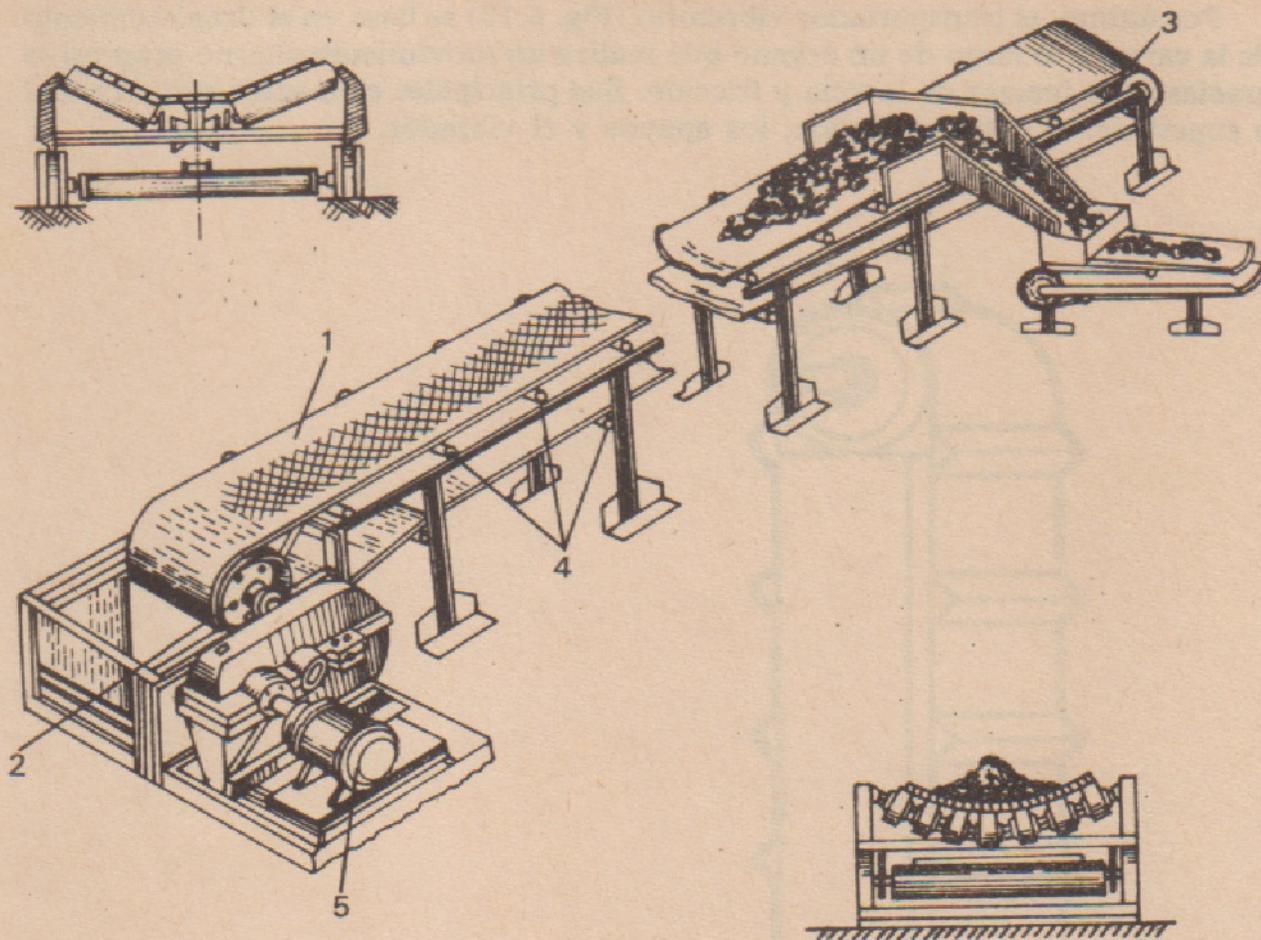


Fig. 6.4 Transportador de banda: 1) banda; 2) tambora motriz; 3) tambora de tensión; 4) rodillos; 5) accionamiento

Los transportadores de cangilones se utilizan principalmente en calidad de elevadores. En ellos el material se transporta en cucharas fijas a un órgano de arrastre, denominadas cangilones. Sus elementos principales son (Fig. 6.5) el órgano de tracción, el órgano de arrastre con los cangilones y el accionamiento. El transportador de cangilones se utiliza como elevador en plantas de beneficio y metalúrgicas, y como elemento de transporte en diferentes máquinas.

En el transportador de rastras (Fig. 6.6), el órgano de tracción está formado por una cadena central (o dos cadenas laterales), a la cual se encuentran fijadas las rastras, que se mueven sobre una canal y obligan a desplazarse al material. Se emplean para materiales no abrasivos y relativamente poco duros.

El transportador de placa (Fig. 6.7) posee una (o dos) cadena, a la cual se fijan las placas, y se mueve entre las tamboras. Las placas se superponen unas a otras y forman una estera de carga. La cadena o las placas tienen rodillos que giran sobre guías. La principal ventaja de este tipo de transportador consiste en su capacidad de transportar material pesado, abrasivo, a largas distancias y por trayectorias curvas. Esto último constituye una peculiaridad de este tipo de transportadores.

El transportador helicoidal (de tornillo o de rosca) (Fig. 6.8) consiste en una canal en la cual gira un tornillo sin fin. Se utiliza para cortas distancias y como alimentadores. Diferentes tipos de órganos de trabajo de transportadores helicoidales se muestran en la figura 6.9:

Por último, el transportador vibratorio (Fig. 6.10) se basa en el desplazamiento de la carga, a lo largo de un órgano que realiza un movimiento alterno progresivo gracias a las fuerzas de inercia y fricción. Sus principales elementos son: la canal o superficie, el sistema elástico, los apoyos y el vibrador.

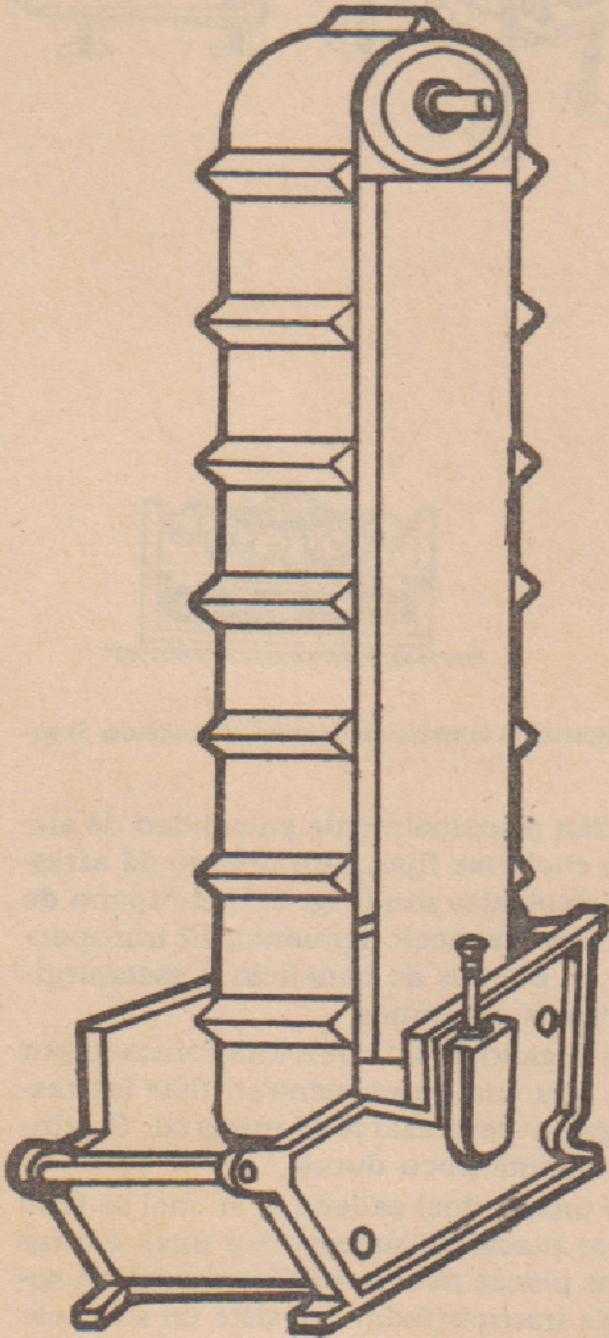


Fig. 6.5 Transportador de cangilones

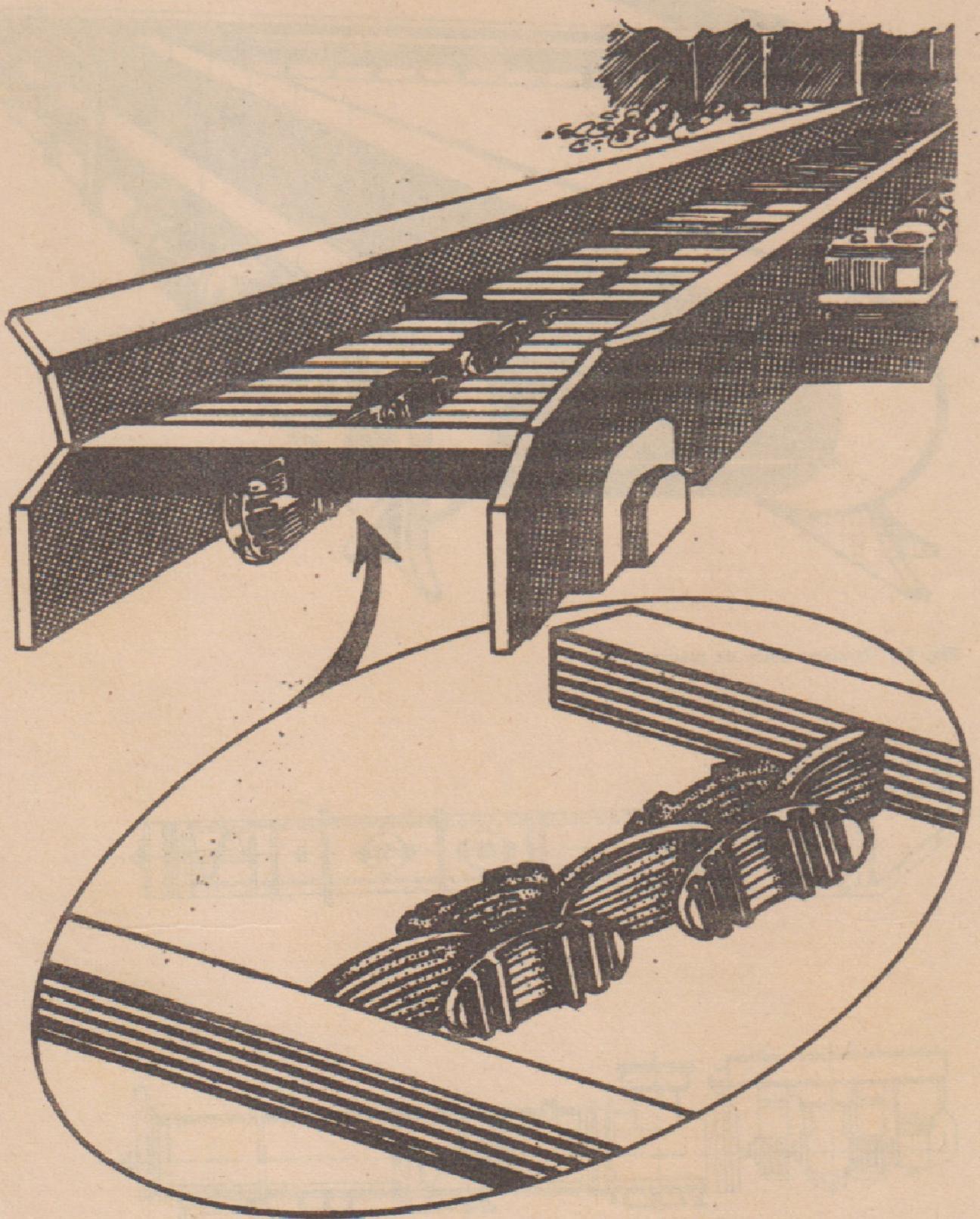


Fig. 6.6 Transportador de rastras

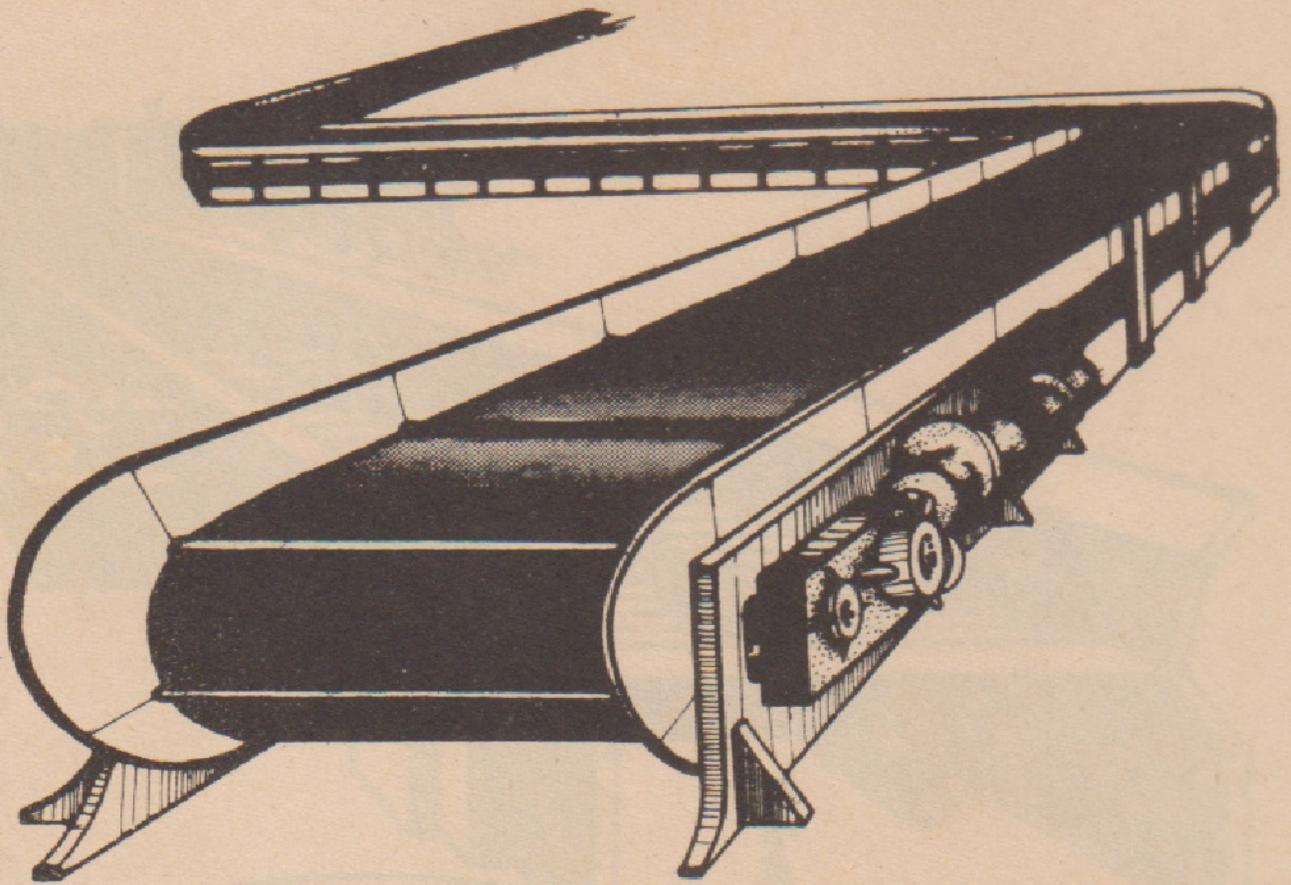


Fig. 6.7 Transportador de placas

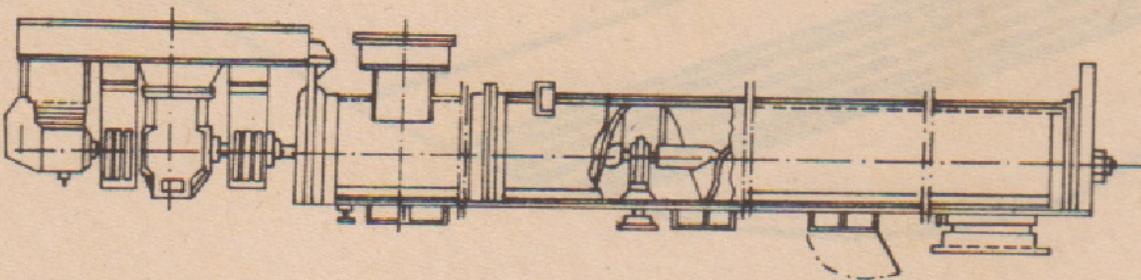
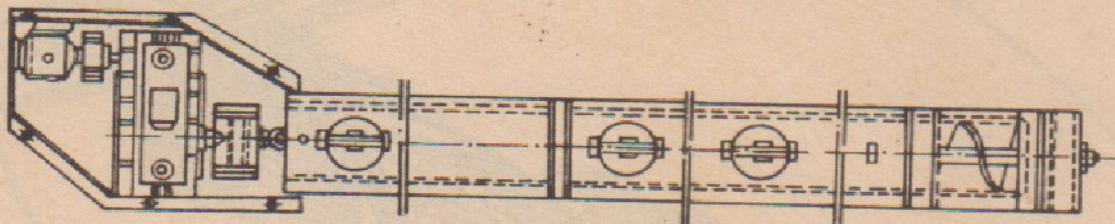


Fig. 6.8 Transportador de tornillo

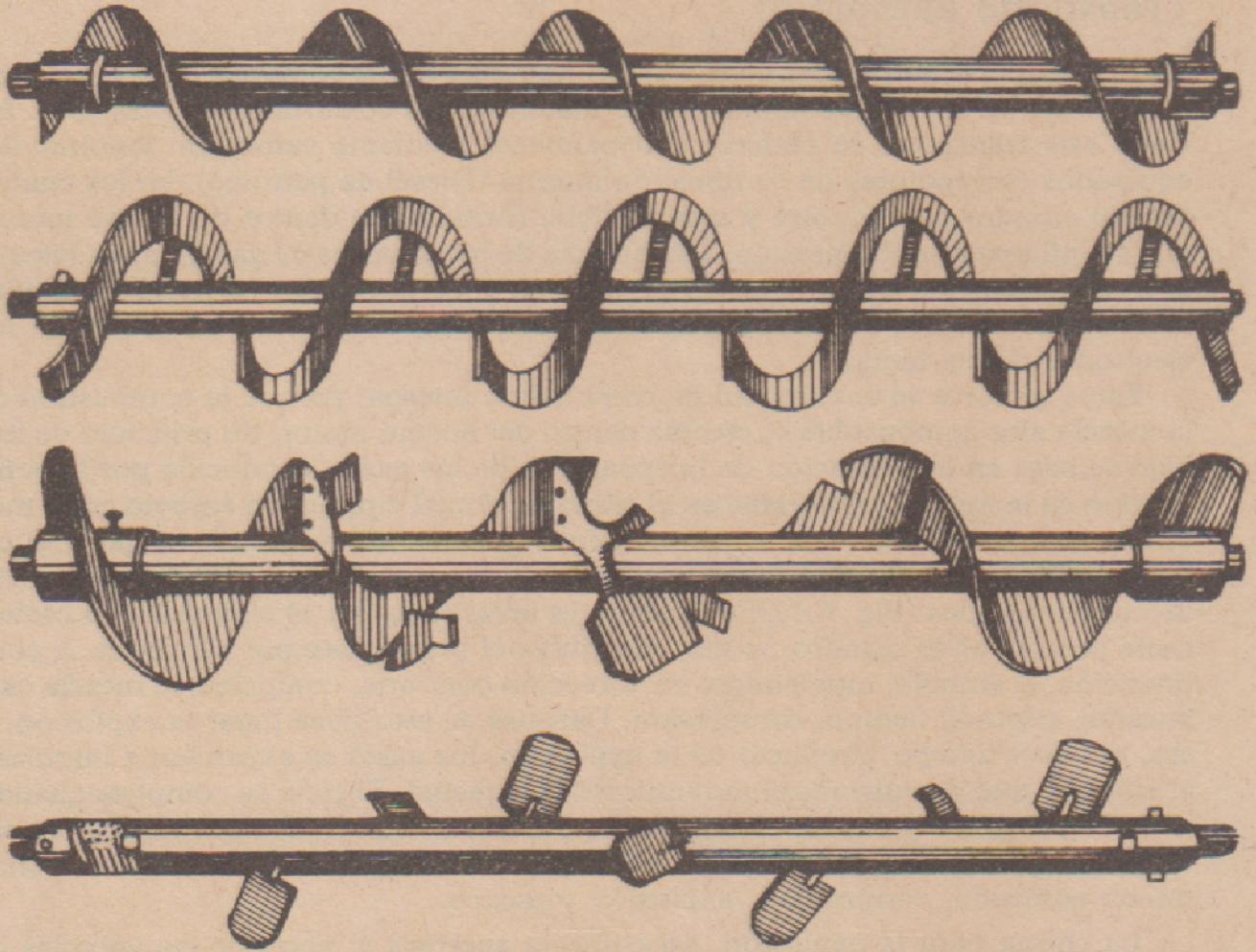


Fig. 6.9 Órganos de trabajo de transportadores helicoidales

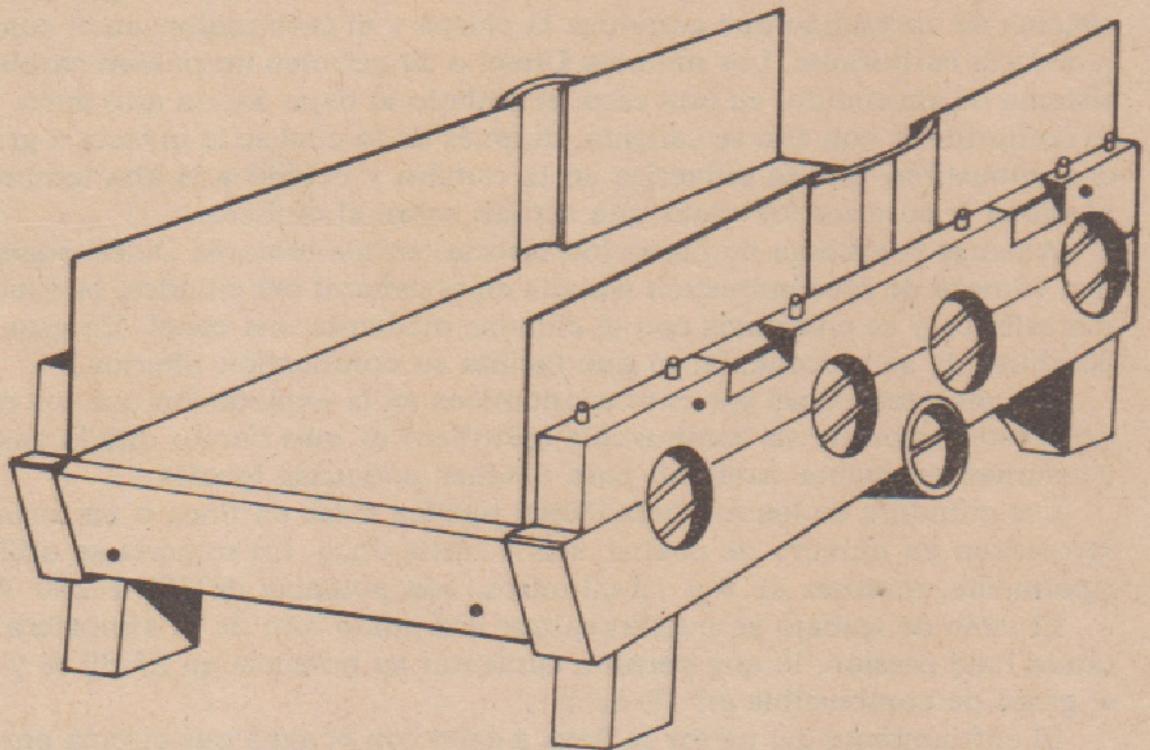


Fig. 6.10 Transportador vibratorio

Transporte automotor

El transporte automotor constituye el tipo más utilizado para el acarreo de minerales, en las industrias mineras y de materiales de construcción nacionales. En Cuba este transporte se realiza principalmente mediante camiones: automóviles equipados con motores de combustión interna (Diesel de petróleo), en los cuales, por un cilindro penetra aire y combustible, formándose dentro de él una mezcla que se inflama por compresión, a diferencia de los motores de gasolina, en los que la mezcla se forma en un dispositivo especial: el carburador y se envía al cilindro donde se produce la inflamación mediante una chispa eléctrica provocada por los electrodos de las bujías.

Estos motores se denominan de combustión interna, porque la combustión de la mezcla aire-combustible se efectúa dentro del mismo motor. Su principio de trabajo se basa en la utilización de la expansión de los gases, producida por la combustión de la mezcla carburante en el cilindro, el cual empuja un émbolo cuyo movimiento lineal se convierte en movimiento rotatorio de un árbol mediante el cigüeñal (Fig. 6.11). Pueden funcionar en ciclos de cuatro y dos tiempos. En el ciclo de cuatro tiempos (Fig. 6.12), el émbolo es arrastrado por el cigüeñal y el carburante penetra en el cilindro, lo que constituye el primer tiempo: admisión. A continuación, el émbolo, moviéndose en dirección contraria, comprime la mezcla carburante; segundo tiempo: compresión. Después de esto tiene lugar la explosión; o sea, el tercer tiempo. Producto de la explosión, los gases se expanden e impulsan al émbolo, que le transmite el movimiento al cigüeñal. El ciclo se completa cuando el émbolo regresa y expulsa los gases ya utilizados; cuarto tiempo: escape. De tal forma, los recorridos del émbolo constituyen los tiempos del ciclo, que se denominan admisión, compresión, explosión y escape.

La chispa para la explosión, así como la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape, se logra en el momento adecuado mediante la sincronización con el cigüeñal. Como se dijo anteriormente, en los motores de gasolina existe un sistema de encendido que garantiza la chispa y el carburador, en el cual se forma la mezcla carburante. Los motores Diesel o de petróleo no poseen carburadores ni sistema de encendido, en este caso, el émbolo al bajar aspira aire puro, y al subir, lo comprime y con ello se calienta, después de lo cual se le inyecta a gran presión el combustible, que se pulveriza en la cámara y debido a la alta temperatura explosiona y produce los gases que actúan sobre el émbolo.

Además el sistema de inyección directa, en los motores Diesel suele utilizarse una cámara de precombustión situada en el cabezal del cilindro, la cual tiene forma esférica y se comunica con el cilindro mediante una canal. En esta cámara el combustible se precalienta, lo que facilita su combustión ulterior.

Los motores Diesel son más económicos en la explotación que los motores de carburador, porque su combustible (petróleo) es más barato que la gasolina y lo consumen en menor cantidad para obtener potencias iguales.

Los cilindros de los motores Diesel pueden estar en línea o en forma de V, y se colocan en número de cuatro, seis y hasta doce. En minería se utilizan, principalmente, motores de 8 y 12 cilindros, con potencia de 300-1 200 W.

El ciclo de trabajo se puede realizar enfriando aire de la atmósfera, o impulsando bajo presión, lo que permite aumentar su potencia en 25-30 % y disminuir el gasto de combustible en 10-12 %.

El enfriamiento del motor se lleva a cabo con el agua que circula por la camisa que le rodea, impulsada por una bomba; esta agua se enfría posteriormente en el radiador.

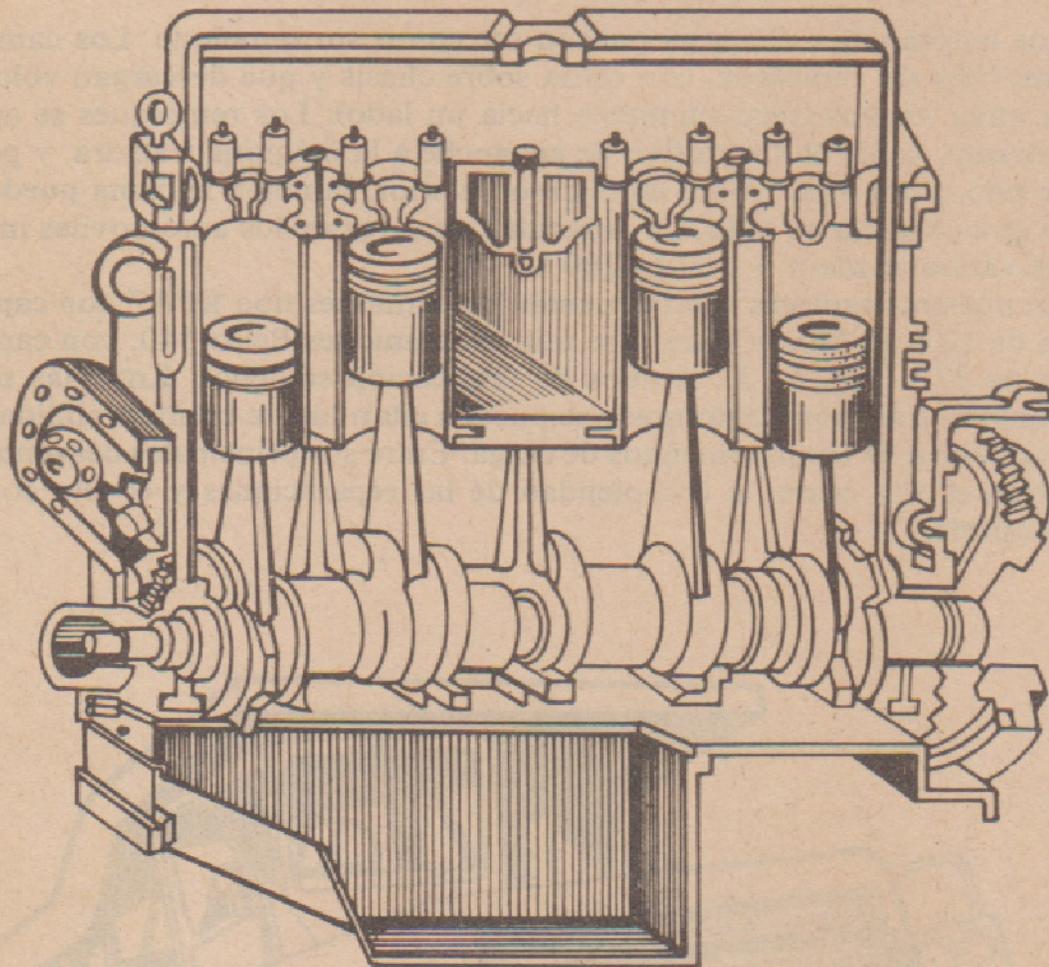


Fig. 6.11 Motor de combustión interna

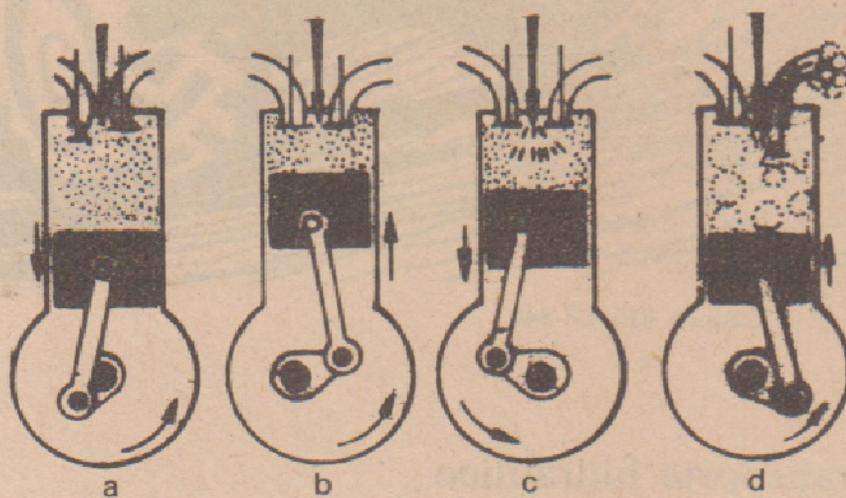


Fig. 6.12 Tiempos de trabajo del motor de combustión interna: a) admisión; b) compresión; c) explosión; d) escape

Los automóviles de carga pueden ser con o sin remolque. Los camiones son automóviles sin remolque, con cama sobre chasis y que descargan volcando esta hacia atrás (menos frecuentemente hacia un lado). Los remolques se apoyan, en un extremo, sobre el dispositivo de enganche a la máquina tractora, y por el otro, sobre uno o dos ejes. Como en el caso anterior, también la cama puede volcarse hacia atrás o hacia un lado. La capacidad de carga de los automóviles mineros actuales varían desde 4-5 t hasta 200 t.

En nuestras canteras son frecuentes los camiones tipo KPAZ con capacidad de carga de 12 t; en Moa y Nicaro se utilizan camiones Belaz-540, con capacidad de carga de 27 t (Fig. 6.13). Ambos de fabricación soviética. Entre las principales ventajas del transporte automotor se pueden citar: la alta maniobrabilidad y la alta productividad de los mecanismos de carga. Entre sus principales desventajas se encuentran el alto costo, la complejidad de las reparaciones y el alto consumo de combustible.

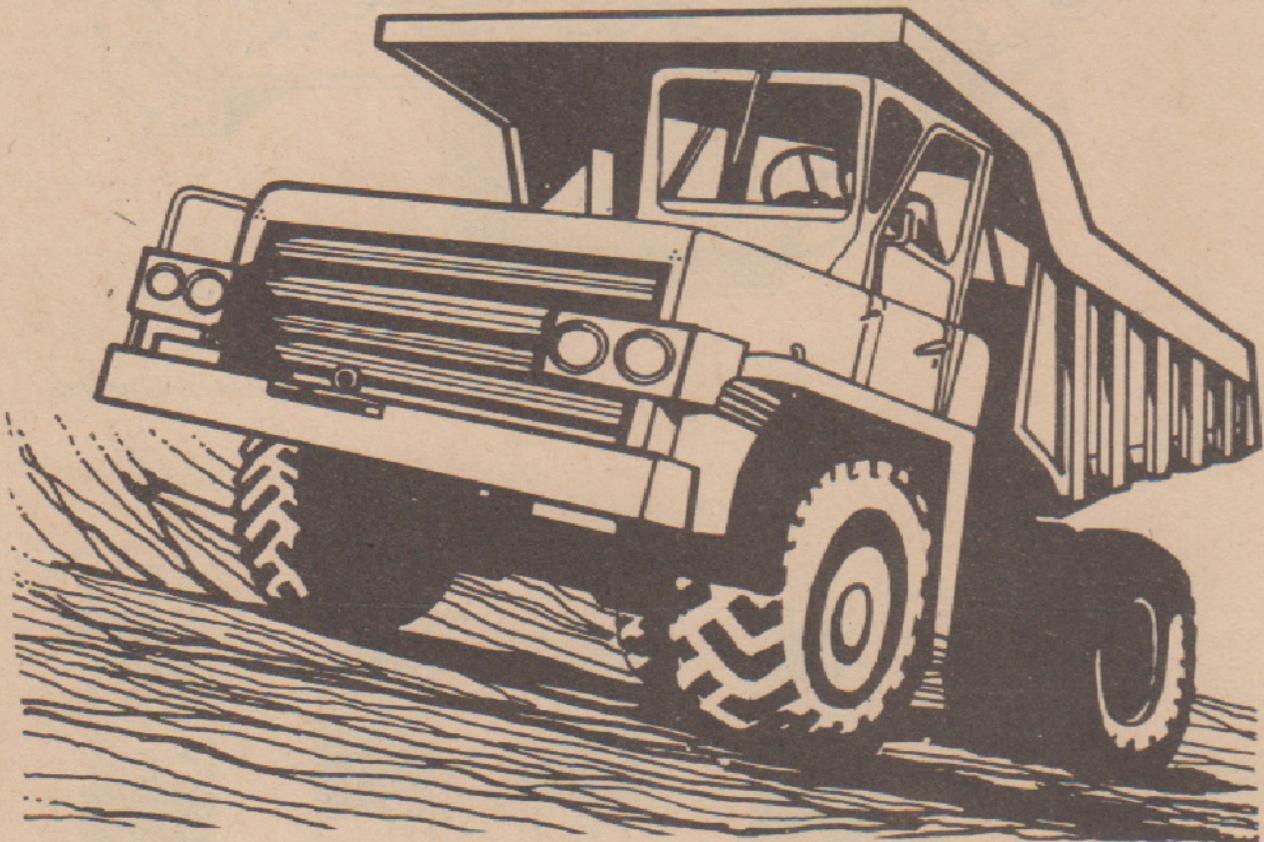


Fig. 6.13 Camión BELAZ-540

Transporte hidráulico

El principio de acción del transporte hidráulico se basa en el desplazamiento de cargas sólidas suspendidas en flujos de agua o en una mezcla de agua con partículas muy finas en suspensión, y por extensión, en cualquier otro líquido. La mezcla de líquido con sólidos insolubles se denomina pulpa.

El transporte hidráulico puede ser de dos formas: por gravedad (Fig. 6. 14), donde se aprovecha la diferencia de nivel; en este caso, el flujo se mueve por gravedad, en canales o en tubos cuya sección transversal no se llena completamente,

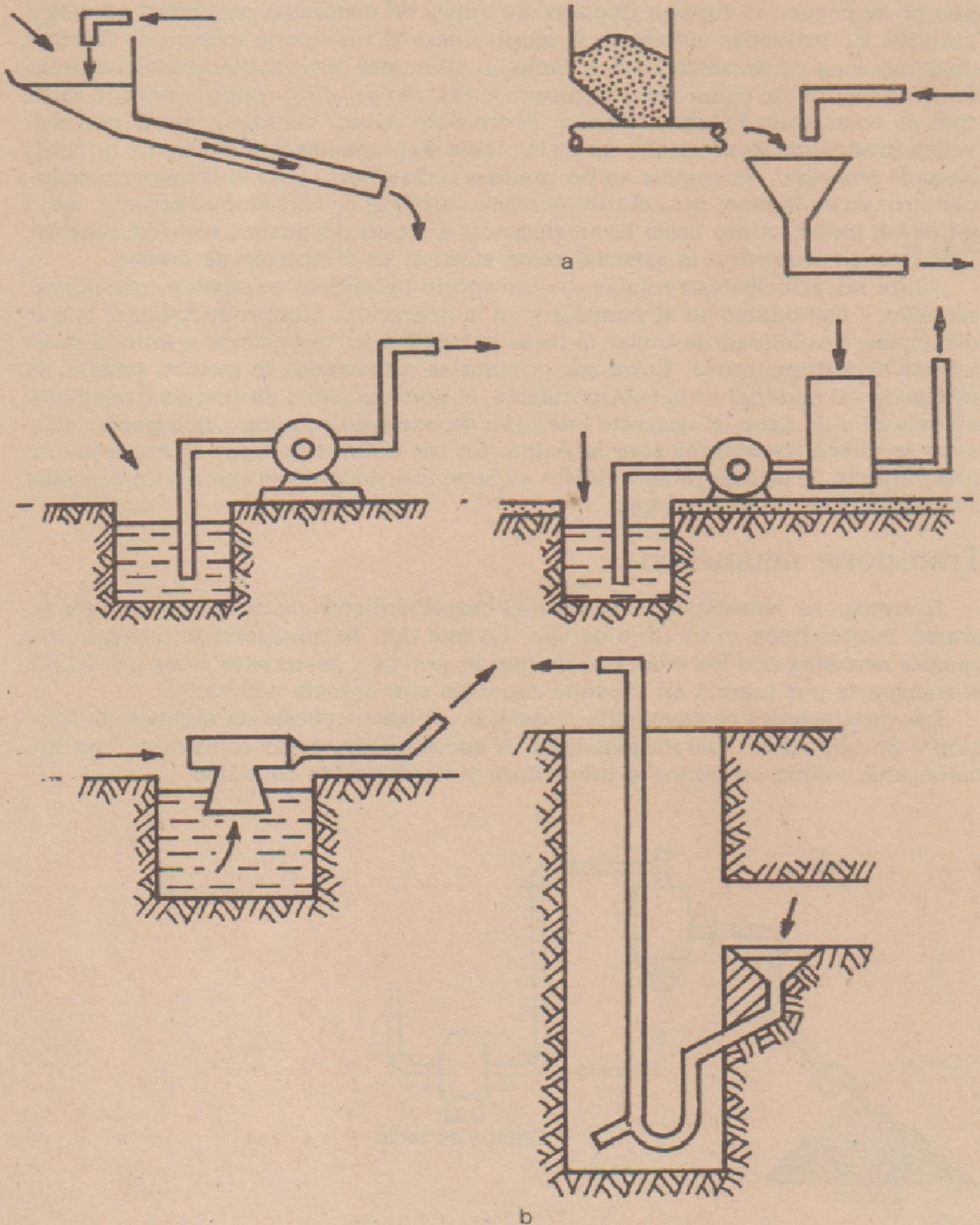


Fig. 6.14 Esquema de transporte hidráulico por gravedad y a presión: a) por gravedad; b) a presión

y a presión (fig. 6.14b), cuando la pulpa se desplaza por la tubería a presión; presión que puede desarrollarse mediante una máquina o dispositivo impulsor, o cuando, por gravedad, se llena completamente la tubería.

Mediante transporte hidráulico se pueden transportar sólidos no higroscópicos, que no se peguen ni formen flóculos. Se utiliza en distancias pequeñas, medias y grandes. En pequeñas distancias se emplea para el transporte interno de fábricas de la industria minerometalúrgica, tanto en diferentes procesos tecnológicos como en el transporte de colas. Como transporte externo se utiliza tanto a presión (acarreo de colas en la Fábrica "Comdte. Pedro Soto Alba," de Moa), como por gravedad (transporte de minerales desde la planta de pulpa hasta la fábrica de la mencionada empresa). Se emplea en las minas a cielo abierto para el transporte de escombros en el destape; para el transporte de carbón y de carbón pulverizado, tanto desde las minas, como hasta termoeléctricas a largas distancias, respectivamente. Este tipo de transporte es especialmente efectivo en el acarreo de arenas.

Entre las principales ventajas del transporte hidráulico se pueden mencionar: sencillez y comodidad en el montaje y en la operación, alta productividad, largas distancias, posibilidad de trazar la línea por cualquier trayectoria y amplia posibilidad de automatizarse. Entre sus principales desventajas se pueden señalar: la molienda del material en la transportación, el gran consumo de energía (transporte a presión) y de agua, el desgaste intensivo de bombas, equipos y la especificidad, pues se puede transportar solo la pulpa. En los últimos tiempos se experimenta una variante de transporte hidráulico, en la cual el material se acarrea en cápsulas suspendidas en flujos líquidos.

Transporte neumático

El transporte neumático se basa en el desplazamiento de materiales sólidos (a granel) suspendidos en un flujo de aire. En este tipo de transporte se incluyen los canales aerados por los cuales se desplazan polvos y materiales finos, así como el transporte por tubería en cápsulas movidas con energía neumática.

Las instalaciones de transporte neumático pueden trabajar en régimen de succión o de impulsión. Las instalaciones de succión (Fig. 6.15) constan de una tubería, una bomba de vacío, la tubuladura y el separador de sólido.

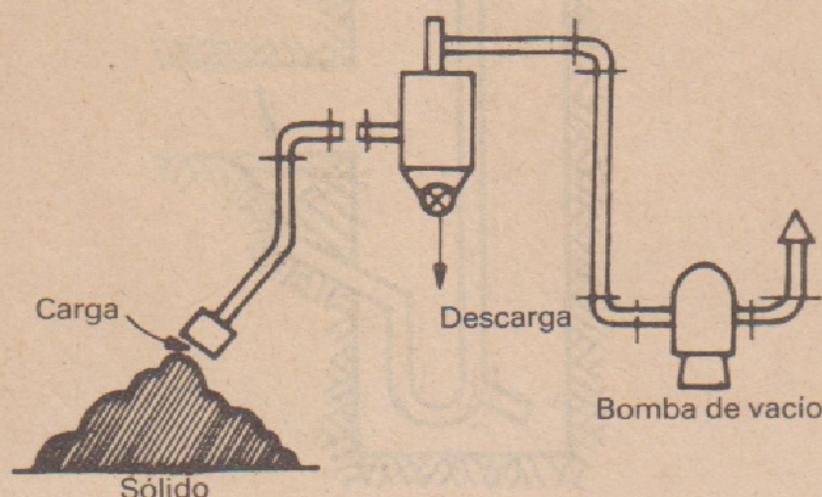


Fig. 6.15 Esquema de transporte neumático por succión

Las instalaciones de impulsión (Fig. 6.16) constan de dispositivos de carga (alimentador), que garantizan la entrega uniforme del material a la conductora, el compresor, la tubería y el separador de sólido.

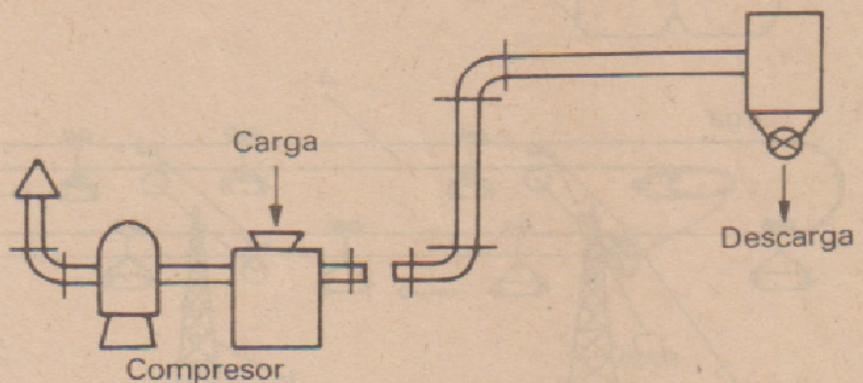


Fig. 6.16 Esquema de transporte neumático por impulsión

En la industria minero metalúrgica se utilizan principalmente las instalaciones de impulsión. Las de succión se usan para el transporte de serrín.

En las instalaciones neumáticas se pueden transportar materiales dispersos que no se pegen: arena, gravilla, granos, cemento, etc., con productividad de hasta 500 t/h y distancias hasta de 700 m. En Cuba se utiliza el transporte neumático, en el acarreo de materiales triturados y secados, según el esquema de lixiviación amoniacal que se aplica actualmente en Nicaro. Es frecuente el uso de este tipo de transporte para el acarreo de cemento a cortas distancias, en particular para el traslado de uno a otro medio de transporte.

Entre las principales ventajas del transporte neumático se pueden citar el alto grado de automatización y la posibilidad de utilizarlo en materiales que deben estar secos. Sus principales desventajas son el desgaste intensivo, la molienda del material, la producción de polvo y ruido, el gran consumo de energía y la necesidad de utilizar un compresor. Este tipo de transporte es especialmente eficaz en el desplazamiento de serrín, en la eliminación de polvo y en el transporte de cemento a cortas distancias.

Funiculares

El principio de acción de los funiculares se basa en el desplazamiento de la carga en vagonetas por una vía de cable aéreo. Este tipo de transporte se utiliza tanto para cargar minerales como personal; puede ser circular (Fig. 6.17) o pendular. Los funiculares pueden ser de uno y de dos cables. En el primer caso, un solo cable sirve de carga y tracción. En el segundo caso hay dos cables: uno de carga y otro de tracción.

Los funiculares de dos cables tienen estaciones de carga y descarga en los extremos. La carga y la descarga es automática.

En el caso del funicular pendular, la vagoneta se conecta al cable de tracción, con la ayuda del cual se desplaza por el cable de carga. Puede ser de una o dos vías.

En la industria minero metalúrgica cubana se utiliza el funicular para el transporte de concentrado de cobre a una distancia de 12 km, desde la unidad minera "Capitán Alberto Fernández", de Matahambre, hasta el puerto de Santa Lucía. En la misma unidad se emplea el funicular pendular para el transporte, a corta distancia, de minerales hasta la planta de beneficio.

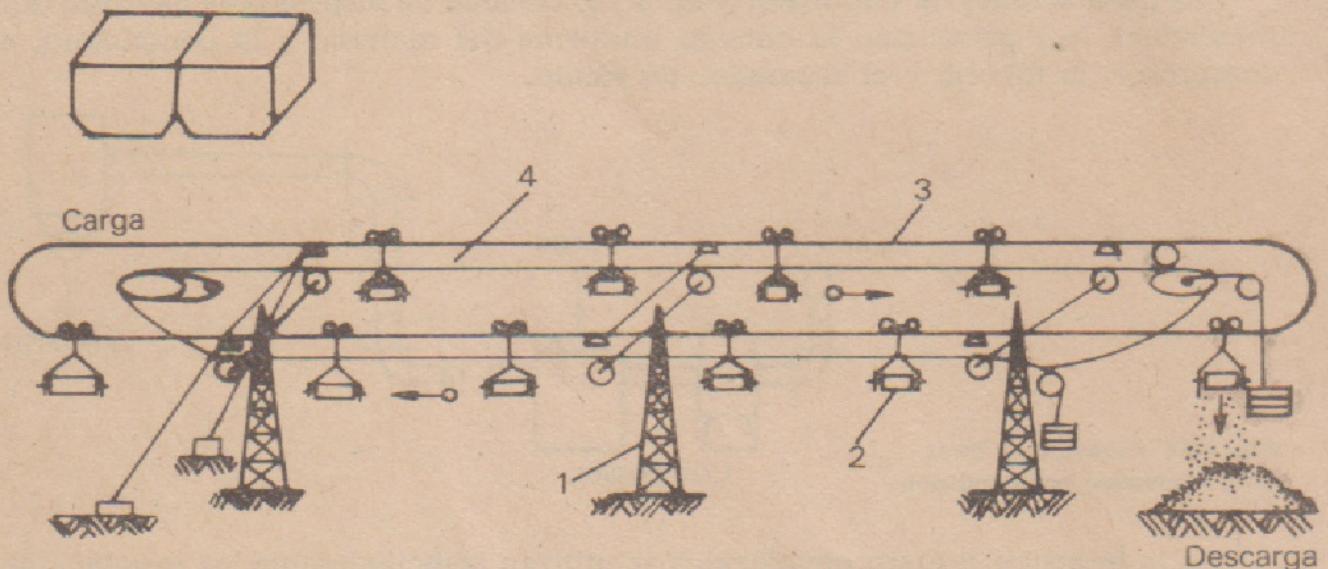


Fig. 6.17 Funicular circular: 1) torres de apoyo; 2) vagonetas; 3) y 4) cable de tracción

Entre las principales ventajas del funicular se encuentran: la independencia con respecto al perfil del camino y posibilidades de automatización. Entre sus desventajas, la baja productividad, la sensibilidad ante los vientos y la necesidad de inversiones relativamente grandes.

Transporte por rieles

El transporte por rieles se utiliza ampliamente en la industria minero metalúrgica, para el desplazamiento de cargas muy variadas, tanto en minas a cielo abierto y subterráneas –para minerales y estéril–, como en plantas metalúrgicas para el transporte mineral.

Las vagonetas pueden ser tiradas por máquinas de vapor, diesel o eléctricas. Las locomotoras eléctricas pueden ser de acumuladores (pequeñas locomotoras para uso subterráneo), de contacto (con *trolley*, que suministra la energía) y combinadas.

En todos los casos, el complejo de transporte consta del tren de vagones o vagonetas, la máquina de tracción, las vías y los dispositivos de automatización y señalización, así como las instalaciones de reparación y mantenimiento.

En Nicaro, el ferrocarril se utiliza para el transporte de minerales desde la mina hasta la Planta "René Ramos Latour", y en condiciones subterráneas.

Otros tipos de transporte

Entre los otros tipos de transporte tiene importancia para la industria minero metalúrgica el transporte por gravedad, cuyo principio de acción se basa en el deslizamiento o rodamiento de los materiales por planos inclinados o por caída libre en la vertical. El transporte se realiza por el suelo, por cubiertas de madera o metálicas, por canales abiertos o cerrados, por tubos helicoidales o por cascada (Fig. 6.18). En todos los casos, el transporte solo es posible cuando se trata de hacer bajar la carga, y por esta causa es frecuente en la industria minera. Entre las ventajas

de este tipo de transporte se encuentra: la alta productividad y la ausencia de equipos electromecánicos, y entre sus desventajas: la especificidad de su aplicación, la trituration del material y un alto desgaste.

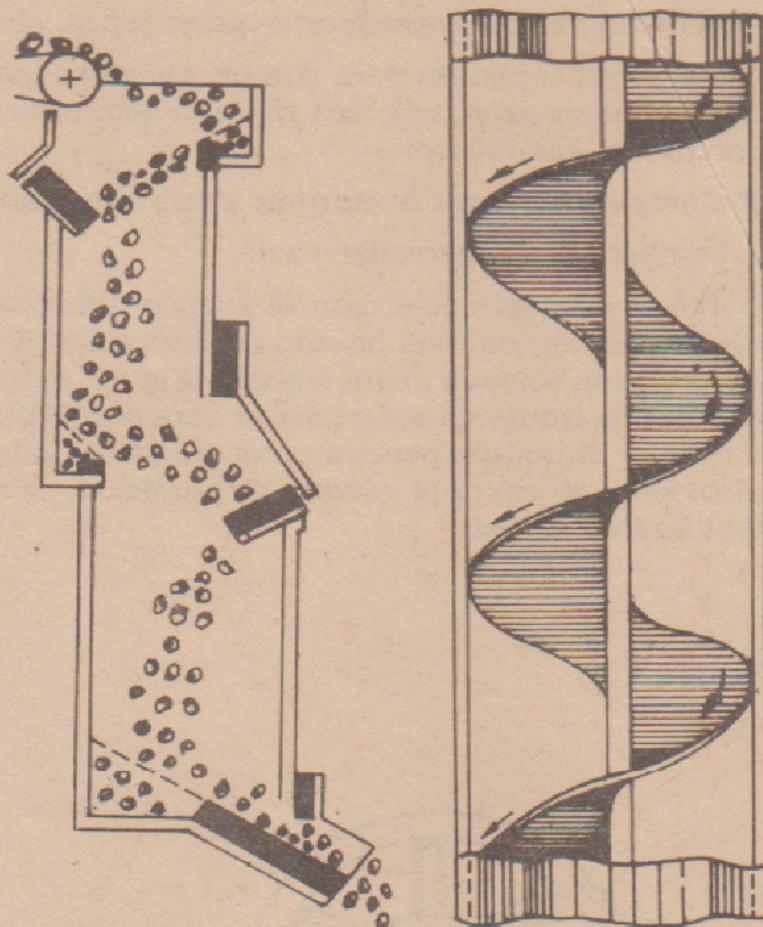


Fig. 6.18 Esquema de transporte por gravedad

Máquinas y dispositivos para transportar fluidos

El estudio de las máquinas para transportar fluidos, y las instalaciones de estas, ocupa un lugar de importancia en el plan de estudio del ingeniero electromecánico, además, la explotación racional de dichas plantas forma parte importante del contenido de trabajo de este ingeniero.

Los fluidos se desplazan de las zonas de mayor energía específica a las de menor. Esto puede suceder en forma natural, por ejemplo, el movimiento de las aguas de un río o el del aire; en el primer caso, determinado por la acción de las fuerzas de gravedad que provoca la diferencia de nivel, y en el segundo, por la diferencia de temperatura y presión de las masas de aire; pero en la mayoría de los casos es indispensable situar máquinas o dispositivos encargados de transmitir la energía al fluido para obligarlo a desplazarse.

La energía se puede transmitir imprimiéndole velocidad o presión al fluido, o haciéndolo cambiar de situación. En el primer caso, la máquina o dispositivo se

denomina impulsor, y, en el segundo, elevador. A este último grupo pertenecen las norias, los elevadores de cangilones, etcétera.

Los impulsores en función de su destino se clasifican en:

- a) bombas para transportar líquidos;
- b) ventiladores para transportar gases (aire), sin comprimirlos;
- c) máquinas soplantes para comprimir gases, pero sin alcanzar un alto grado de compresión es decir, con una relación determinada entre la presión de salida y de entrada del gas inferior;
- d) Compresores para comprimir gases con grado de compresión superior a 3;
- e) bombas para desarrollar vacío.

Por el principio de acción se pueden diferenciar las máquinas de acción volumétrica, en las cuales el líquido es desplazado de un espacio de trabajo (cilindro), por la acción forzada de un émbolo (Fig. 6.19) que se mueve alternativamente. Al moverse de izquierda a derecha se abre la válvula de admisión, se cierra la de impulsión, y el líquido penetra en el cilindro. Cuando el movimiento es de derecha a izquierda se cierra la válvula de admisión, se abre la de impulsión y el flujo es impulsado a la red.

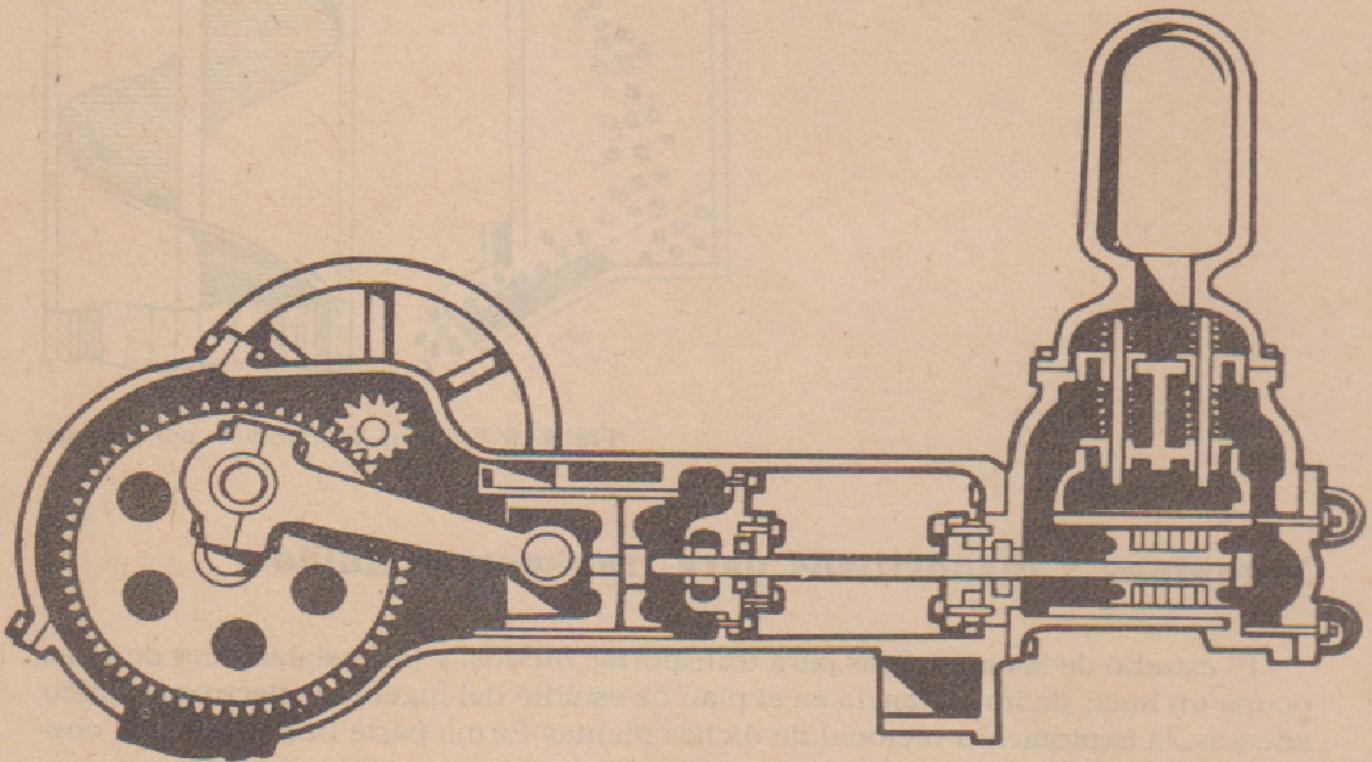


Fig. 6.19 Bomba de émbolo

Este tipo de máquina se utiliza ampliamente para ejercer la función de bombas y compresores. Al tipo de impulsores volumétricos pertenecen también las bombas y los compresores de tornillo, en los cuales el fluido es forzado a desplazarse de una cámara por la acción de un rotor en forma de tornillo (Fig. 6.20), y las bombas de engranaje (Fig. 6.21), en las cuales el fluido se desplaza entre los dientes de los engranes. La bomba de engranaje es ampliamente utilizada como alimentador de lubricante.

Las turbomáquinas, cuyo principio de trabajo se basa en la interacción de los álabes de un rodete de trabajo con el fluido. El principal elemento de las turbomáquinas lo constituye el rodete (Fig. 6.22) con paletas perfiladas y combadas, denominadas álabes.

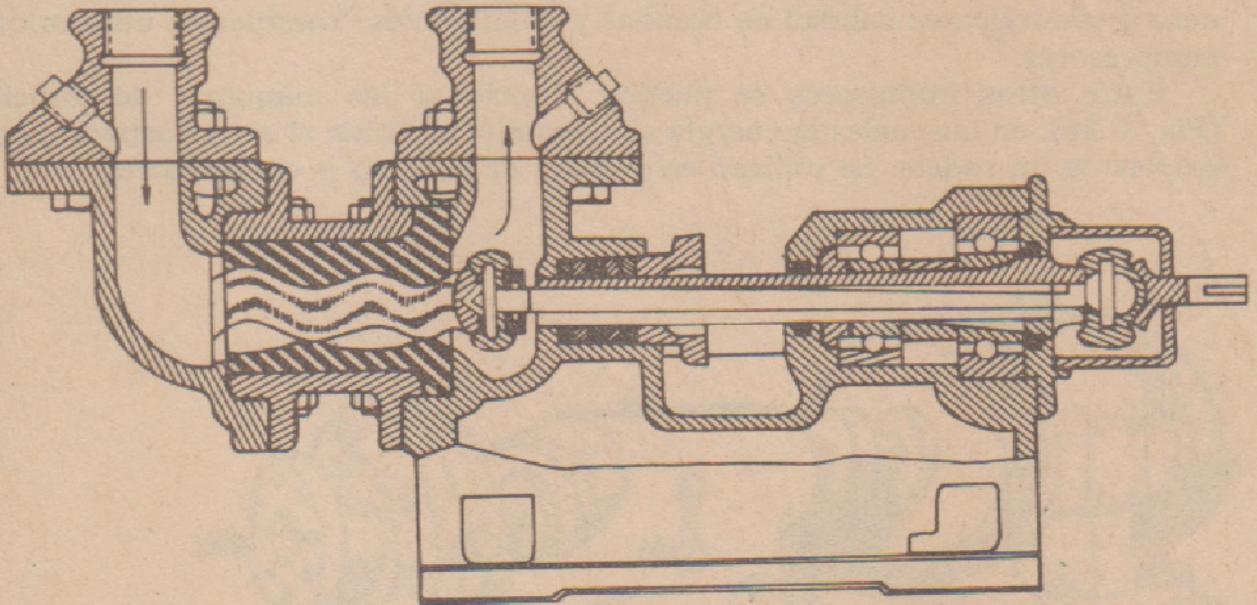


Fig. 6.20 Bomba de tornillo

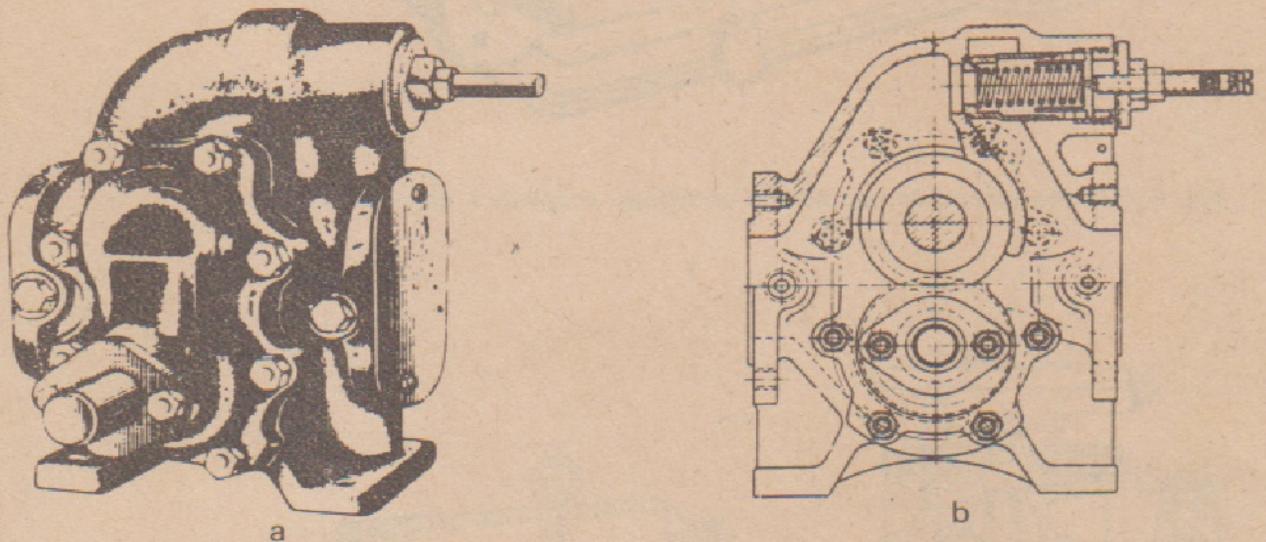


Fig. 6.21 Bomba de engranaje: a) aspecto exterior; b) corte transversal

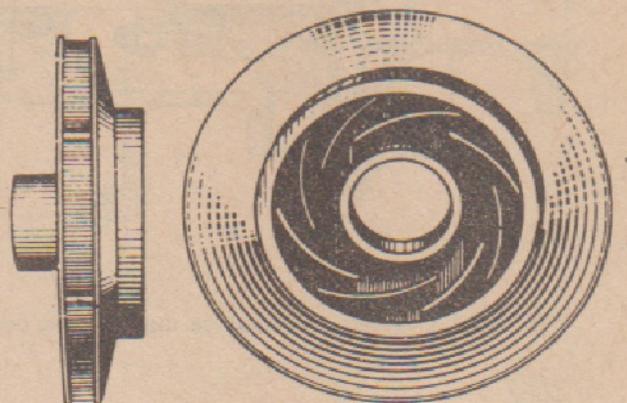


Fig. 6.22 Vistas frontal y lateral del rodete de una turbomáquina

De acuerdo con el tipo de rodete, las turbomáquinas se dividen en centrífugas y axiales. En las primeras (Figs. 6.23 y 6.24), el flujo penetra en forma axial y sale en dirección radial. En las máquinas axiales (Fig. 6.25), el flujo penetra y sale en dirección axial.

Las turbomáquinas se encuentran ampliamente difundidas en la industria minera metalúrgica en calidad de bombas y ventiladores. También se utilizan como compresores.

Entre otros impulsores se pueden mencionar las máquinas de torbellino (Fig. 6.26), en las cuales la energía se transmite al fluido al ser arrastrado por las paletas de un rodete. Se utilizan en calidad de bombas y compresores.

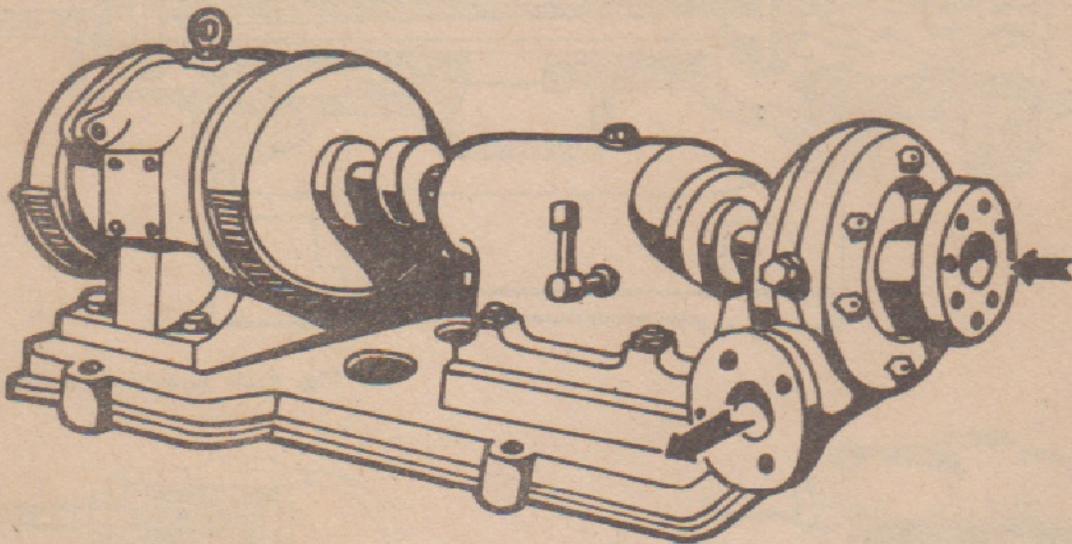


Fig. 6.23 Vista general de una bomba centrífuga, acoplada a un motor eléctrico

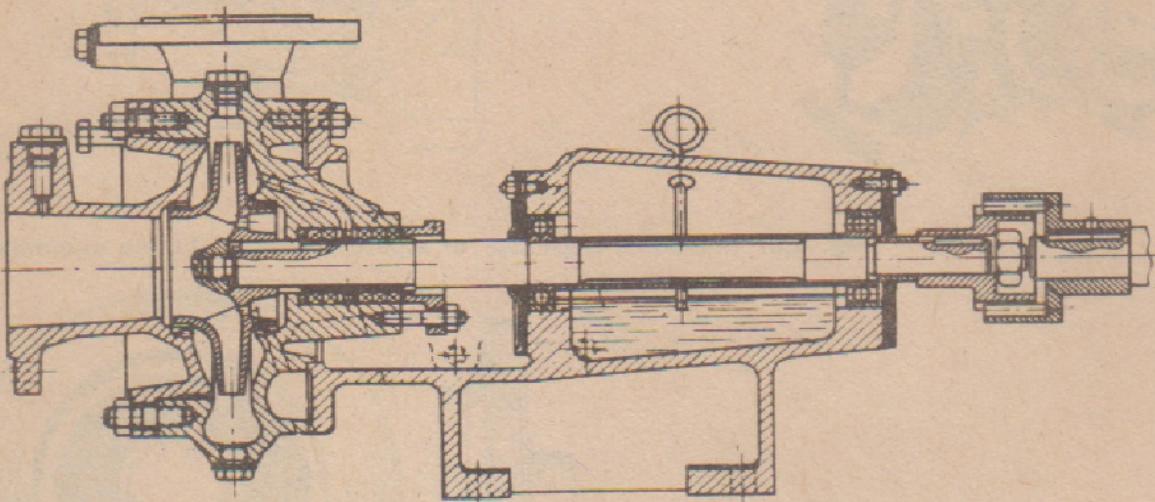


Fig. 6.24 Corte transversal de una bomba centrífuga

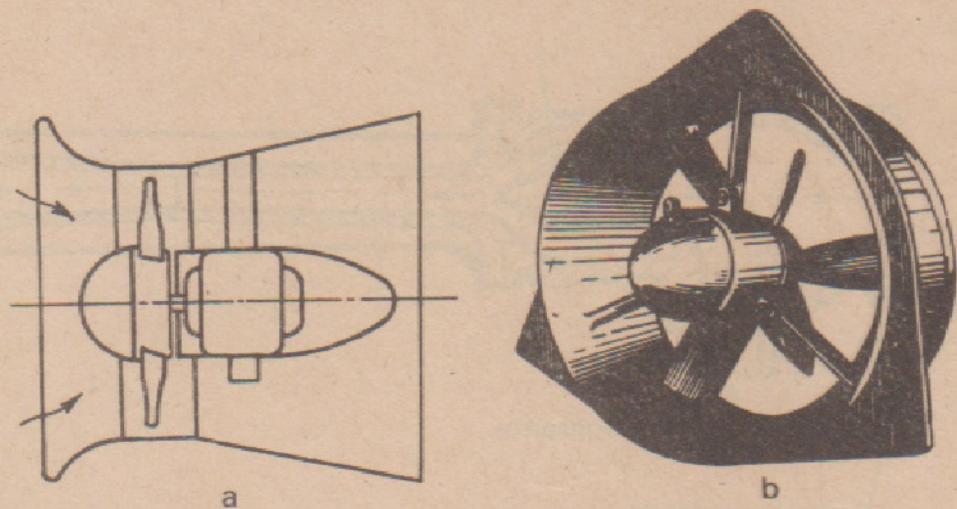


Fig. 6.25 Ventilador axial: a) esquema; b) vista externa

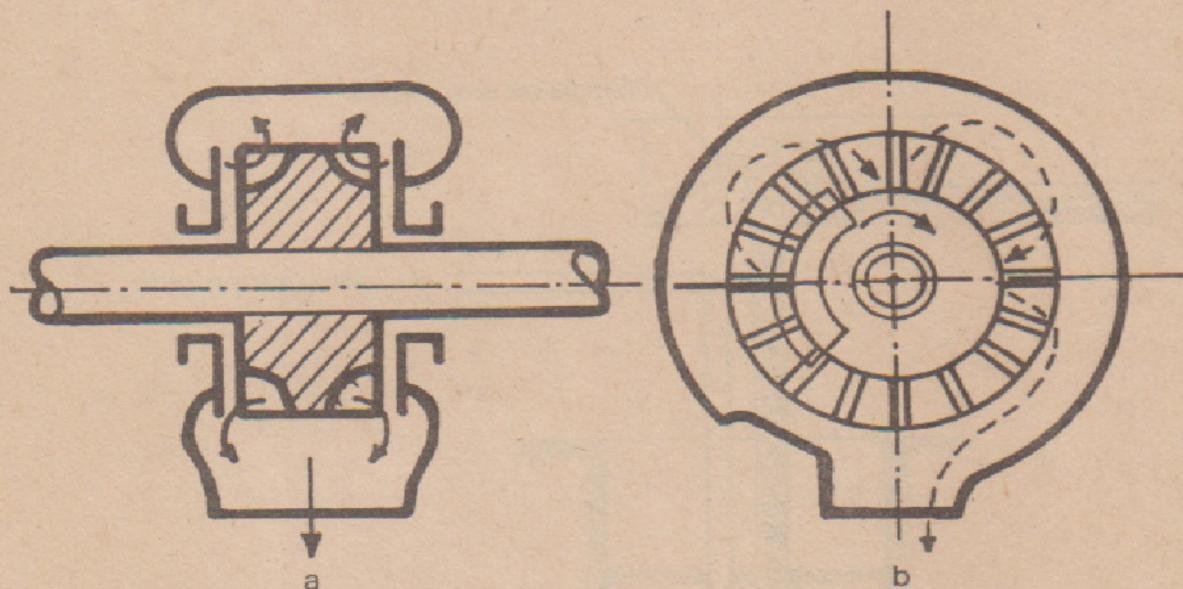


Fig. 6.26 Esquema de una bomba de torbellino: a) corte transversal; b) vista lateral

Las bombas de chorro, dispositivos mediante las cuales el líquido aspirado por el vacío que crea un fluido operante (líquido o vapor), al penetrar a gran velocidad a una cámara donde se mezclan, es forzado a desplazarse. A este grupo pertenecen los eyectores, inyectoros e hidroelevadores (Fig. 6.27).

Las bombas de chorro se utilizan para el transporte de pulpas en diferentes procesos de beneficio; además, su principio de acción es ampliamente utilizado en múltiples dispositivos y máquinas. Por ejemplo: en los motores de combustión interna.

Los neumoelevadores (Fig. 6.28), equipos en los cuales el aire comprimido se mezcla con el líquido a transportar, en una cámara de mezcla sumergida a cierta profundidad, y cuya interacción provoca el desplazamiento forzado por el conducto de impulsión, se emplean para el transporte de pulpa en plantas de beneficio y para el desagüe de minas inundadas.

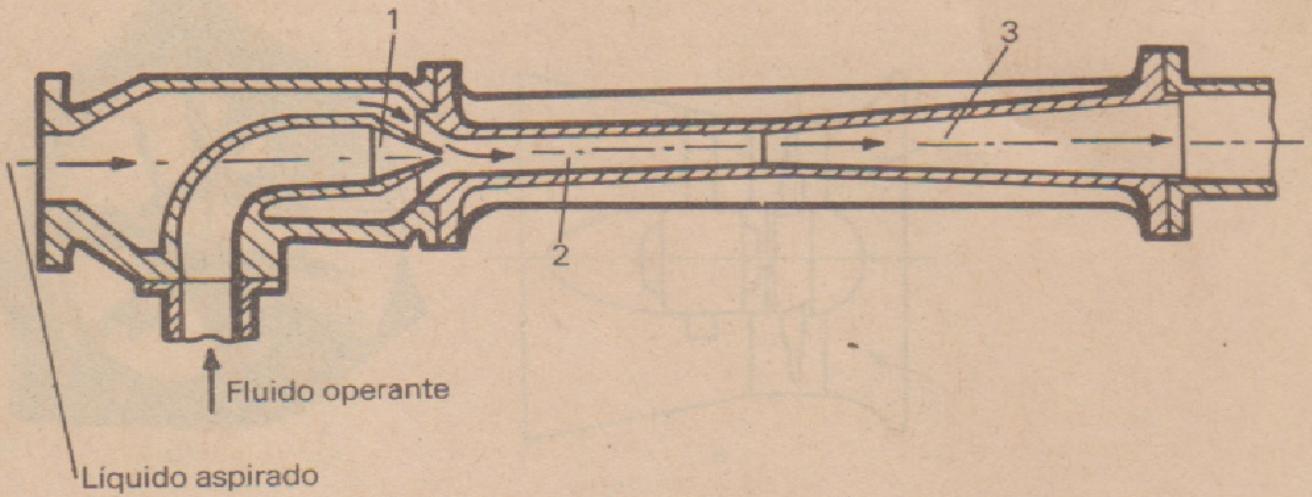


Fig. 6.27 Bomba de chorro. Hidroelevador: 1) boquilla; 2) cámara de mezcla; 3) difusor

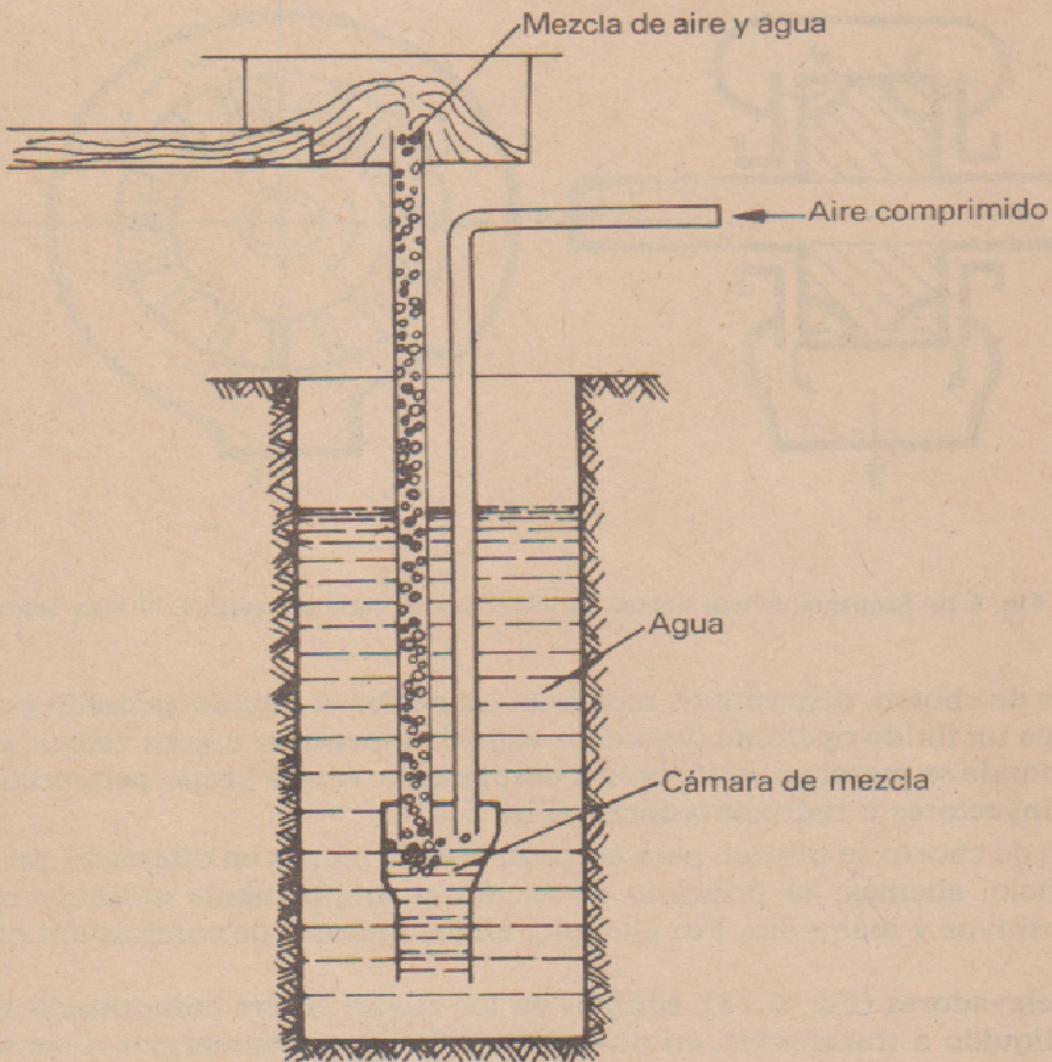


Fig. 6.28 Neumoelevador

En la industria minero metalúrgica se utilizan instalaciones con ventiladores, bombas y compresores. Los ventiladores son para crear una atmósfera adecuada en los puestos de trabajo, eliminar el polvo, extraer gases, mantener la temperatura, la humedad y el enfriamiento forzado del agua; las instalaciones con bombas para el trasiego de líquidos y pulpas y las instalaciones de compresores para la producción de aire comprimido que se consume como fuente de energía de máquinas e instrumentos neumáticos o para el transporte de materiales sólidos, así como para comprimir aire u otros gases en diferentes procesos tecnológicos.

Todas las instalaciones constan de la máquina y la red externa, formada por el conjunto de conductos por donde se desplaza el fluido y sus accesorios.

En las figuras 6.30-6.32, se muestran los principales elementos de las instalaciones de ventiladores, bombas y compresores. En todos los casos, la máquina debe transmitir al fluido la energía necesaria para vencer las resistencias que se oponen a su movimiento. La energía total necesaria se consume en superar la altura a la que hay que elevar el fluido (presión en el caso del aire comprimido), las resistencias por rozamiento (tanto a lo largo de la conductora como en los accesorios), e imprimirle velocidad al flujo.

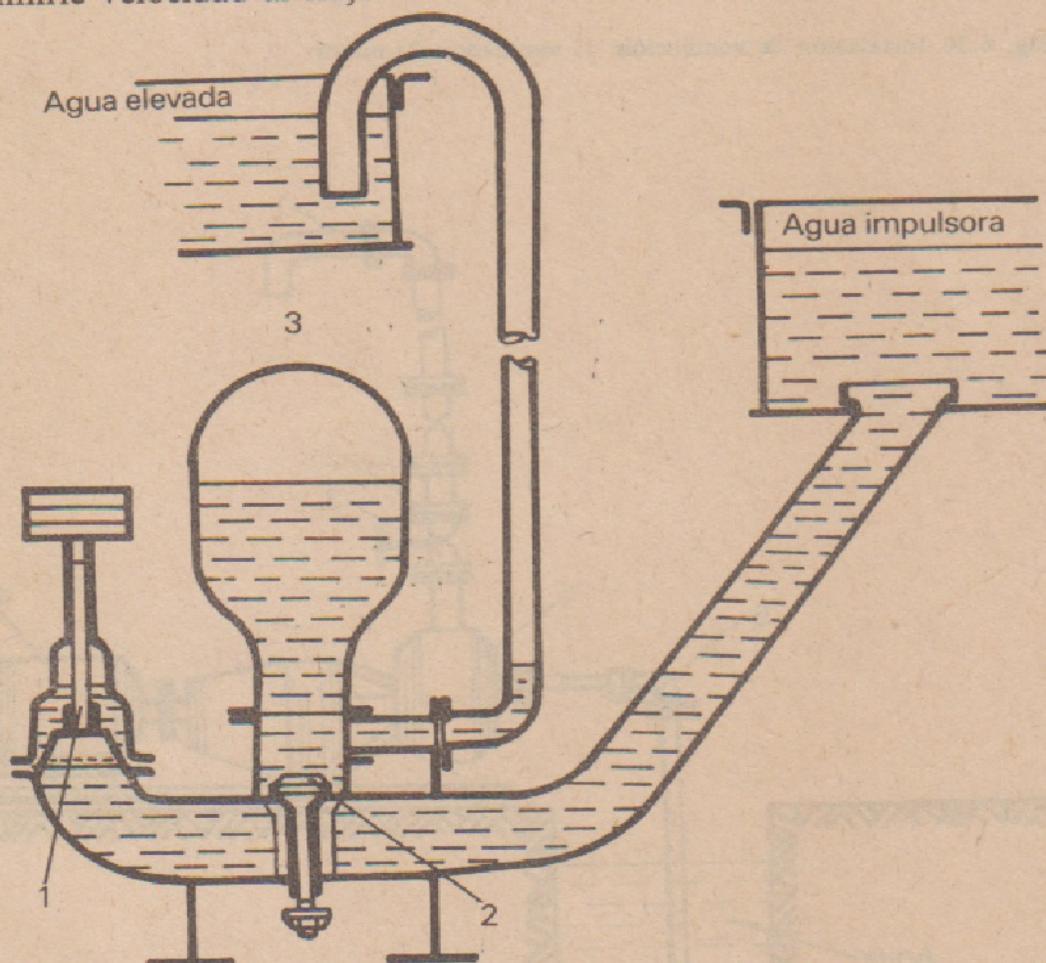


Fig. 6.29 Bomba de ariete: 1) válvula de retención; 2) válvula de admisión; 3) cámara de aire

Por último, se puede mencionar la bomba de ariete (Fig. 6.29), dispositivo en el que se utiliza la energía de una masa líquida en movimiento para elevar parte de él a una altura mayor. De tal manera, transforma la energía cinética del flujo, en energía potencial de situación.

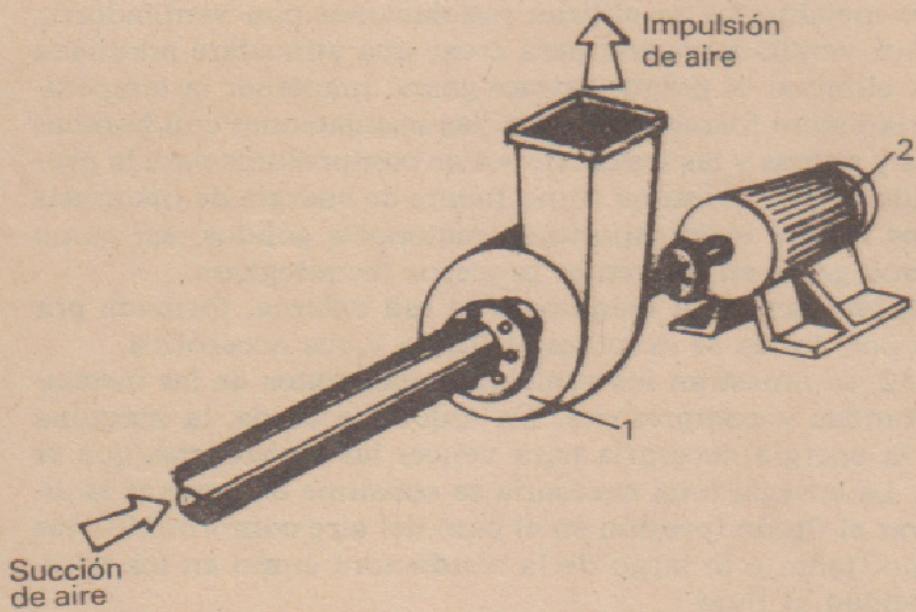


Fig. 6.30 Instalación de ventilación: 1) ventilador; 2) motor

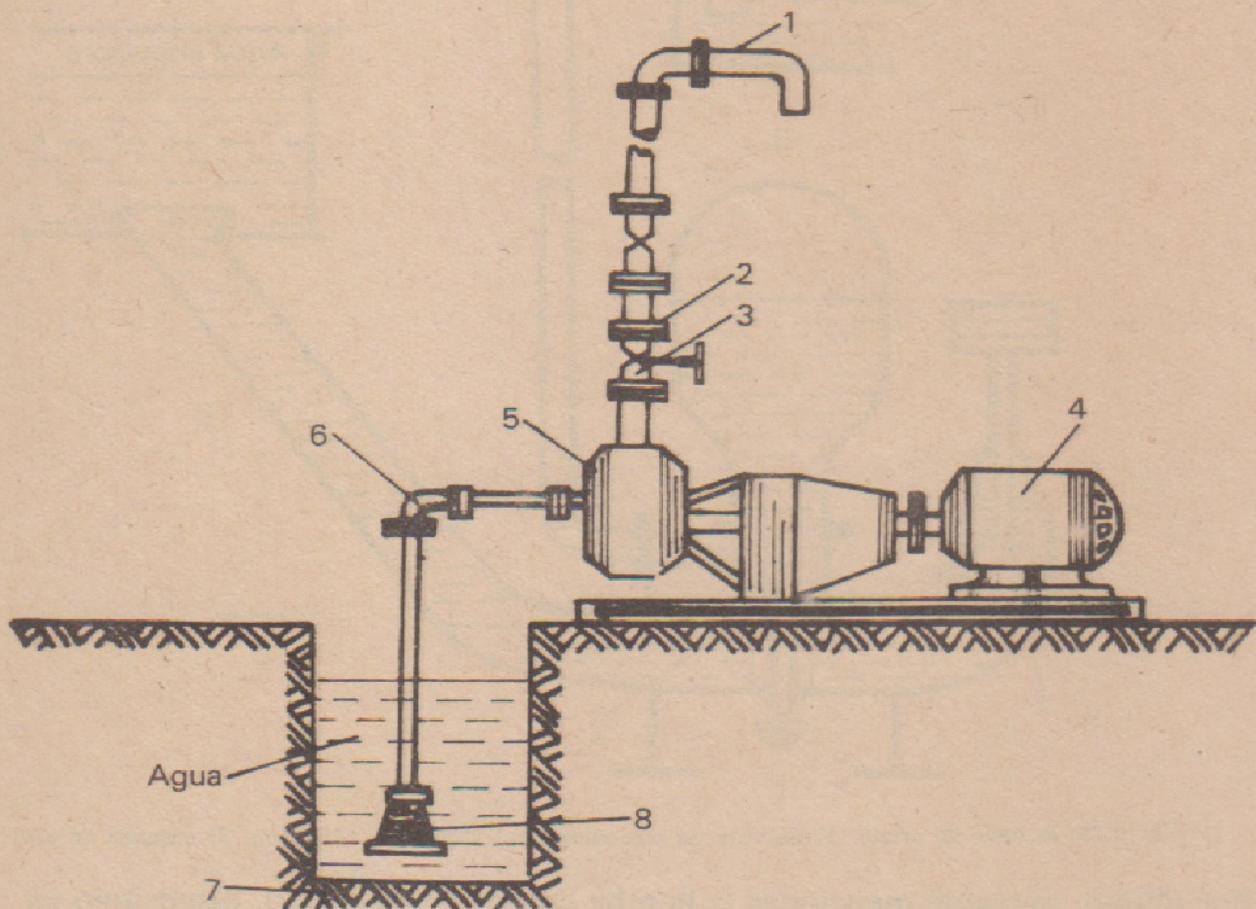


Fig. 6.31 Instalación de bombeo: 1) tubería de impulsión; 2) válvula de retención; 3) válvula de regulación; 4) motor; 5) bomba; 6) tubería de succión; 7) colector; 8) válvula de pie

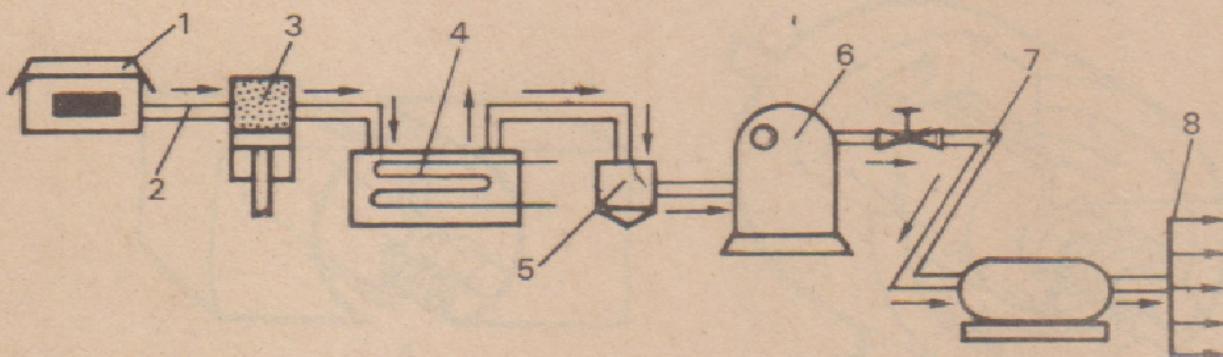


Fig. 6.32 Instalación de compresores: 1) caseta de succión; 2) tubería de succión; 3) compresor; 4) enfriador; 5) separador de aceite; 6) tanque colector; 7) tubería de impulsión; 8) red de distribución.

La hidráulica y la termotecnia continenen las bases teóricas que rigen el trabajo de los impulsores y sus instalaciones.

Las instalaciones de ventiladores, bombas y compresores, son grandes consumidores de energía y, en muchos casos, las máquinas son de importación y relativamente costosas, lo que determina la necesidad de su explotación racional. Esto no es posible si no se tiene un profundo conocimiento de las bases que rigen su construcción, funcionamiento y explotación.

Suministro y accionamiento eléctrico. Automatización

Una de las principales vías para elevar la productividad del trabajo, lo constituye la maquinización y automatización de los procesos de producción. Las máquinas sustituyen al hombre en la realización de los trabajos más pesados y complejos, pero para el trabajo de las máquinas se necesita energía. Se puede afirmar que el nivel de las fuerzas de producción de una sociedad, la capacidad de crear bienes materiales y con ello, la posibilidad de mejorar las condiciones de vida de cada individuo, depende, en gran medida, de la producción y el consumo de energía.

La energía, como forma de movimiento de la materia, se encuentra dondequiera, pero las formas útiles para su aplicación industrial son limitadas. Esta energía, en la actualidad, se obtiene principalmente a partir de combustibles minerales, combustible atómico y la energía de los ríos. Por otra parte, la energía se consume en lugares frecuentemente alejados de los centros de producción; así surge el problema de la transmisión de energía hasta los centros de consumo. Al mismo tiempo, las necesidades de energía tienen formas muy diferentes y es necesario transformar la energía en la forma adecuada para ser utilizada en procesos de producción dados.

La energía eléctrica posee dos características muy peculiares. Puede ser transmitida por conductores eléctricos a largas distancias o transformarse de forma relativamente fácil en otras formas de energía: mecánica (motor eléctrico), térmica (calentador), luminica (bombilla), química (acumuladores), etcétera. Estas características hacen de la energía eléctrica la más universal para la aplicación industrial.

De tal forma, la elaboración, transmisión, distribución y consumo de la energía eléctrica, tiene gran importancia en la economía nacional, y la electrificación cons-

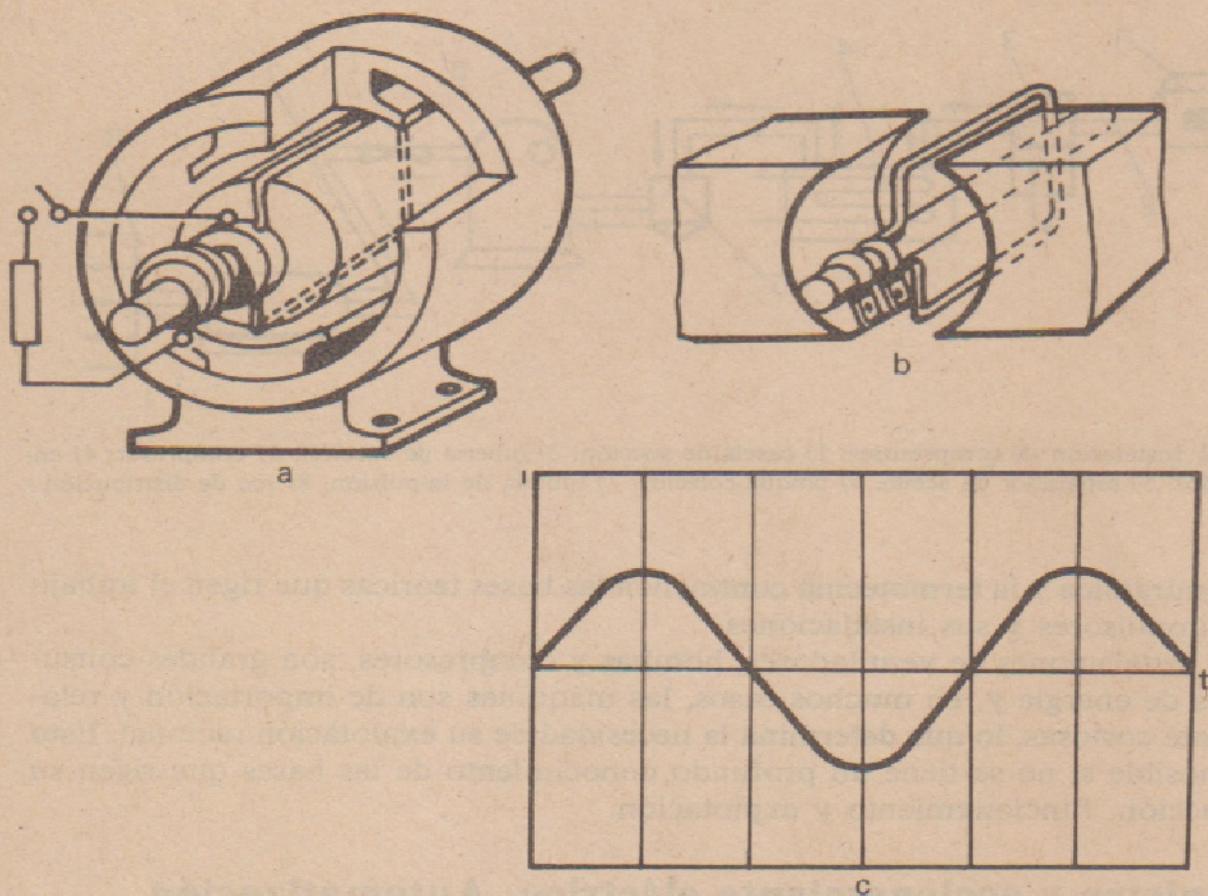


Fig. 6.33 Obtención de corriente alterna: a) vista esquemática del generador; b) conductor en un campo magnético; c) gráfico de la intensidad de la corriente en función del tiempo

tituye una premisa indispensable para crear la base material y técnica del socialismo, y de esta forma garantizar un alto nivel de vida de la sociedad.

La electrificación está determinada por el abastecimiento de energía eléctrica, en todas las esferas de la actividad humana. La capacidad de producir, transmitir y consumir energía, en cualquier sociedad, son limitadas. En Cuba, la ausencia de grandes fuentes de energía agrega una seria dificultad técnica al problema del desarrollo; por esta causa, tiene gran importancia la utilización racional de la energía eléctrica que se produce.

El ingeniero electromecánico se ocupa de la explotación de máquinas en la industria minero metalúrgica; estas máquinas se caracterizan por ser grandes consumidoras de energía eléctrica; además, su utilización racional no es posible sin el profundo conocimiento de las peculiaridades de suministro, distribución y consumo de la electricidad. Estos conocimientos también son indispensables a los ingenieros de procesos: metalúrgicos, beneficiadores, mineros, etc., para el uso racional de los recursos puestos a su disposición, la disminución de los costos y la elevación de la productividad del trabajo. Los fundamentos teóricos para la utilización de la electricidad con fines industriales, se adquieren a través del estudio de las disciplinas electrotécnicas. El suministro eléctrico se ocupa del estudio del abastecimiento, distribución y consumo de la electricidad, aspectos indispensables para el trabajo racional de las instalaciones electromecánicas industriales. Por instalaciones electromecánicas se entiende el conjunto de máquinas, mecanismos, dispositivos, etc., instalados con el objeto de realizar un trabajo alimentado con energía eléctrica.

El principio de la producción de la energía eléctrica está basado en las leyes de la inducción magnética, descubierta por M. Faraday y cuya esencia es la siguiente: en un conductor en movimiento surge una corriente eléctrica cuando corta un campo magnético. Con el objetivo de mantener todo el tiempo el conductor en el campo en movimiento, dicho conductor se hace rotatorio. En este caso, la corriente que se obtiene es variable en magnitud y dirección (Fig. 6.33); es decir, en cada vuelta, la corriente que surge en el conductor será dos veces nula y dos veces alcanzará el máximo, pero además se mueve en una y otra dirección. De esta forma se obtiene la corriente alterna.

La corriente alterna respondió mejor a la solución del doble problema de transmitir la energía a grandes distancias y accionar las máquinas de trabajo. La transmisión de energía eléctrica se realiza con corrientes de alta tensión. En este caso, las pérdidas de energía en el proceso de transmisión son menores. La alta tensión se obtiene mediante transformadores (Fig. 6.34): máquinas eléctricas que convierten la corriente de gran intensidad y baja tensión en corriente de pequeña intensidad y alta tensión, o a la inversa.

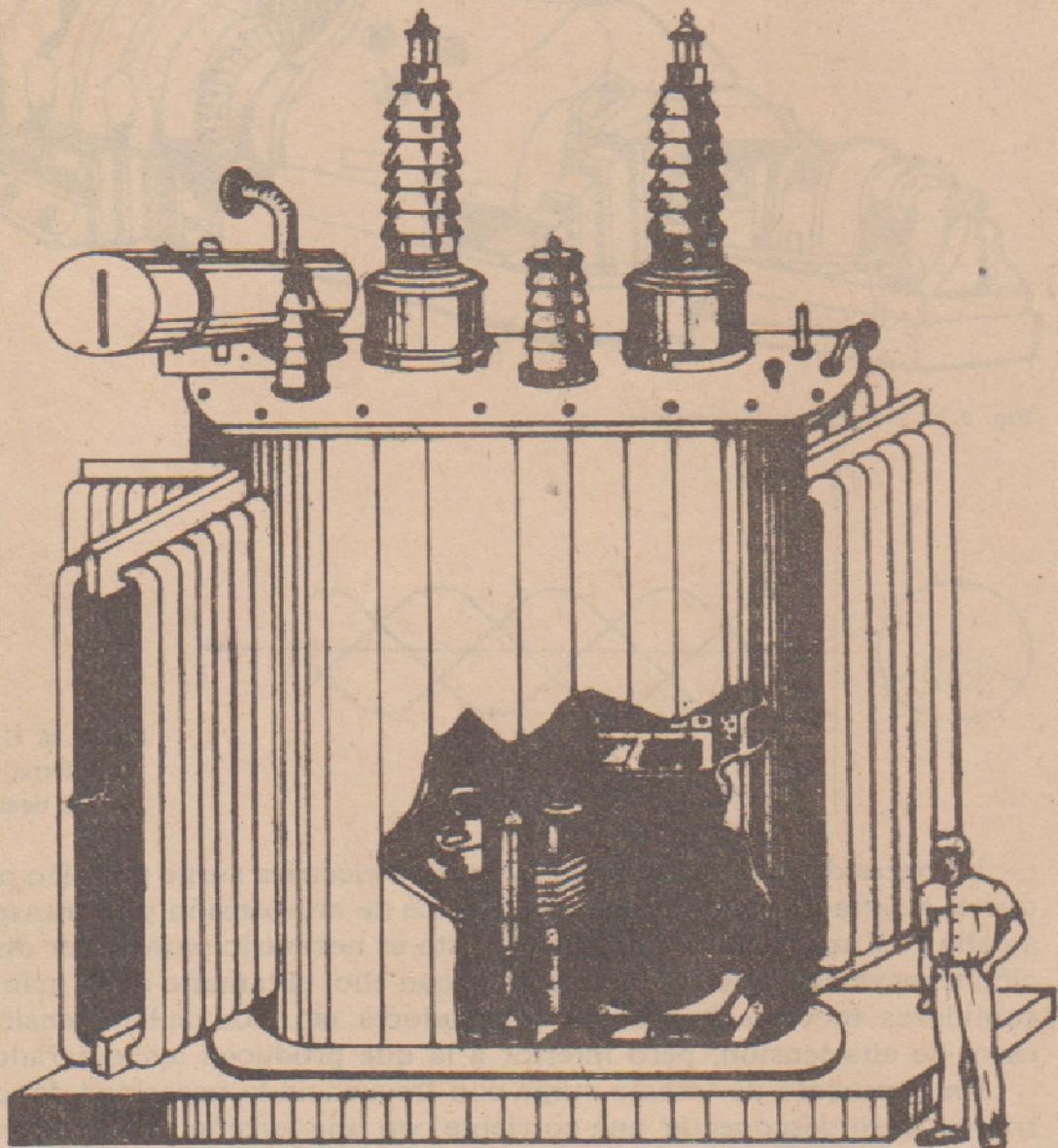


Fig. 6.34 Transformador de tensión

Los generadores (Fig. 6.35) producen corriente alterna trifásica. Por su construcción, poseen tres bobinas situadas en un ángulo de 120° . La corriente alterna monofásica de cada bobina, se toma a través de un anillo de contacto y tres conductores transmiten la corriente eléctrica, cuyas fases están desplazadas, una con respecto a la otra, en un ángulo de 120° (Fig. 6.36). La corriente obtenida en los generadores se convierte en corriente de alta tensión mediante transformadores (Fig. 6.37) y tres conductores la conducen a largas distancias. Posteriormente, se convierte en corriente de baja tensión y llega a las tres bobinas de los motores trifásicos y los obliga a rotar y producir energía mecánica, capaz de mover una bomba, un transportador, etc. El trabajo del motor eléctrico también se basa en el principio de la inducción magnética.

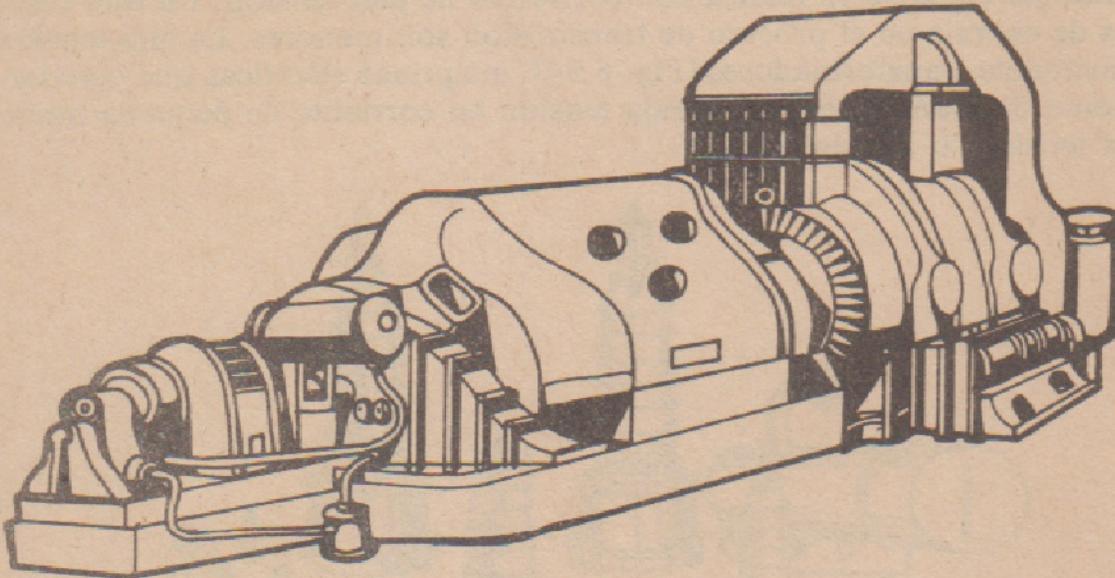


Fig. 6.35 Generador de corriente

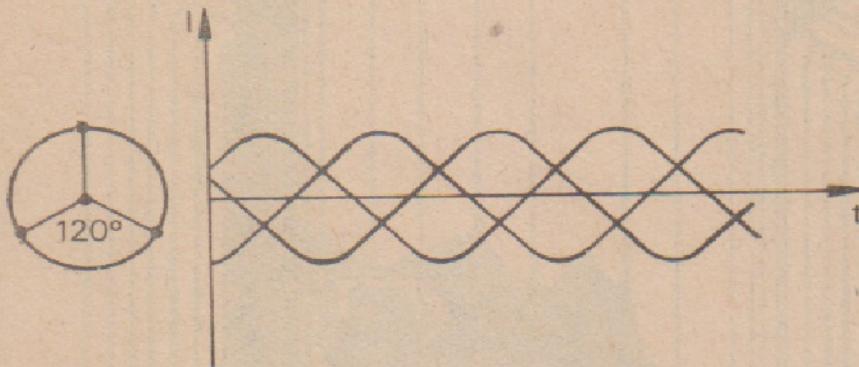


Fig. 6.36 Gráfico de la corriente alterna trifásica en función del tiempo

La necesidad de transformar la energía eléctrica surge también por el hecho de que el generador, como regla, la produce de alta tensión y la transmisión se lleva a cabo con una tensión aún mayor. Esto es necesario para poder disminuir la sección transversal de los conductores y, con ello, el tamaño de la máquina. Los consumidores: motores, bombillos, calentadores, etc., son de baja tensión o, en último caso, de alta tensión, pero inferior a la que producen los generadores.

En el proceso de trabajo surge con frecuencia la necesidad de conectar la corriente; pero desconectar una corriente con una tensión de varios miles de voltios no es una tarea fácil. En un interruptor doméstico hay solo chispas al desconectar, pero al desconectar un circuito con corriente de alta tensión, surge un arco eléc-

trico estable que solo se puede apagar con un fuerte chorro de aire o aceite. Por otra parte, es indispensable que en regimenes anormales de trabajo: corto circuito, sobrecargas, sobretensiones, caídas de tensión, etc., la línea se desconecta para que no se produzcan males mayores, como destrucción de equipos e incendios, y se eviten accidentes en la explotación de la corriente eléctrica, provocadas por errores operativos o fallas técnicas que pueden causar serios traumas e incluso la muerte. El estudio del principio de acción y de las peculiaridades constructivas o de explotación de los aparatos eléctricos, en líneas de baja y alta tensión, así como el cálculo y elección de los medios de protección, constituye otro de los temas de la disciplina suministro eléctrico.

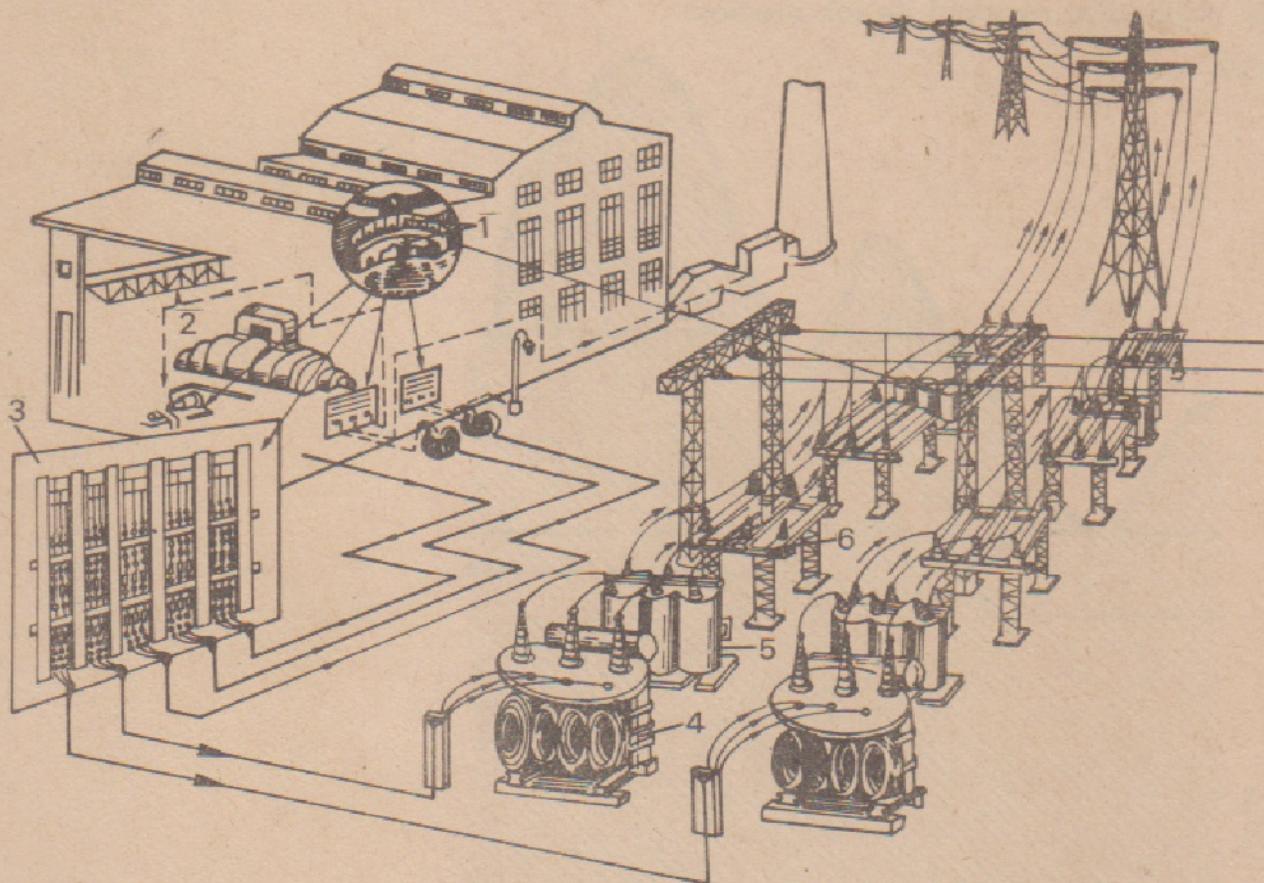


Fig. 6.37 Transformación y transporte de la energía eléctrica: 1) pizarra de mando; 2) turbogeneradores; 3) panel; 4) transformador para elevar la tensión; 5) disyuntor; 6) desconectador

La energía eléctrica llega a la máquina de trabajo mediante conductores. No es indiferente el tipo de metal y las dimensiones del conductor. Unos metales conducen mejor la corriente, otros son más resistentes, o más baratos, etc. Por otra parte, mientras mayor es el diámetro del conductor, menores son las pérdidas que tienen lugar en la transmisión de la energía; pero mayor es la cantidad de metal necesario y el costo total de las inversiones. Indudablemente, deben elegirse las dimensiones del conductor de tal manera que los costos totales sean mínimos. La elección racional del conductor, sus dimensiones y construcción, es una tarea técnicoeconómica de gran importancia y constituye uno de los contenidos de trabajo del ingeniero electromecánico.

La planta eléctrica produce la energía en forma continua. Esta energía, prácticamente, no se puede almacenar; es decir, debe consumirse a medida que se pro-

duce. Sin embargo, los consumidores no tienen un régimen de trabajo continuo. La iluminación se conecta principalmente en horas de la noche, sobre todo en las primeras horas; el motor actúa cuando se necesita realizar un trabajo, etc. Esto hace que el consumo varíe en el tiempo: hora, día, mes o año. Los gráficos de carga muestran la variación del consumo en un intervalo dado (Fig. 6.38). La variación del consumo provoca serias dificultades en la generación de la energía eléctrica y obliga a situar costosas instalaciones cuyo trabajo se realiza solo en determinados momentos, lo que implica invertir recursos con poca efectividad. Una de las tareas del ingeniero electromecánico consiste en la planificación de una distribución racional de las cargas en la unidad de producción, de forma tal que permita la utilización racional de los medios.

KW

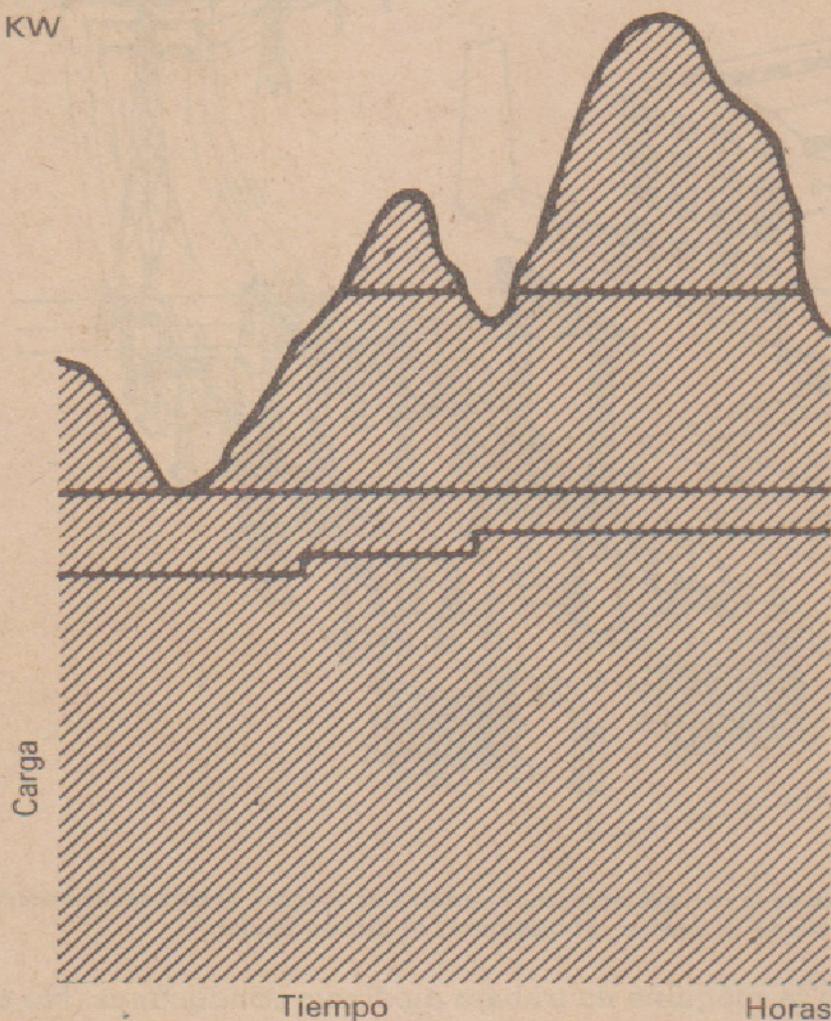


Fig. 6.38 Gráfico de carga

La existencia de potentes plantas eléctricas determinó la formación de los sistemas energéticos, en los cuales trabajan varias estaciones eléctricas conectadas entre sí por líneas de alta tensión, lo que permite dirigir, en cada momento, la producción a los lugares de mayor consumo. La construcción del sistema energético nacional, constituye una de las tareas económicas de mayor importancia para nuestro país.

La industria minero-metalúrgica tiene sus peculiaridades: las minas pueden ser peligrosas desde el punto de vista de una explosión provocada por una chispa en un medio con alta concentración de gases inflamables o polvo; el frente de trabajo se encuentra en constante movimiento, los espacios suelen ser limitados en la mi-

nería subterránea o extensos en la minería a cielo abierto; la atmósfera suele ser agresiva, etc. El estudio de estas peculiaridades y las medidas prácticas para darle solución a la problemática específica, en el contexto de los principios generales de la electrificación, constituyen un tema de importancia en la especialidad. Además, preocupan al ingeniero electromecánico, las formas y métodos para garantizar el abastecimiento estable y con calidad, de la energía a las instalaciones electromecánicas. También se encuentran en su campo de acción los problemas relacionados con la iluminación de los lugares de trabajo, que en la industria minerometalúrgica posee características muy específicas.

Las máquinas y mecanismos de trabajo se accionan con motores eléctricos. Estos motores pueden ser de corriente directa (Fig. 6.39) o alterna. De corriente directa se conocen los motores con excitación en serie, en paralelo o mixta. Al grupo de motores de corriente alterna pertenecen los asincrónicos, en sus variantes con el rotor en jaula de ardilla (Fig. 6.40), con anillos deslizantes, y los motores sincrónicos (Fig. 6.41). Cada tipo de motor tiene diferentes propiedades mecánicas y posee sus peculiaridades constructivas. Por otra parte, las máquinas y mecanismos de trabajo poseen también sus características y pueden trabajar en diferentes regímenes, que determinan a su vez el régimen de trabajo del motor. Pueden trabajar en forma continua, breve y con desconexiones prolongadas o en forma breve repetida. Estas peculiaridades establecen ciertas exigencias al trabajo de los motores. El estudio de sus propiedades mecánicas; los métodos de arranque, frenado y regulación; los procesos transitorios que tienen lugar; las formas y métodos de elección de los motores para diferentes regímenes y condiciones de trabajo; el control y la regulación de los motores en la instalación, constituyen el contenido de la disciplina Accionamiento eléctrico.

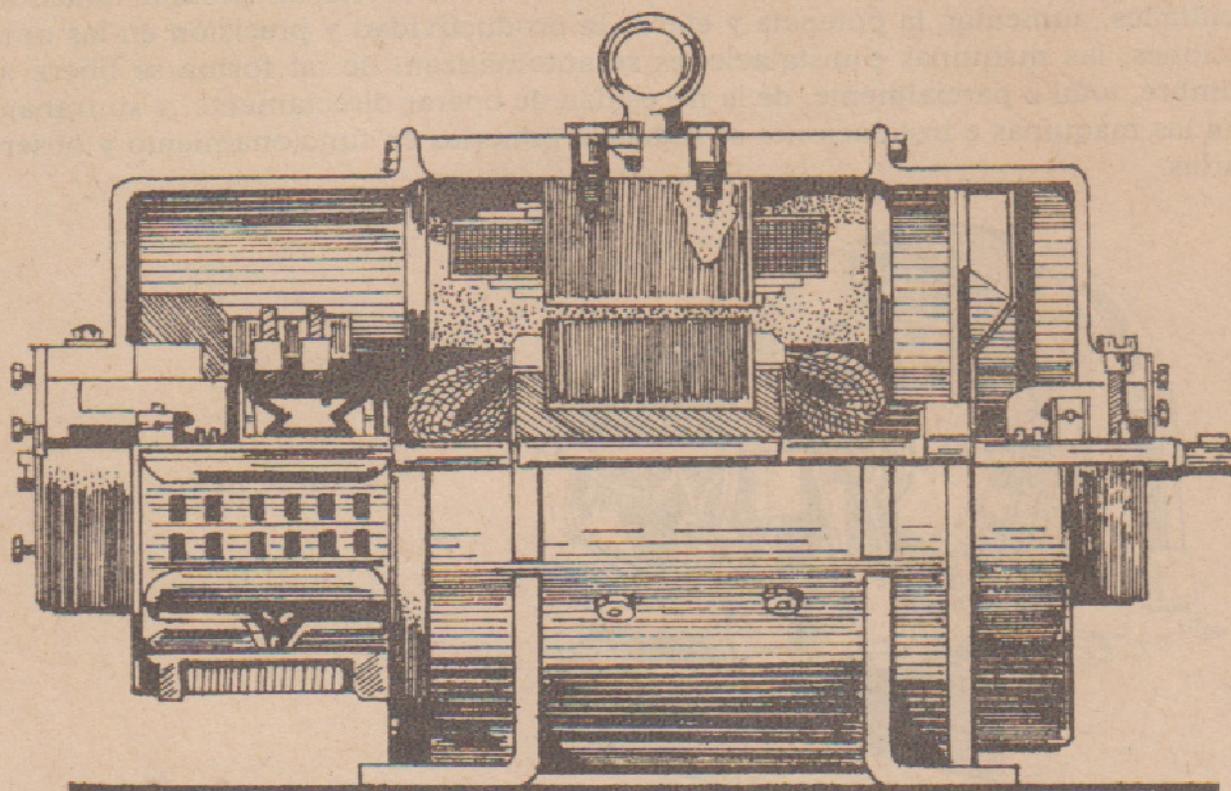


Fig. 6.39 Motor de corriente directa

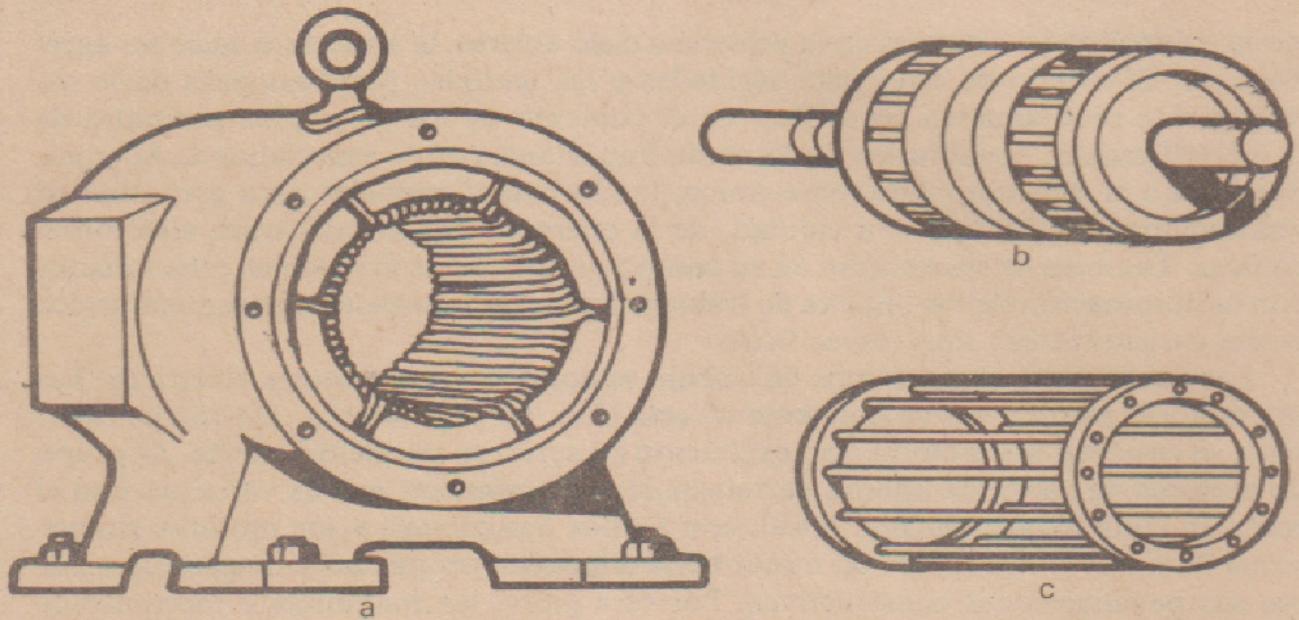


Fig. 6.40 Motor eléctrico de inducción (jaula de ardilla): a) estator; b) rotor; c) jaula de ardilla

La siguiente etapa para aumentar la productividad del trabajo, es la automatización de los diferentes procesos en la producción. En cualquier empresa, las principales operaciones del proceso de producción la realizan máquinas o instalaciones tecnológicas, cuyo trabajo garantiza el hombre directamente o un conjunto de medios técnicos con la participación indirecta de este. La productividad de la máquina operada por el hombre, depende, y está limitada por su maestría profesional y condiciones físicas, respectivamente. Con el objeto de eliminar estas dificultades, aumentar la potencia y elevar la productividad y precisión en las operaciones, las máquinas e instalaciones se automatizan; de tal forma se libera al hombre, total o parcialmente, de la necesidad de operar directamente, y su trabajo con las máquinas e instalaciones se reduce a ponerlas en funcionamiento y observarlas.

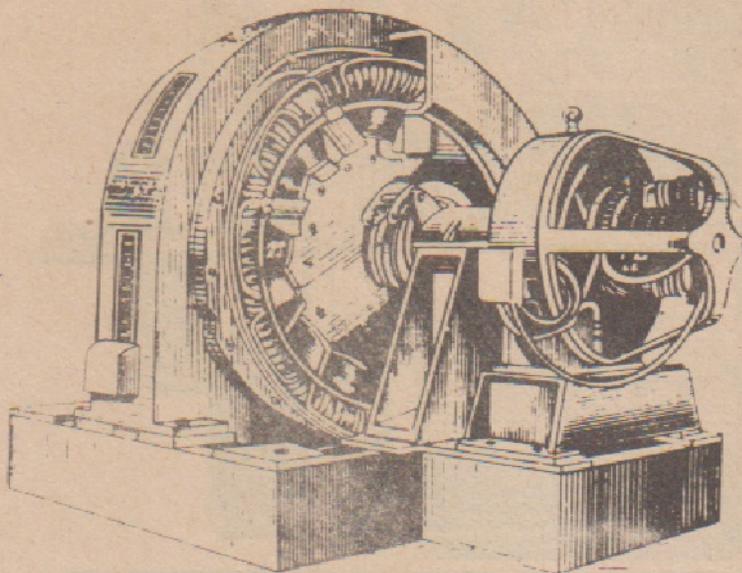


Fig. 6.41 Motor sincrónico

La automatización es el campo de la técnica cuyo objeto lo constituye el conjunto de métodos y medios de control y mando utilizados por el hombre, para garantizar el trabajo normal de diferentes máquinas e instalaciones, sin su participación directa en el proceso de trabajo, y tiene como objetivo elevar la calidad y cantidad de la producción.

El estudio de los elementos de automatización, los principios generales del control, mando y regulación de máquinas e instalaciones, constituyen el contenido general de la automatización.

Las peculiaridades de estas operaciones aplicadas a los procesos en la industria minerometalúrgica y, en particular, los problemas relacionados con la explotación de esquemas automatizados, constituyen el contenido de la automatización especializada en la rama minerometalúrgica.

Mantenimiento y reparación de equipos minero metalúrgicos

En el proceso de trabajo las máquinas se desgastan. El desgaste puede ser moral o físico. El moral ocurre cuando aparece una nueva máquina que es capaz de realizar el mismo trabajo, mejor y más barato. El desgaste físico ocurre cuando varía el estado inicial de la máquina, es decir, se deterioran sus elementos.

El desgaste puede ser normal, cuando transcurre durante un largo período, o prematuro, cuando ocurre durante uno corto. El desgaste puede ser, además, abrasivo, térmico, por oxidación, por corrosión química o electroquímica, etcétera.

En el desgaste abrasivo, los elementos se deforman y varían sus dimensiones debido a la acción abrasiva de las superficies móviles en contacto.

El desgaste térmico tiene lugar por la acción del calor, que provoca el cambio de la estructura de los materiales de construcción de los elementos de las máquinas, lo que disminuye su resistencia y provoca su deterioro. Este tipo de desgaste, como regla, tiene lugar bajo grandes presiones y velocidades.

El desgaste por oxidación ocurre por la acción del oxígeno del medio circundante, que provoca la formación de óxidos frágiles en la superficie de los elementos de las máquinas y determina su deterioro acelerado.

La corrosión química ocurre por la acción de gases o líquidos que no conducen la corriente eléctrica; mientras que la corrosión electroquímica se desarrolla por la acción, sobre el material de los elementos de las máquinas, de un medio conductor de la energía eléctrica (electrolitos).

Para eliminar el desgaste moral, las máquinas se sustituyen por otras nuevas. Sin embargo, esta sustitución provoca el consumo irracional de los recursos, por lo que junto a ella se aplica la modernización de las máquinas envejecidas.

Dos diferentes elementos de una misma máquina no se desgastan igualmente ni al mismo tiempo. Esto se debe a insuficiencias constructivas, defectos de fabricación y montaje, condiciones de trabajo o deficiencias de mantenimiento, lo que puede provocar la detención de la máquina con la mayoría de los elementos en buen estado. Para aumentar el tiempo de servicio de las máquinas, es necesario cumplir rigurosamente con las reglas de explotación, así como garantizar la separación eficiente o la sustitución de los elementos desgastados.

Para mantener las máquinas en buenas condiciones técnicas se utiliza el sistema de mantenimiento preventivo MPP, mediante el cual se llevan a cabo los servicios técnicos, las reparaciones corrientes, medias y capitales.

Los servicios técnicos se llevan a cabo por las brigadas en el tiempo señalado al efecto y contemplan la limpieza de diferentes partes de la máquina y la eliminación de pequeños defectos, la habilitación de aceites, combustibles y la regulación de distintos elementos.

En la reparación corriente se cambian pequeños elementos y bloques, o se regulan con el objeto de garantizar el trabajo sin averías de la máquina, hasta la próxima reparación planificada. Los trabajos de reparación suelen numerarse de tal forma que, mientras mayor sea el número de la reparación, mayor será el volumen de los trabajos a realizar. Los trabajos de reparación corriente se ejecutan en el lugar de situación de la máquina o instalación, por la propia brigada que la opera, ampliada con mecánicos, soldadores, etc., o por una brigada especializada. Las reparaciones medias se efectúan en talleres o fábricas especializadas, y en ellas se desmonta parcialmente la máquina y se sustituyen o restablecen los bloques y elementos desgastados.

En las reparaciones capitales se desmonta completamente la máquina o instalación, se reparan las partes principales y se sustituyen o restablecen los bloques y elementos desgastados.

En la práctica, con el objeto de disminuir el tiempo de trabajo, ha alcanzado gran difusión la reparación de las máquinas por agregados o bloques, mediante la cual los bloques desgastados o averiados se restituyen por nuevos o por otros previamente reparados.

El desgaste se puede determinar por observación visual, mediante mediciones mecánicas o métodos magnéticos, eléctricos, luminiscentes, con rayos X u otros métodos de defectoscopia.

Los elementos en movimiento están sometidos a la fricción: resistencia que oponen los cuerpos en contacto y que surge en el movimiento relativo de uno con respecto a otro. Entre la fricción y el desgaste existe una relación muy estrecha.

Con el objeto de disminuir la fricción y una de sus consecuencias: el desgaste, los elementos móviles se lubrican. Para la lubricación se utilizan, principalmente, aceites y grasas minerales.

Los aceites y grasas minerales se obtienen en el proceso de refinación del petróleo, en su fracción más pesada: el mazut. Los lubricantes pueden ser líquidos (aceites) y consistentes (grasas). La calidad de los diferentes lubricantes se caracteriza por una serie de propiedades fisicomecánicas: el peso específico, la viscosidad, la temperatura de inflamación, temperatura de goteo, penetración, contenido de partículas mecánicas, cenizas, humedad, etcétera.

La viscosidad caracteriza la movilidad del lubricante y es la resistencia que oponen los líquidos al movimiento por capas. Las unidades de medida de la viscosidad de los lubricantes son convencionales y dependen de la forma y del tipo de instrumento de medición. Por esta causa existen en la actualidad varios sistemas de unidades. La viscosidad es inversamente proporcional a la temperatura del lubricante; aumenta cuando disminuye la temperatura, y viceversa.

La temperatura de inflamación caracteriza al lubricante desde el punto de vista de su estabilidad al calentamiento, y es aquella a la cual sus vapores se inflaman.

La penetración caracteriza la consistencia de las grasas y permite evaluar su capacidad para soportar cargas. Se determina por la profundidad de sumersión de un cono tapado que cae libremente en la grasa durante 5 s, y se expresa en centésimas de centímetros.

La temperatura de goteo caracteriza las grasas consistentes, muestra en qué condiciones estas pierden sus propiedades. Se determina por la temperatura a la

cual cae la primera gota de una grasa consistente, contenida en un instrumento especial.

Por último, el contenido de contaminantes en el lubricante (partículas mecánicas y humedad), aumenta la corrosión y provoca la destrucción de los elementos móviles. La presencia de cenizas disminuye el tiempo útil del lubricante.

Existen aún una serie de propiedades de los lubricantes que determinan su calidad y campo de utilización. El lubricante se elige en función de las condiciones de trabajo de los mecanismos y las máquinas, los cuales pueden trabajar en frío o en caliente. Por otra parte, en la elección del lubricante influye la magnitud de la carga y la velocidad del elemento móvil. En Cuba, los lubricantes que se aplican en diferentes usos industriales, son producidos por el Instituto Cubano del Petróleo, que determina sus propiedades normativas.

La lubricación constituye una operación de gran importancia en el mantenimiento de las máquinas, y se puede llevar a cabo en forma manual, mediante goteo, por circulación y a presión.

Los lubricantes constituyen un producto relativamente costoso y, en nuestro país, su materia prima, el petróleo, es casi en su totalidad de importación. Por esta causa, es no solo indispensable utilizarlo económicamente, sino que además debe llevarse a cabo la regeneración de los ya usados. En el trabajo, el lubricante se contamina con polvo y otras partículas mecánicas, humedad, etc. Al mismo tiempo, ciertas propiedades del lubricante empeoran con el calentamiento; es decir, con el uso pierde sus cualidades lubricantes, pero en la mayoría de los casos estas propiedades son fáciles de restituir. Al proceso de restitución de las propiedades de los lubricantes usados se le conoce como regeneración. Con el objeto de someterlos a regeneración, es indispensable coleccionar, por tipos, los lubricantes usados.

Los elementos desgastados deben ser sustituidos o reparados. Las reparaciones se planifican y los planes y gráficos de reparaciones se confeccionan sobre la base de normativas de reparación. Los principales elementos de estas normativas son: el ciclo de reparación, el periodo entre reparaciones, la periodicidad, la duración de la reparación y la norma de utilización del equipo.

Ciclo de reparación se le denomina al intervalo de tiempo entre dos reparaciones capitales. Periodo entre reparaciones se le llama al intervalo de tiempo entre dos reparaciones cualesquiera. La periodicidad de la reparación es el orden de ejecución entre cada tipo de reparación. En la reparación se debe diferenciar el volumen de trabajo y su complejidad. La duración de la reparación es el tiempo que la máquina se encuentra en dicho proceso; las normas de utilización de los equipos establecen el número de estos que deben encontrarse en trabajo, reserva, mantenimiento o reparación.

La determinación correcta de estos índices y su obligatorio cumplimiento, es premisa indispensable para la explotación racional de los medios básicos; además, constituye uno de los contenidos del ingeniero electromecánico. La magnitud de los índices es diferente para distintos o para los mismos tipos de máquinas, pero que trabajen en condiciones diferentes.

El conjunto de trabajos que se ejecutan en un orden determinado, después de los cuales se restablece la capacidad de trabajo de las máquinas, se denomina proceso tecnológico de la reparación. Este proceso incluye el desarme de la máquina, la limpieza de sus elementos, el control y clasificación de estos, según su grado de deterioro, la reparación de los elementos, el montaje de los bloques y de la máquina en sí, la prueba del equipo ya reparado, así como su acabado y entrega.

Los elementos de algunos mecanismos y máquinas se vuelven inservibles, debido a la variación de sus dimensiones y formas iniciales, así como por la aparición en ellos de grietas, abolladuras, combaduras y otras averías. Es decir, que las causas del deterioro pueden ser muy variadas. Por esta razón, son también muy variadas las formas de reparar o restablecer los elementos de las máquinas. Entre los métodos de reparación o restablecimiento se encuentran: el maquinado, la soldadura, el llenado, la metalización, el recubrimiento electrolítico y el encolado.

Especial importancia tiene el conocimiento de las peculiaridades de la reparación de elementos de amplio uso: las uniones de roscas, chavetas, estrias, transmisiones, cojinetes, cilindros, muelles, resortes, poleas y volantes, así como el balanceo de los elementos rotatorios. No menos importancia tiene el conocimiento de las peculiaridades del montaje, control y ensayo del equipamiento reparado, así como los medios de reparación de una unidad de producción y su planificación.

Todos estos temas constituyen el contenido de una de las asignaturas especiales del ingeniero electromecánico: Reparación y mantenimiento de equipos minerometalúrgicos, y es común para los mecánicos industriales que se dediquen a la reparación y mantenimiento de dichos equipos.

Protección del trabajo. Preservación del medio ambiente

Seguridad del trabajo

La tercera condición indispensable para la solución ingenieril de un problema de producción en la sociedad socialista, consiste en que, en todos los casos, el trabajo debe ser seguro, es decir, no puede poner en peligro la vida humana. La técnica de seguridad es un sistema de medios técnicos y métodos, que garantizan condiciones seguras de trabajo en el proceso de producción. La técnica de seguridad, como disciplina, estudia los métodos organizativos y técnicos que garantizan la seguridad del trabajo. Se ha demostrado que, en la sociedad socialista, existe un estrecho enlace entre el incremento de la productividad del trabajo y la seguridad y entre la técnica de seguridad y los problemas de la tecnología de la producción. Cualquier medida que incremente la productividad del trabajo, debe establecer condiciones seguras, y cualquier medida de seguridad, no debe entorpecer el incremento de la productividad.

De una forma más completa se puede decir que, la técnica de seguridad es una disciplina que estudia los métodos organizativos y técnicos, los cuales garantizan que el trabajo sea seguro, lo menos pesado posible y con una alta productividad.

El objeto principal de la técnica de seguridad es: prevenir los accidentes; estudiar en particular, los factores que directa o indirectamente pueden provocarlos, y establecer las medidas técnico organizativas mediante las cuales se pueden eliminar definitivamente.

La técnica de seguridad no solo estudia el equipamiento y las condiciones de producción, sino también los procesos de trabajo, tomando en consideración las peculiaridades fisiológicas y psíquicas del hombre. Valiéndose de datos médicos sobre la influencia de diferentes factores en el organismo humano, la técnica de seguridad ha elaborado un conjunto de métodos profilácticos que constituyen su contenido. Esta técnica está interrelacionada con la fisiología, la higiene del trabajo y la tecnología de la producción. En su contenido se incluyen temas que, frecuentemente, son objeto de estudio en otras disciplinas técnicas.

Entre los principales factores peligrosos para la vida o la salud del hombre, se pueden mencionar: elementos de máquinas y mecanismos en movimientos; partes desprendidas del material que se elabora o de los instrumentos, factores térmicos (llama, metal fundido, vapor, gases calientes, etc.), la corriente y el campo eléctrico, venenos industriales, líquidos agresivos, polvo industrial, radiaciones (en particular radioactivas), vibraciones y ruido industrial. A este grupo se le pueden agregar otros factores peculiares del proceso de producción en determinadas condiciones climáticas, por ejemplo, la alta presión del agua o de los gases, las descargas eléctricas, los vientos fuertes, etcétera.

Los elementos móviles de máquinas y mecanismos, cuando están abiertos y es posible que el hombre tenga contacto con ellos, son peligrosos por la posibilidad de que, ya sea por la ropa, los cabellos o las extremidades, este sea arrastrado y golpeado, o presionado contra una pared, edificación, máquina, etcétera.

Las partículas o pedazos que salten de materiales e instrumentos, pueden causar peligrosas heridas al ser humano si lo golpean. Con frecuencia, estas partículas actúan como verdaderos proyectiles, capaces de producir la muerte o serias lesiones, particularmente, en los órganos de la visión.

Los factores térmicos pueden lesionar por la acción directa de la llama, el metal fundido, los líquidos, los gases calientes o el vapor. Tal acción puede producir quemaduras y hasta la muerte. Las quemaduras pueden surgir debido a las violaciones de las reglas de explotación y a la ausencia de medios de defensa. Las lesiones provocadas por la corriente eléctrica, surgen por el contacto directo con las partes conductoras de los equipos o redes eléctricas, así como el contacto con el cuerpo de máquinas, equipos y edificaciones, casualmente bajo carga. La corriente eléctrica puede provocar serias quemaduras y hasta la muerte.

La influencia del campo electromagnético sobre el organismo humano no está bien estudiado; sin embargo, es conocido que una dosis excesiva de ondas ultracortas puede variar, e incluso, dañar la estructura de las células. En diferentes campos de la industria se utilizan o se producen, en el proceso de producción, venenos industriales. A este grupo pertenecen los bióxidos y, sobre todo, el monóxido de carbono, el óxido de nitrógeno, el ácido sulfídrico, el formaldehído y los aldehídos de mercurio, las combinaciones de cianuro, el alcohol metílico, el benceno, y muchos otros.

Los venenos penetran en el organismo a través de las vías respiratorias, digestivas o de la piel, y pueden provocar serias lesiones y hasta la muerte. Su acción se muestra en forma de enfermedades crónicas o agudas. Las agudas se relacionan con los accidentes del trabajo, mientras que las crónicas pertenecen al grupo de enfermedades profesionales.

Los líquidos agresivos, en forma de ácidos o compuestos cáusticos, se utilizan ampliamente en la industria. Su acción destructiva sobre el organismo puede tener lugar al caer sobre la piel o las mucosas, en forma de gotas, de salpicaduras o, incluso, de chorro. También pueden ser peligrosos sus gases al respirarlos. El polvo está constituido por partículas muy finas de materiales sólidos. En la industria se producen por la molienda y trituración de materiales sólidos, en diferentes procesos de producción, o por la condensación de pequeñísimas partículas sólidas de las sustancias gaseosas que se producen en los procesos de producción (fundición, destilación y combustión).

El polvo industrial puede actuar directamente sobre el organismo y provocar enfermedades de los órganos respiratorios. Por otra parte, algunos tipos de polvos crean el peligro latente de una explosión (polvo de carbón, de harina de trigo), etc.

Mientras que una alta concentración de polvo conductor, aumenta el peligro de lesiones provocadas por la corriente eléctrica.

Las radiaciones surgen en algunos procesos de producción y actúan en formas diferentes sobre el organismo humano; en algunos casos pueden producir serias lesiones y provocar la muerte. Especial atención se le presta a las radiaciones radioactivas: rayos α , β y γ , rayos ultravioletas y rayos X.

El ruido y las vibraciones no constituyen causas de lesiones traumáticas, pero influyen negativamente sobre la salud y capacidad de trabajo del individuo. El ruido causa molestia, debilita la atención, entorpece la audición, retarda las reacciones o influye indirectamente sobre las causas que provocan los accidentes. Tanto el ruido como las vibraciones, tienen acción nociva sobre el sistema nervioso y el organismo en su conjunto.

Todos estos factores pertenecen al grupo de causas generales de lesiones y enfermedades, pero además, deben agregarse los factores específicos del proceso de producción dado. La técnica de seguridad ha elaborado un conjunto de reglas, normas y medidas, que permiten evitar la acción nociva de estos factores sobre el organismo humano. Los medios más generales de técnica de seguridad, son la señalización en forma de: carteles, pinturas convencionales, señalización automática, dispositivos, protectores, cercas, barreras, bloqueo de máquinas y equipos, control a distancia, ensayos profilácticos, métodos individuales de protección, etc. Por último, es necesario señalar que los aspectos que garanticen la seguridad del trabajo en la sociedad socialista, tienen características legales y adquieren carácter de obligatoriedad mediante la legislación vigente.

Protección del medio ambiente

Durante años el hombre en su actividad productiva no tuvo necesidad de pensar en las consecuencias de esta en el medio ambiente. Esto fue posible cuando la magnitud de su actividad y los recursos energéticos que se consumían, eran insignificantes en comparación con los recursos de la naturaleza. En la práctica, por ejemplo, cuando un terreno se hacía infructífero debido a la tala indiscriminada de los bosques, era suficiente trasladarse hacia otras áreas. Sin embargo, a partir de la revolución industrial del siglo XVIII, la magnitud de la actividad productiva, en muchos casos, es del orden de los fenómenos naturales, e influye notablemente en la variación del medio ambiente, empeorando las condiciones naturales indispensables para la vida y creando el peligro real de provocar daños irreversibles. Esto obliga al hombre a tomar en consideración las leyes de la naturaleza para llevar a cabo su actividad productiva, de lo contrario, de ella no quedará después más que naturaleza muerta, inadecuada para la vida del propio hombre.

En la actualidad, el hombre comienza a sentir la acción desfavorable del medio. La atmósfera se contamina con sustancias nocivas a la salud humana, que provocan cambios en la composición gaseosa de esta; disminuyen, considerable y aceleradamente, las áreas cubiertas por bosques; se pierde el equilibrio ecológico entre la atmósfera y los océanos, debido a la contaminación de estos últimos con petróleo y otros productos técnicos, y tiene lugar la llamada contaminación térmica del agua y del aire, calentados por diferentes desechos industriales. En particular, esta actividad destructiva se acentúa en las grandes áreas industriales y populosamente habitadas.

Este cuadro no debe dar la impresión de que el desarrollo de la propia civilización encierre en sus entrañas su destrucción. Precisamente, el alto nivel de desa-

rollo permite obtener los medios y formas indispensables para preservar el medio ambiente. El hombre puede y debe proteger el medio ambiente, y la contradicción surgida actualmente entre el progreso técnico y la naturaleza, debe ser motor impulsor que provoque variaciones cualitativas en el progreso técnico, variaciones capaces de preservar el medio que nos rodea.

A las dificultades técnicas para la explotación racional de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente, se agrega el desmedido afán de ganancias de empresas capitalistas, característica social que, en gran medida, influye negativamente.

En la actualidad tiene lugar, aunque lentamente, la variación de la composición del aire, lo cual puede tener un carácter irreversible. En particular, es preocupante el incremento de bióxido de carbono (gas carbónico) en la atmósfera, producido al quemar combustibles en la industria y en el transporte, por la disminución de áreas verdes y por la contaminación de los océanos con petróleo. Las áreas verdes no solo disminuyen por la tala indiscriminada y la utilización de territorios para ciudades, instalaciones, etc.; sino también por la contaminación de ríos, lagos, y mares, con aguas calientes sobrantes de los procesos industriales, y por la sedimentación sobre la superficie terrestre de cenizas, azufre y otras partículas sólidas.

Un hecho especialmente peligroso lo constituye la contaminación de los océanos con petróleo, producto de pozos en el mar, y de la limpieza y accidentes de buques tanques. Por esta causa van a parar al mar, entre 6 y 12 millones de toneladas de petróleo al año. Aproximadamente, el doble o el triple del consumo anual de nuestro país. En la actualidad una quinta parte de los océanos está cubierta ya por una película de petróleo.

Enorme daño a la flora y la fauna causan las sustancias venenosas que se han dispersado en los campos, producto de la lucha contra las plagas agrícolas. El aumento del gas carbónico puede provocar el incremento de la temperatura del aire o disminuir el contenido, en peso, del oxígeno que, como es conocido, es del 23,3 %. Una concentración de oxígeno crítica para el hombre es del 17 %.

No menos importancia tiene la acción nociva del azufre sobre la flora y la fauna. Un contenido de 20 mg/m³ provoca irritación de las vías respiratorias, y entre 400-500 mg/m³ puede provocar la muerte.

Otra de las causas de la contaminación de la atmósfera la constituye el automóvil. Millones de vehículos que ruedan sobre la tierra (más de doscientos millones) arrojan a la atmósfera miles de toneladas de gas carbónico y cientos de toneladas de óxido de azufre, nitrógeno y otras sustancias, muchas de las cuales son cancerígenas (capaces de provocar el cáncer). Estas circunstancias, unidas a los problemas relacionados con el encarecimiento de los combustibles tradicionales, obliga a la humanidad, en un futuro no muy lejano, a buscar otro tipo de combustible u otro tipo de motor, por ejemplo, el automóvil de motor eléctrico.

Ocupan un lugar especial entre los contaminantes, los productos de la desintegración artificial radioactiva. La acción de las radiaciones radioactivas constituye un peligro para el normal desarrollo de la flora, la fauna y de la vida del ser humano. Las explosiones atómicas contaminan notablemente el medio circundante, y los sedimentos radiactivos, dañinos para la salud, ocupan áreas considerables.

El hombre, como resultado de su actividad en diferentes campos, ha influido, influye y seguirá influyendo sobre el medio que le rodea. Sin embargo, la magnitud de esta influencia en la actualidad es tal, que puede provocar condiciones peligrosas para él. Por esta causa es indispensable encaminar la acción del hombre sobre la naturaleza, de tal forma que se tome en consideración las leyes naturales

y las condiciones del desarrollo armónico de la sociedad humana. El hombre depende del medio; se puede y debe llevar a cabo una planificación racional de la actividad productiva, que permita mantener las condiciones favorables del medio ambiente.

Es indudable que el propio progreso de la ciencia y la técnica permite obtener los medios para conservar la naturaleza sin detener el progreso técnico e influir favorablemente en el medio. En la mayoría de los casos, la mejor solución es aquella que le da a los desechos una forma tal que puedan tener alguna utilidad. Conservar el medio ambiente es técnicamente posible y socialmente indispensable; en la sociedad socialista todas las soluciones ingenieriles no deben perder de vista la importancia de este problema.

Economía, organización y planificación

Para darle solución a una tarea en forma ingenieril, es necesario que la solución adoptada sea económicamente racional.

El nivel de vida de la sociedad socialista está determinado por la producción, es decir, por la cantidad de bienes que se produzcan para el consumo. Esto significa que la sociedad necesita producir para poder consumir.

Parte de la producción general se destina a satisfacer las necesidades inmediatas del hombre, en forma directa, por medio del salario, y en forma indirecta, mediante los gastos estatales en educación, salud pública, seguridad social, etc. El salario constituye el ingreso nominal del trabajador. El salario, más el costo de servicios gratuitos percibidos, constituye el ingreso real.

Otra parte de la producción general se destina a restablecer e incrementar los medios de producción: reconstrucción y construcción de fábricas u otros centros de producción, reposición de medios gastados, etc. Una última parte se dedica a los gastos para la defensa de la patria.

Los recursos con que cuenta la sociedad en general y una empresa o taller en particular, no son infinitos, es decir, están limitados. Por otra parte, con los mismos recursos se pueden obtener mejores o peores resultados en función no solo de la tecnología y la técnica, sino también en función del aprovechamiento que de estos se haga.

Mientras mejores sean los resultados con los mismos medios, o menos medios sean necesarios para obtener un resultado dado, mayor es la efectividad de la producción y, por lo tanto, mayor es el número de recursos necesarios para obtener otros productos y, con ello, aumentar los bienes que puede consumir la sociedad.

En cada momento, en función de las posibilidades de la tecnología, la técnica, la planificación y la organización del trabajo, es posible obtener un resultado óptimo. Es decir, que garantice la mayor cantidad de bienes materiales con el menor gasto posible.

La economía, en el socialismo, es la ciencia que se ocupa de buscar las formas y métodos para obtener la mayor cantidad de bienes materiales con el mínimo de gastos, para satisfacer las necesidades de la sociedad.

La planificación se ocupa de determinar dónde y cómo se invierten los recursos existentes, así como la magnitud y características de los productos que se van a obtener. Los recursos están formados por: los medios básicos, máquinas, instalaciones, edificaciones, etc.; los materiales, productos que se consumen en el proceso de producción; la energía, electricidad, combustibles, etc.; la mano de obra, fuerza humana con diferente grado de calificación, y otros.

Como se señaló anteriormente, los recursos que participan en varios ciclos de un proceso de producción (máquinas, edificaciones, instalaciones, etc., se denominan medios básicos; los que son consumidos en un ciclo (materiales, combustibles, salarios), medios circulantes. Para aumentar el nivel de vida de una sociedad dada, es indispensable obtener mayor cantidad de bienes materiales en el menor tiempo posible. Es decir, aumentar la productividad del trabajo.

La productividad del trabajo se puede aumentar, entre otras medidas, por medio de:

- a) la mecanización y automatización de los procesos de producción;
- b) la organización racional (científica) del trabajo.

Para lograr la primera medida, es indispensable la electrificación acelerada del país, pues esta es la fuente de energía más universal, capaz de dar respuesta a las necesidades del desarrollo. Junto al crecimiento energético, el incremento de la capacidad de producción constituye otra premisa indispensable.

Para mecanizar o automatizar procesos de producción, es necesario producir o adquirir los medios indispensables y, mientras mayores medios se puedan obtener o mayores resultados se obtengan de unos medios dados, mayores son las posibilidades de elevar el nivel de vida y satisfacer las crecientes necesidades materiales de la sociedad y del individuo. Pero estos medios por sí solos no producen nada, deben ser gobernados por el hombre y es él, en última instancia, quien los hace producir. De aquí se hace evidente la enorme importancia de organizar racionalmente el trabajo del hombre, de tal forma que se pueda obtener el máximo de unos medios determinados.

El objetivo de la producción socialista es satisfacer las necesidades del hombre, y esta es la ley fundamental del socialismo. Sin embargo, esto solo es posible en la medida en que se cuente con los medios materiales indispensables para ello. Para poder satisfacer necesidades crecientes, es necesario aumentar la productividad del trabajo y, con ello, la producción.

Cuando los recursos no son suficientes, es necesario distribuirlos de la forma más racional posible, y esta forma de distribución es la que estimula la producción y los recursos; de aquí el principio de distribución socialista: "de cada cual según su capacidad, a cada cual según su trabajo," cuya aplicación permitirá crear las bases materiales para la distribución de acuerdo con las necesidades. Ahora bien, para la utilización racional de medios y recursos, es indispensable crear lo que hace falta en el número necesario y, como no es posible hacerlo todo, hay que producir lo más imprescindible, para lo cual la producción debe ser planificada. Esto constituye otra de las leyes económicas del socialismo.

Todo esto en su conjunto, son los elementos generales de la economía socialista. Pero el ingeniero trabaja en la empresa o taller y es aquí donde deben materializarse estos principios. No puede haber soluciones ingenieriles, si el resultado del trabajo no es productivo o no tiene interés social.

Cualquier actividad ingenieril debe ser rentable, es decir, que el valor de su producto debe ser superior al de todos los costos de producción. El valor de la producción se mide por el trabajo social indispensable para obtenerla, y esto se refleja a través del precio. Las peculiaridades de este mecanismo en la sociedad socialista y en cada rama de la producción, se estudian detalladamente en la economía política y en la economía aplicada.

En conclusión, en la actividad ingenieril es indispensable destacar algunas tareas, entre las cuales se encuentran las siguientes:

- a) la actividad debe ser rentable;
- b) debe garantizarse una organización precisa en los procesos de producción;
- c) la producción debe ser planificada.

Para lograr todo esto, son indispensables conocimientos y experiencias. Esta es la razón por la cual al estudio de la economía política, la economía aplicada y la organización y planificación, se le debe dedicar suficiente tiempo en los planes de estudios, lo que debe constituir una premisa de obligatorio cumplimiento en los proyectos de curso, trabajos de diploma, etcétera.

Los mecanismos económicos tienen gran importancia en el proceso de producción. Sin embargo, el elemento determinante y el objetivo en este proceso, en nuestra sociedad, es el hombre. Por esta causa, no menos importancia tiene el conocimiento de mecanismos que estimulen el trabajo del hombre. A estos mecanismos pertenecen los estímulos morales, tanto individuales como colectivos. en su forma más general de aplicación: la emulación socialista. Estos mecanismos son una forma de satisfacer las necesidades espirituales y facilitarán que, gradualmente, el trabajo se convierta en una necesidad espiritual.

Por otra parte, el comunismo exige un hombre integral, con un alto nivel de desarrollo de la conciencia social; un elemento de gran importancia en la formación de este hombre nuevo, lo constituye el trabajo voluntario socialmente útil.

Las experiencias sociales en el uso de los estímulos morales, así como la formación de su propia personalidad, mediante del trabajo voluntario, el estudiante las adquiere en el propio proceso educativo, en su vida estudiantil, en las prácticas de producción y en el trabajo cotidiano de las organizaciones laborales.

Tecnologías de producción

Producción de níquel por lixiviación ácida

La Empresa "Comandante Pedro Soto Alba," obtiene sulfuro de níquel a partir de lateritas níquelíferas, mediante lixiviación ácida. El proceso se lleva a cabo de la forma que se muestra en la figura 7.1.

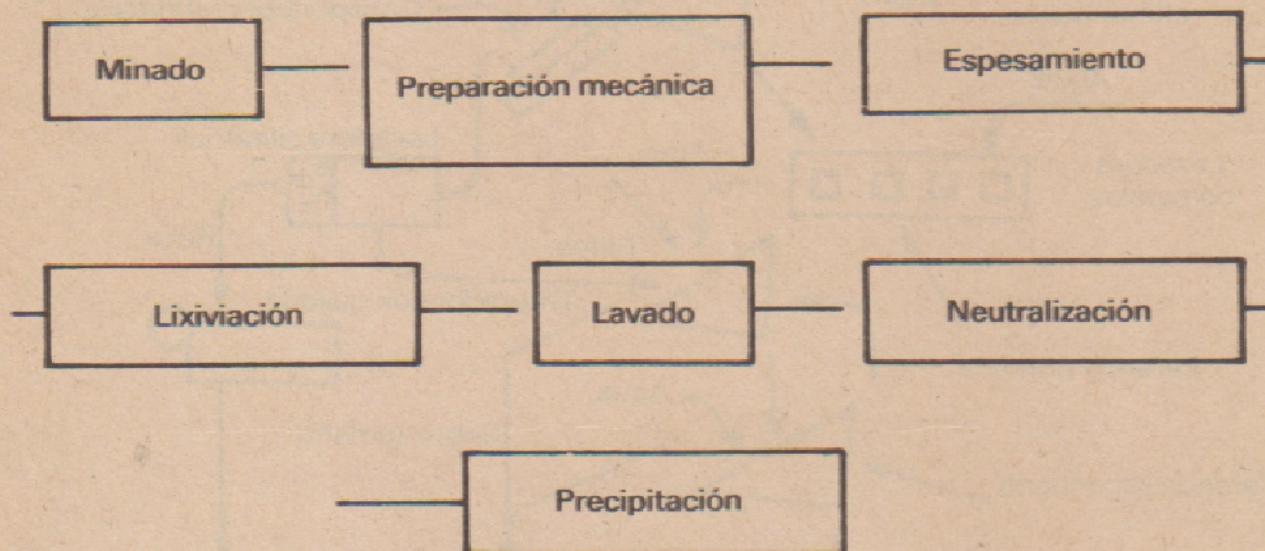


Fig. 7.1 Esquema de producción de níquel de la Empresa níquelífera "Cmdte. Pedro Soto Alba"

Minado

Para el minado, se realiza el desmonte inicial seguido del destape, o sea, la separación de la capa estéril para dejar descubierto el cuerpo mineral.

El destape se realiza con mototraillas que, al mismo tiempo que arrancan el material, lo transportan a zonas de almacenamiento.

La extracción se lleva a cabo con dragalinas (excavadoras de arrastre), que cargan directamente sobre camiones, los cuales trasladan el mineral hasta la planta

de preparación mecánica. Como la distancia de transportación ha ido aumentando, se ha instalado un transportador de banda, en una etapa intermedia, para disminuir la longitud de "tiro" de los camiones.

Preparación mecánica

Los camiones descargan junto a la planta de preparación mecánica, conocida como planta de pulpa. Esta planta lava el mineral, lo clasifica y prepara la pulpa. En la figura 7.2 se muestra el esquema de flujo y los aparatos de la planta de preparación mecánica.

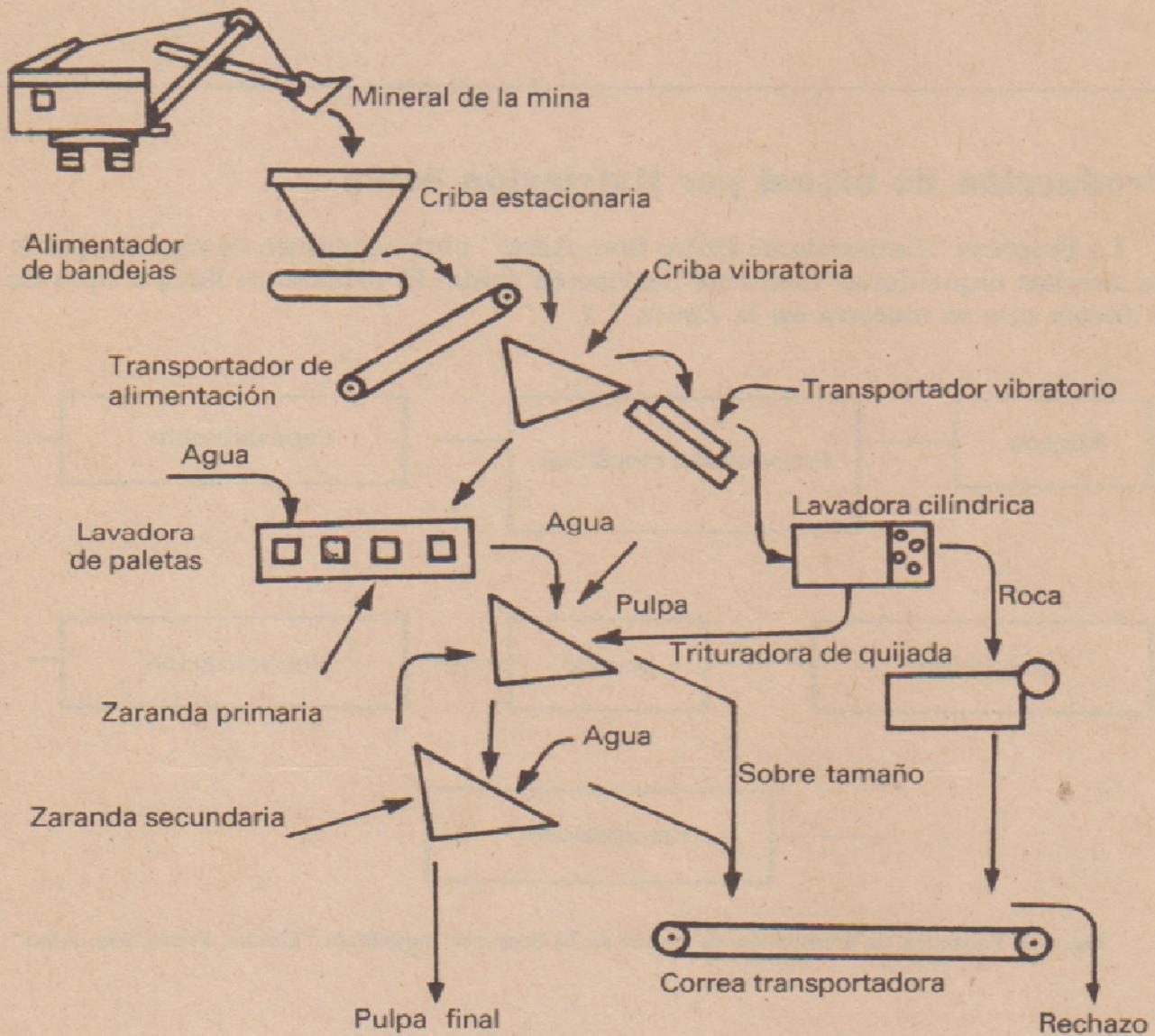


Fig. 7.2 Esquema de flujo y aparatos de la planta de preparación mecánica (planta de pulpa Empresa "Cmde. Pedro Soto Alba")

Una dragalina carga el mineral a la tolva alimentadora, desde donde, mediante transportadores alimentadores, son conducidos a una criba vibratoria que los separa por tamaño. La parte gruesa y rocosa se conduce por un transportador vibratorio a una lavadora cilíndrica, mientras que la parte fina arcillosa, se envía, por gravedad, a una lavadora de paletas. El lavado se realiza con agua.

En la lavadora cilíndrica el material se separa en dos fracciones: una fina, que se une al material fino de la lavadora de paletas, y otra gruesa. El material fino de ambas lavadoras pasa por una clasificación de dos etapas, en zarandas. La primera, de malla gruesa, protege a la segunda, de malla fina. El agua se agrega en diferentes etapas y el material de gran tamaño que no pasa las zarandas, constituye el rechazo o producto grueso de la lavadora cilíndrica; después pasa este por una trituradora de quijada y se elimina del proceso mediante una banda transportadora.

El producto final se obtiene en forma de pulpa a la salida de la segunda zaranda. La planta está dividida en dos líneas seguidas, denominadas trenes. La banda transportadora, instalada con posterioridad, descarga directamente a la tolva alimentadora, pudiéndose utilizar indistintamente uno u otro esquema.

Espesamiento

La pulpa se transporta, desde la planta de preparación mecánica hasta los espesadores, por gravedad, a través de tubos de hormigón de 300 mm de diámetro hasta una distancia de alrededor de 6 km. Allí se descarga sobre una caja de distribución, desde la que puede ser alimentada por sifones a los espesadores. Todas estas instalaciones están situadas en la propia fábrica. La pulpa, al llegar a los espesadores, contiene cerca del 25 % de sólidos, pero puede aumentar hasta 45 %; el agua que rebosa se recircula a la planta de preparación de pulpa.

Lixiviación

El diagrama de flujo y aparatos para una línea de la planta de lixiviación se muestra en la figura 7.3. La planta posee cuatro líneas. La pulpa, con la densidad máxima posible, se bombea desde los espesadores hasta la planta de lixiviación y pasa a través de un precalentador de vapor de acción directa, para llegar a los tanques de almacenaje con agitadores mecánicos. Desde aquí se bombea a la bomba de alta presión, que la envía a los reactores a través de una precalentadora, donde adquiere la temperatura de reacción por acción directa del vapor.

La lixiviación se produce en los reactores, cuatro en total en cada línea, a través de los cuales fluye por gravedad; en el primero de ellos se alimenta ácido sulfúrico al 98 %. A los reactores se le alimenta vapor de alta presión, que induce la circulación y que posteriormente es nuevamente utilizado. La pulpa lixiviada que rebosa después de la cuarta etapa, pasa a un intercambiador horizontal donde se enfría. En el proceso de enfriamiento se obtiene el vapor que será utilizado en los precalentadores. De los intercambiadores pasa a un tanque de evaporación instantáneo, a través de estranguladores de control de flujo, y de aquí corre por gravedad al sistema de lavado.

El vapor se obtiene en el tanque de evaporación instantánea se utiliza posteriormente en otra etapa del proceso.

Lavado

El lavado se realiza en seis grandes tanques, mediante un sistema de decantación a contra corriente. Estos tanques, de hecho, consisten en espesadores en los cuales los sólidos estériles se asientan con facilidad, separándose de la pulpa concentrada, y son completamente lavados.

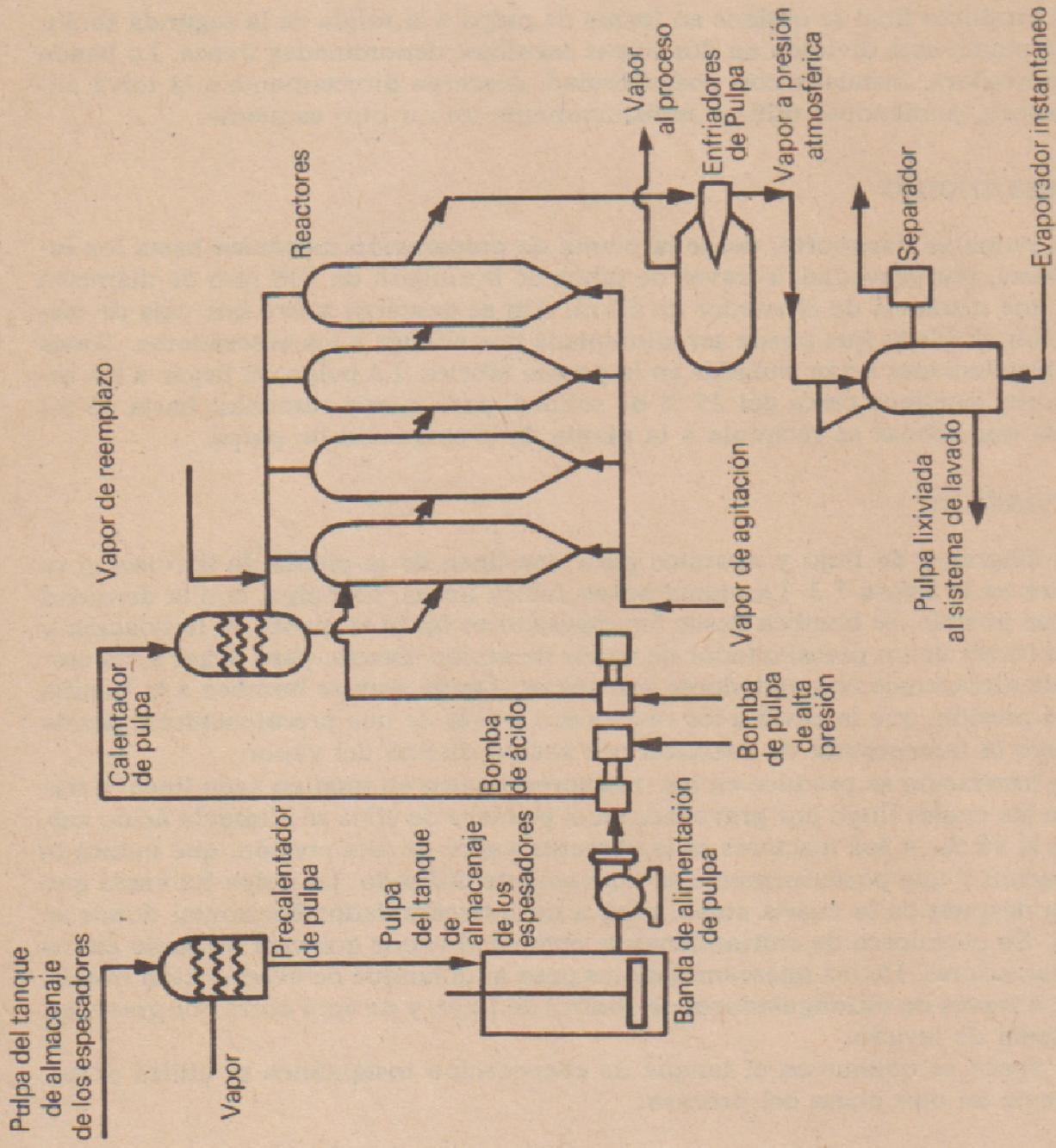


Fig. 7.3 Diagrama de flujos y aparatos para una línea de lixiviación (Empresa "Cmdte. Pedro Soto Alba")

El rebozo de la primera etapa constituye el licor lixiviado y lavado, y se transporta a la sección de neutralización.

El sólido asentado pasa al segundo tanque y continúa en esa dirección hasta el último, donde se recoge en forma de colas que se bombean para su almacenamiento en la presa de cola. Los rebosos de los tanques tienen dirección contraria a la de los sólidos y van desde el último tanque hasta el primero (Fig. 7.4).

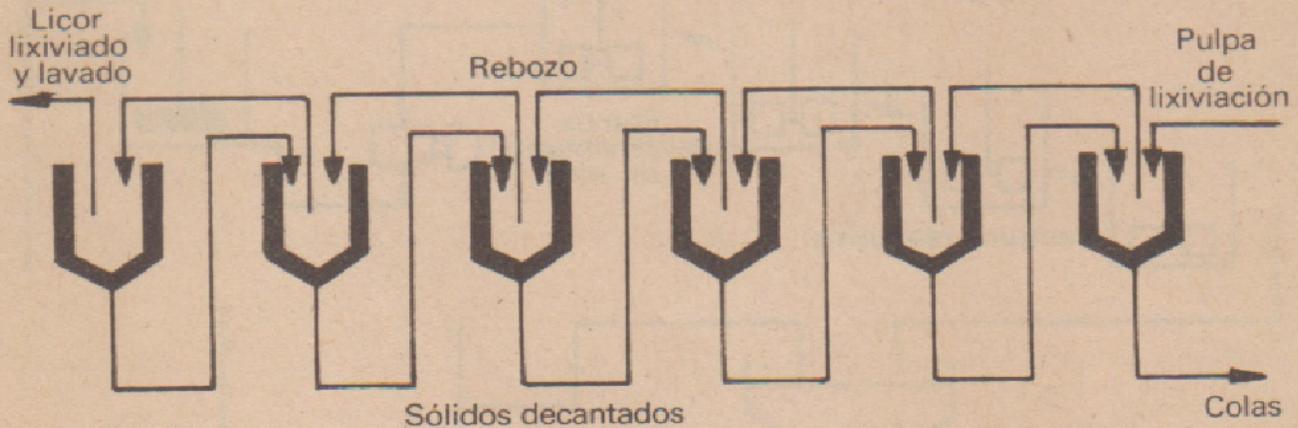
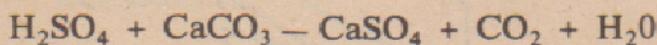


Fig. 7.4 Esquema de flujo y aparatos de lavado (Empresa "Cmdte. Pedro Soto Alba")

Neutralización

El licor lixiviado y lavado llega a un tanque de almacenamiento de licor (Fig. 7.5), desde donde pasa a los tanques de neutralización, situados en forma de cascada, en cuatro etapas; estos poseen agitadores mecánicos y allí se mezcla el licor con una pulpa de coral, para su neutralización, es decir, la separación del ácido libre, que al reaccionar con el coral (carbonato de calcio, CaCO_3) produce yeso (sulfato de calcio CaSO_4), ácido carbónico (CO_2) y agua.



El producto pasa del último reactor a un tanque, donde se separa el yeso del licor producto. El primero se recoge por la parte inferior y se envía nuevamente al sistema de lavado, el segundo reboza y se almacena en forma de licor producto, desde donde pasará para la sección de precipitación. El ácido carbónico quemado en el proceso de neutralización, se expulsa a la atmósfera a través de una chimenea con la ayuda de un ventilador de tiro.

En el proceso de neutralización se le alimenta ácido sulfhídrico para eliminar el cromo y reducir el hierro.

Planta de coral. El coral se draga de los arrecifes coralinos de la costa y se lleva en patanas a la planta de preparación situada en los muelles. El diagrama de flujo y los aparatos de la planta de coral se muestra en la figura 7.6. El coral se descarga de la patana por una excavadora y se transporta a una lavadora de paletas, de la cual pasa a una clasificación de dos etapas mediante zarandas vibratorias. El material grueso es desechado y el material fino se traslada a los espesadores de dos etapas. El rebozo de ambos espesadores se elimina como desecho, y el producto final se bombea hasta la fábrica, a 6 km de distancia, a un tanque de almacenamiento con agitadores mecánicos.

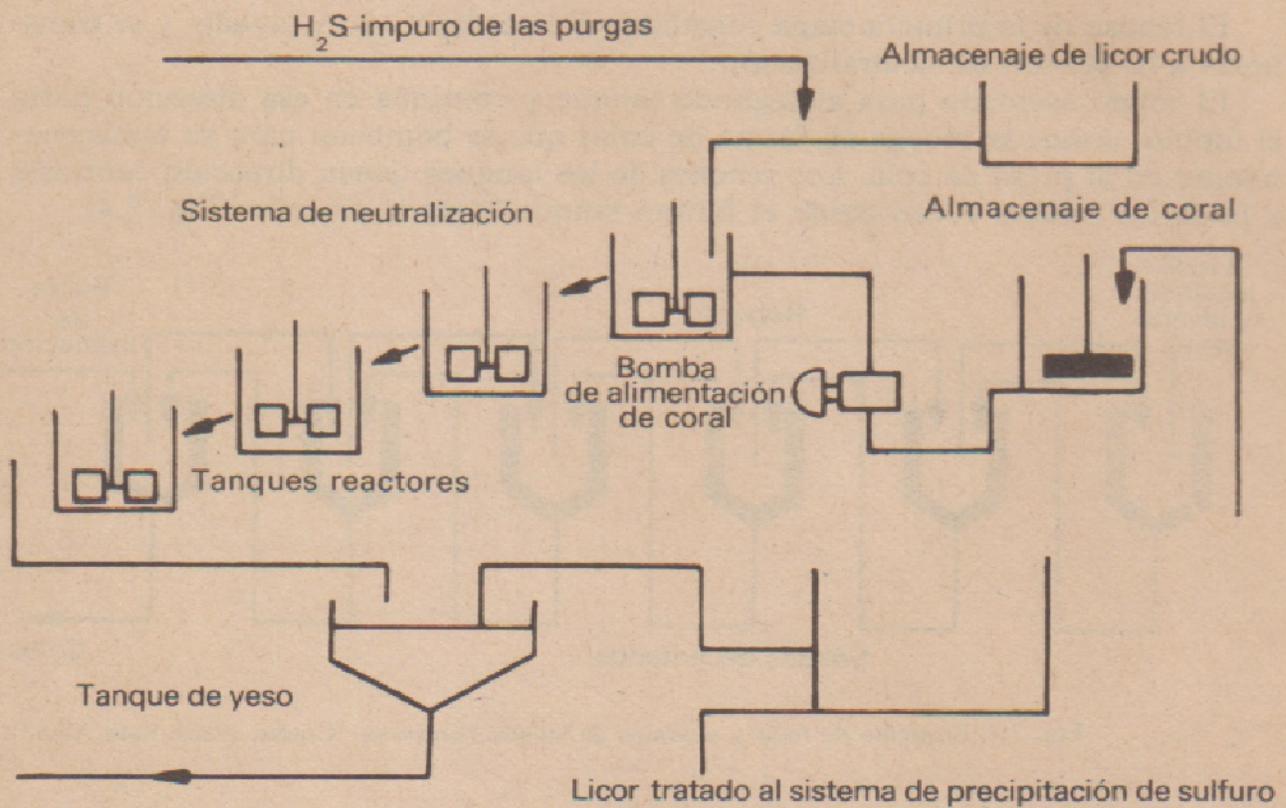


Fig. 7.5 Esquema de flujos y aparatos de neutralización (Empresa "Cmdte. Pedro Soto Alba")

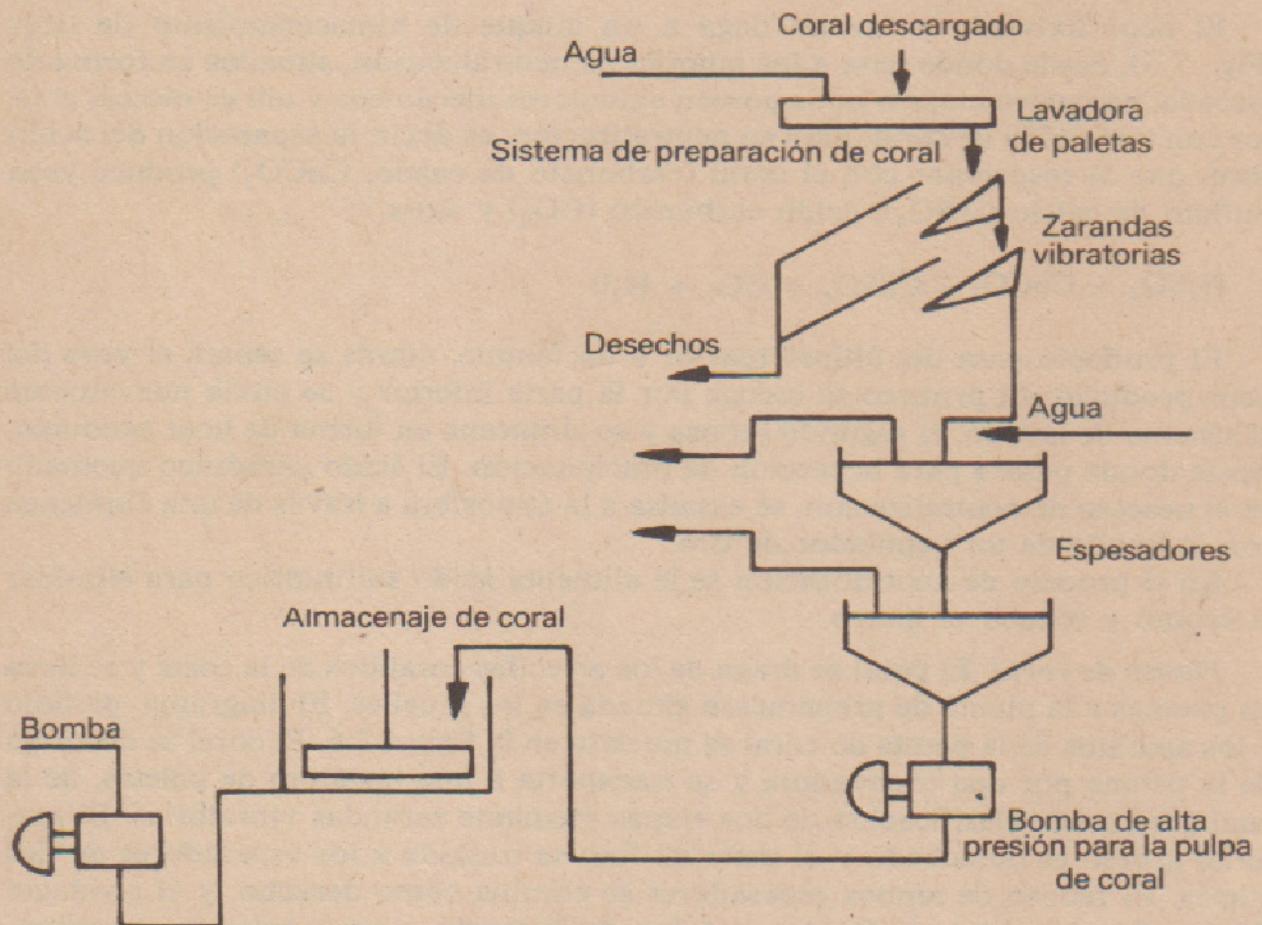


Fig. 7.6 Diagrama de flujo y aparatos de la planta de coral (Empresa "Cmdte. Pedro Soto Alba")

Precipitación

El licor neutralizado se bombea a la planta de lixiviación, para su precalentamiento por contacto directo del vapor que se desprende del tanque de evaporación instantánea y que después se bombea a los calentadores de la planta de sulfuros, donde se realiza la precipitación.

El diagrama de flujo y aparato en la planta de sulfuros se muestra en la figura 7.7

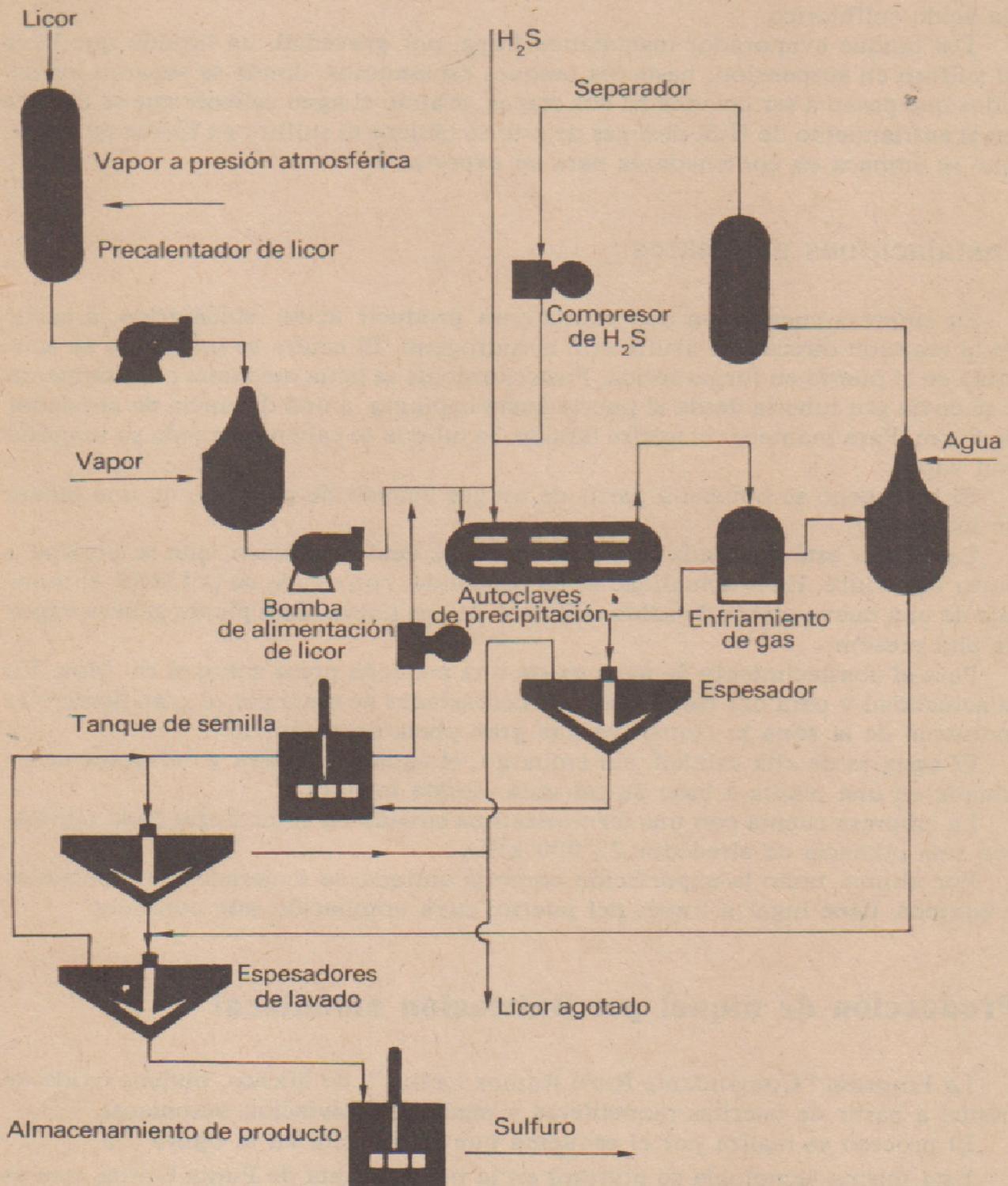


Fig. 7.7 Diagrama de flujo y aparatos de la planta de sulfuros (Empresa "Cmdte. Pedro Soto Alba")

Del calentador el licor se bombea a los autoclaves: reactores cilíndricos horizontales revestidos de ladrillos antiácido y divididos interiormente en tres compartimientos, por tabiques de ladrillos. Cada compartimiento posee un agitador. Al autoclave se inyecta a presión ácido sulfhídrico (H_2S), que hace precipitar el níquel y el cobalto del licor en forma de sulfuro (NiS). El precipitado pasa a los tanques de evaporación instantánea donde se separa el exceso de ácido sulfhídrico. Este gas se enfría, se seca, se lava, y recircula nuevamente por los autoclaves, a alta presión, mediante un compresor. El gas utilizado se restituye desde la planta de ácido sulfhídrico.

Del tanque evaporador instantáneo fluye, por gravedad, un líquido que lleva el sulfuro en suspensión, hasta los tanques espesadores, donde se separan los sólidos que pasan a ser lavados en dos etapas, usando el agua caliente que se obtiene en el enfriamiento de H_2S ; después de esto se obtiene el sulfuro en forma de pulpa, que se empaqueta en contenedores para su exportación.

Instalaciones auxiliares

La empresa cuenta con una planta para producir ácido sulfhídrico a partir de la reacción directa del azufre con el hidrógeno. El azufre se importa y se acumula en el puerto en forma sólida. Posteriormente se licúa mediante calentamiento y se envía por tubería desde el puerto hasta la planta, a una distancia de alrededor de 6 km. Para mantener el azufre líquido, la tubería se calienta en toda su longitud con vapor.

El hidrógeno se obtiene a partir de un gas licuado de petróleo, en una planta de hidrógeno.

La fábrica está equipada con una planta de ácido sulfúrico, que se obtiene a partir del azufre. En la actualidad se ha concluido, con ayuda de la URSS, el montaje de una nueva planta de ácido sulfúrico de dos líneas. Esta planta genera vapor de alta presión.

Para el abastecimiento de agua existe una pequeña presa sobre el río Moa. En la actualidad y para dar respuesta a las necesidades de agua por el gran desarrollo industrial de la zona se construye una gran presa en dicho río.

El agua es de alta calidad, sin embargo, el agua de caldera y enfriamiento es tratada en una planta a base de cal-soda, donde se filtra.

La empresa cuenta con una termoeléctrica situada en el territorio de la fábrica, con una potencia de alrededor 22 000 kW.

Por último, tanto la exportación como la entrada de materiales, combustibles y equipos, tiene lugar a través del puerto, cuya ampliación aún continúa.

Producción de níquel por lixiviación amoniacal

La Empresa "Comandante René Ramos Latour", de Nicaro, obtiene óxido de níquel a partir de lateritas níquelíferas y mediante lixiviación amoniacal.

El proceso se realiza por el esquema que se muestra en la figura 7.8

Esta misma tecnología se utilizará en la nueva planta de Punta Gorda, que se construye con ayuda de la URSS.

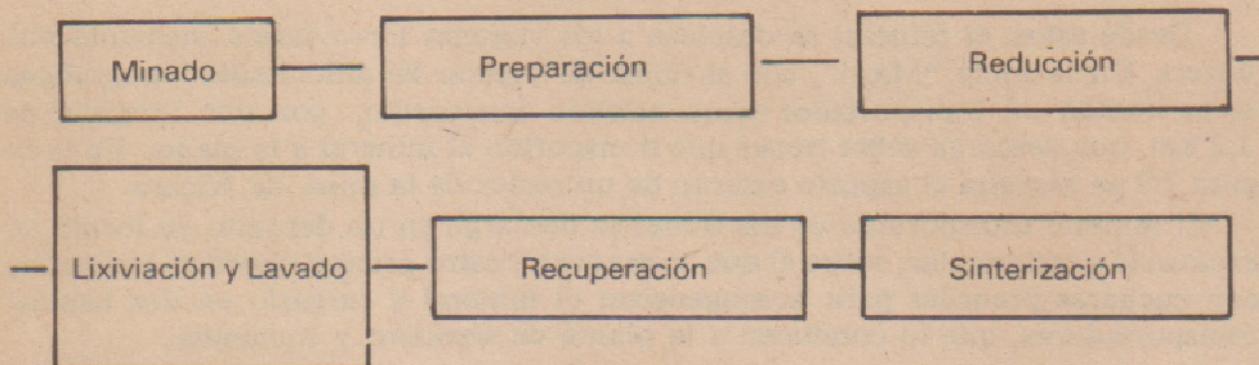


Fig. 7.8 Esquema de la producción de la Empresa niquelífera "René Ramos Latour"

Minado

Para realizar el minado se lleva a cabo un desmonte previo, seguido del destape que consiste en la separación de la capa superior con poco contenido de níquel. El destape se realiza con mototraíllas (escrepas).

El contenido mínimo de níquel exigido para el mineral de Nicaro es de 1,37%. La extracción se hace con cucharas de arrastre que cargan el material sobre camiones, los que a su vez lo pueden descargar directamente sobre los trenes aunque es más frecuente que lo hagan en plataformas especiales situadas a gran distancia de los frentes de arranque.

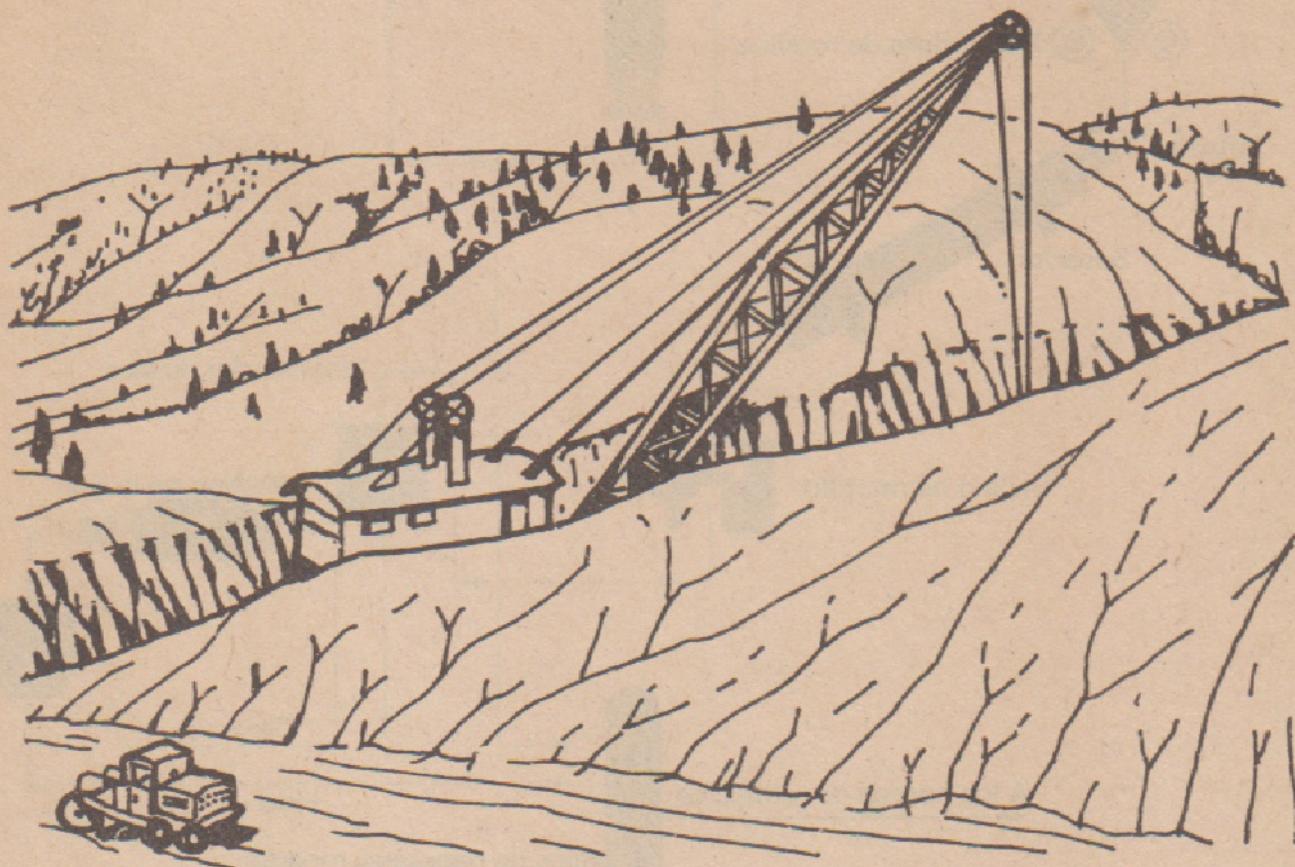


Fig. 7.9 Aspecto general de un sector de mina en Nicaro

Desde estos, el mineral se desplaza a los vagones ferroviarios mediante bulldozers. En la mina "Martí", con el objeto de superar las dificultades topográficas, se ha situado un transportador como eslabón intermedio, con una longitud de 3,2 km, que descarga sobre trenes que transportan el mineral a la planta. En la figura 7.9 se muestra el aspecto externo de un sector de la mina de Nicaro.

El mineral transportado en los trenes se descarga en un depósito en forma de excavación rectangular, sobre el que se mueven cuatro grúas de pórtico equipadas con cucharas prensiles para homogeneizar el mineral y cargarlo en dos bandas transportadoras, que lo conducen a la planta de secadero y molienda.

El esquema de flujo y aparatos en la planta de secadero y molienda se muestra en la figura 7.10.

El mineral, después de triturado en una máquina de rodillos, pasa a hornos rotatorios donde se produce el secado (eliminación de humedad). Al horno se impulsa aire, calentando con petróleo, en la misma dirección del movimiento del flujo. A la salida del horno, el material sólido se conduce a un molino de martillo, mientras que los gases se envían a la chimenea a través de un ciclón y de un pre-

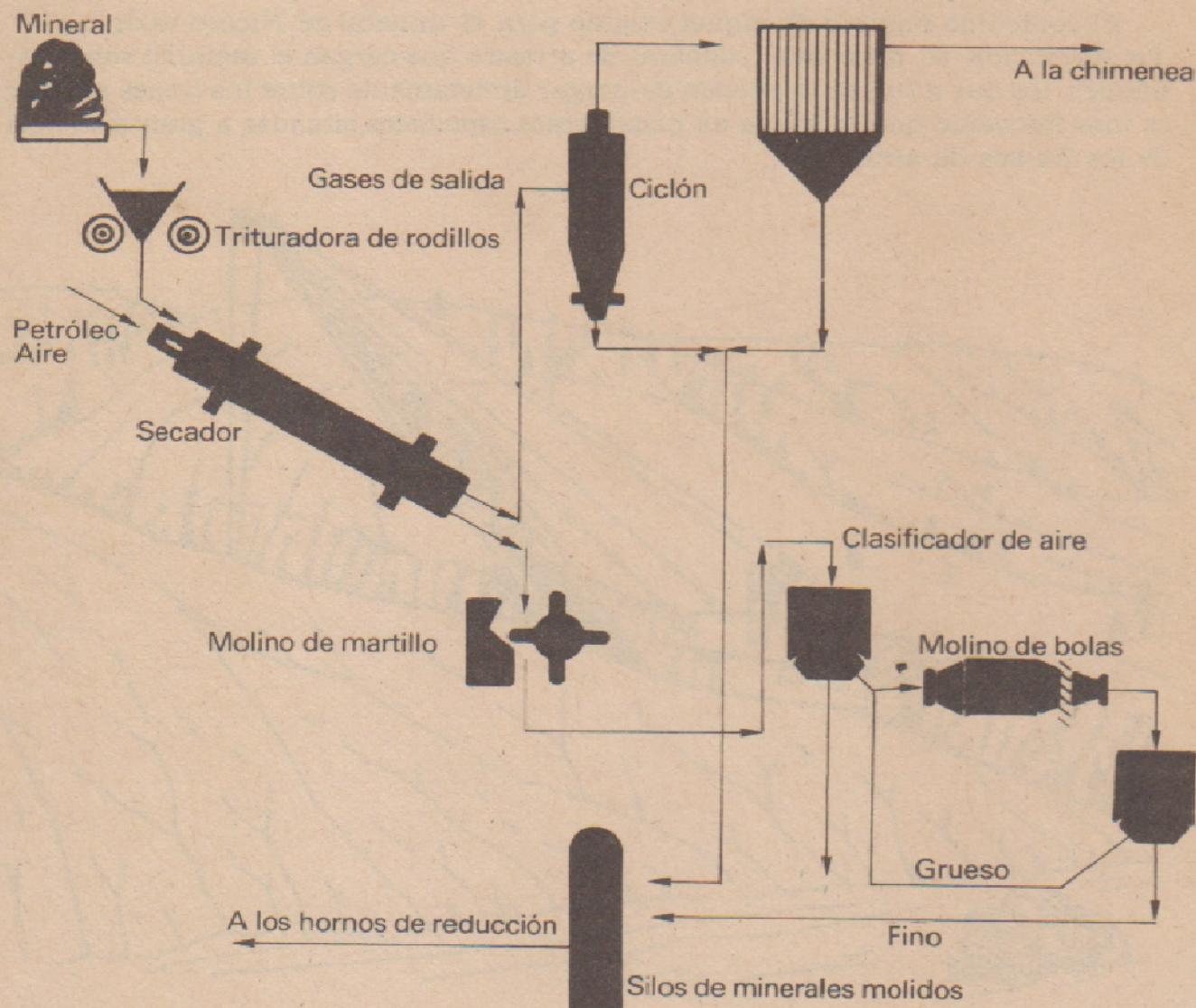


Fig. 7.10 Esquema de flujos y aparatos en la planta de secaderos y molienda (Empresa "René Ramos Latour")

cipitador electrostático, los cuales separan las partículas sólidas muy finas (polvo) suspensas en los gases y las conducen directamente a los silos de almacenamiento.

El producto principal, después de pasar el molino de martillos, se traslada a un clasificador neumático, que envía la fracción fina a los depósitos y la gruesa a un molino de bola. El material, a la salida de este último, se clasifica nuevamente. La fracción fina es enviada a los depósitos (silos) y las gruesas regresan al molino. El movimiento del mineral hasta los silos y de estos a los hornos de reducción, se lleva a cabo mediante transporte neumático.

Reducción

Antes de lixiviar el material es necesario reducirlo, es decir, disminuir el contenido de oxígeno en su composición. Esta operación se realiza en hornos de hogares múltiples, situados en la planta de hornos de reducción.

El diagrama de flujo y aparatos para una línea de la planta de hornos de reducción se muestra en la figura 7.11.

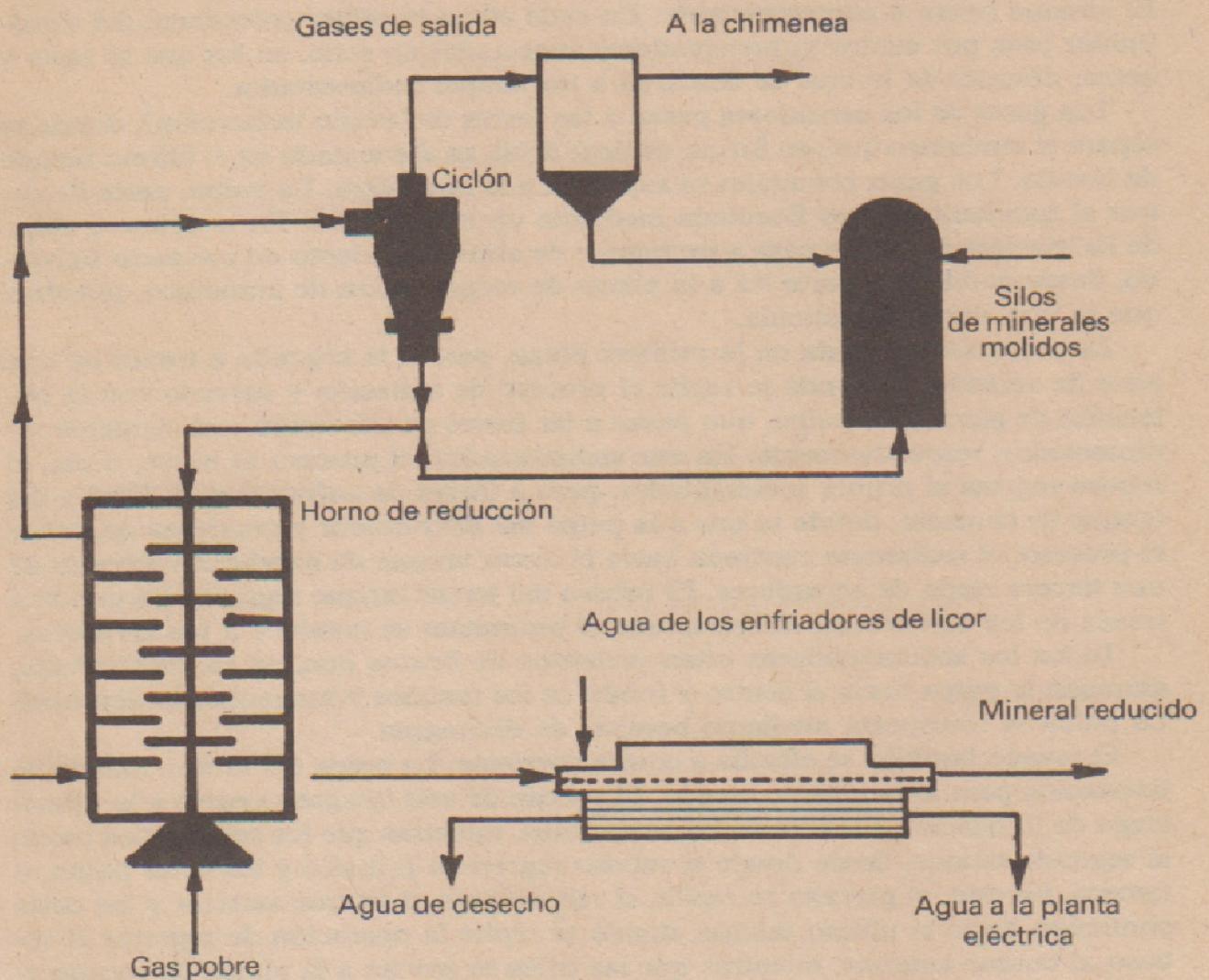


Fig. 7.11 Diagrama de flujos y aparatos para la planta de hornos de reducción (Empresa "René Ramos Latour")

El mineral de los silos se transporta de forma neumática a los hornos, donde se alimenta, como agente reductor, un gas obtenido por la combustión del carbón de piedra en presencia de aire saturado de vapor de agua. El mineral reducido pasa a los enfriadores rotatorios y de aquí a los tanques de contacto de lixiviación. Los gases van a la chimenea a través de un ciclón y un precipitador electrostático, los cuales hacen separar las partículas finas (polvo) de mineral suspenso en los gases y las conducen de nuevo a los silos.

Lixiviación y lavado

El esquema de flujo y aparatos para una línea de lixiviación y lavado se muestra en la figura 7.12

El mineral reducido se conduce desde los enfriadores rotatorios a una canal, donde se mezcla con licor amoniacal procedente de los intercambiadores de calor de la planta de lixiviación, y ya en forma de pulpa se descarga sobre dos tanques de contacto con agitadores, desde donde esta se bombea hasta un distribuidor que alimenta la serie de lixiviación y lavado. Cada serie típica tiene tres etapas de lixiviación y cuatro de lavado. En el proceso de lixiviación, el níquel, en estado metálico en el mineral después de la reducción, se disuelve en la solución amoniacal. El sistema opera a contracorriente. En cada etapa la pulpa procedente del distribuidor pasa por cuatro turboaeradores conectados en serie, en los que se agita y aerea, después de lo cual se descarga a un tanque sedimentador.

Los gases de los aeradores pasan a las torres de lavado (adsorción), donde se separa el amoníaco que, en forma de licor débil, es alimentado en el último tanque de lavado. Los gases residuales se expulsan a la atmósfera. La pulpa, antes de entrar al sedimentador, es floculada mediante un electroimán. En la primera etapa de lixiviación el reboso pasa a un tanque de almacenamiento de producto lixiviado, desde donde una parte irá a la planta de recuperación de amoníaco, mientras que la otra parte se recircula.

La pulpa sedimentada en la primera etapa, pasa a la segunda a través de una serie de aeradores, donde se repite el proceso de agitación y aereado con la obtención de gases y de pulpa, que pasan a las torres de adsorción y al siguiente sedimentador, respectivamente. En este sedimentador, el proceso se repite, o sea, el reboso regresa al primer sedimentador, pero a través de enfriadores de licor y del tanque de contacto, donde se une a la pulpa del distribuidor y comienza de nuevo el proceso; el sedimento continúa hacia el tercer tanque de lixiviación a través de una tercera etapa de aeradores. El reboso del tercer tanque regresa al segundo a través de los aeradores, mientras que el sedimento se conduce a los lavaderos.

Todos los sedimentadores están provistos de brazos que, en su movimiento, empujan la pulpa hacia el centro y fondo de los tanques y aumentan su densidad. La pulpa se transporta mediante bombas de diafragma.

El lavado también se efectúa a contra corriente. La pulpa del último tanque de lixiviación pasa al tanque de lavado. El reboso de este tanque se envía a la última etapa de lixiviación a través de los aeradores, mientras que los sedimentos pasan al segundo tanque, desde donde el reboso regresa al primero y las colas pasan al tercero. En este, el proceso se repite, el reboso pasa al tanque anterior y las colas continúan hasta el último tanque, donde se repite la operación de regresar el reboso al tanque anterior, mientras que las colas se envían a la planta de recuperación de amoníaco.

Todo el sistema está conectado a una línea de succión, que aspira los gases mediante un ventilador y los envía al sistema de adsorción.

Recuperación de níquel

En la planta de recuperación de amoníaco se lleva a cabo la destilación del licor-producto, para precipitar el carbonato de níquel, del cual, mediante calcinación, se obtiene óxido de níquel con un contenido de 88 % de metal.

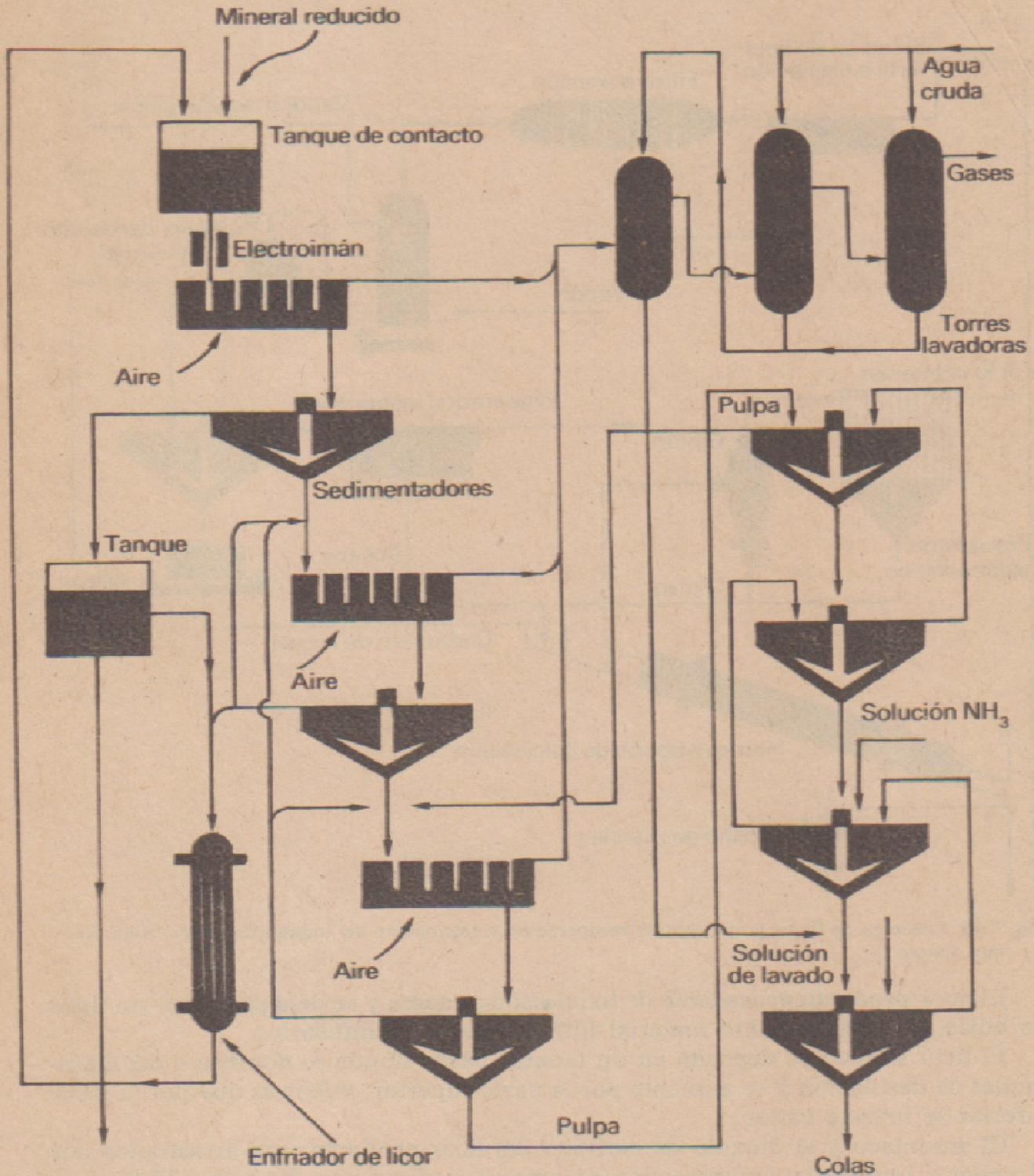


Fig. 7.12 Esquema de flujo y aparatos para una línea de lixiviación y lavado (Empresa "René Ramos Latour")

En la misma planta se recupera amoníaco y dióxido de carbono del licor-producto, enviado de lixiviación, y de las colas conducidas desde los lavaderos. Al mismo tiempo se reponen las pérdidas de amoníaco y de dióxido de carbono en el sistema.

El esquema de flujos y aparatos de la recuperación y calcinación del níquel se muestra en la figura 7.13.

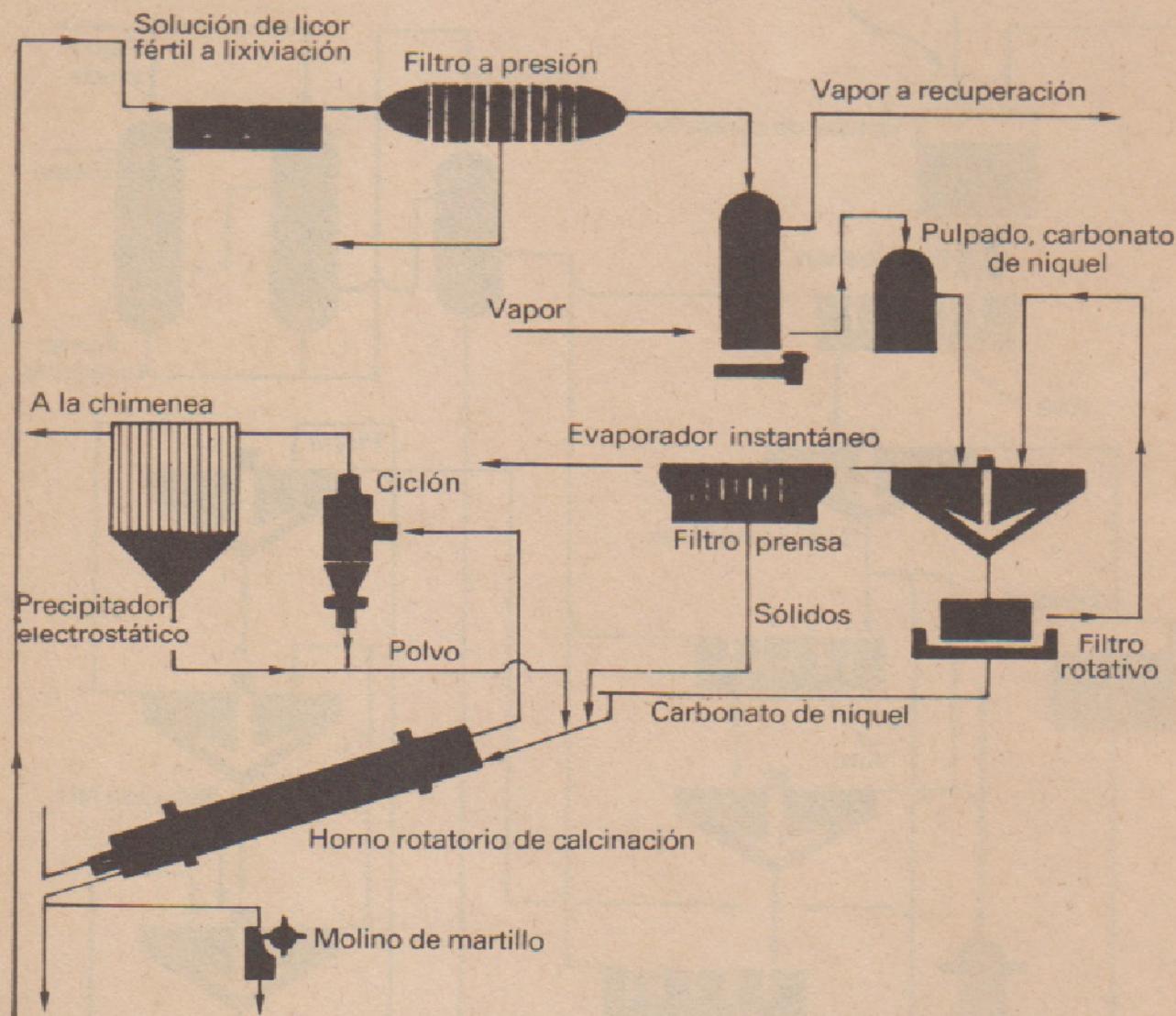


Fig. 7.13 Esquema de flujos y aparatos de recuperación y calcinación del níquel (Empresa "René Ramos Latour")

El licor-producto procedente de lixiviación se aerea y se deja pasar por un filtro de hojas, que utiliza como material filtrante tierra de infusorios.

El licor filtrado se deposita en un tanque, desde donde se bombea a los alambiques de destilación y se alimenta por la parte superior, mientras que por la parte inferior se inyecta vapor.

El amoníaco y el dióxido de carbono del licor-producto, son arrastrados por el vapor y cuando la concentración de amoníaco disminuye hasta un 20 %, precipita el carbonato de níquel.

El vapor de los alambiques pasa a la recuperación del amoníaco, mientras que la pulpa de carbonato de níquel va a un sedimentador a través de un evaporador ins-

tantáneo. La pulpa espesada pasa a filtros rotatorios, donde se disminuye la humedad. El reboso también se filtra en filtros de prensa. Los productos filtrados en ambos, en forma de carbonato de níquel, se trasladan a un horno rotatorio donde, mediante calcinación, se obtiene óxido de níquel. El flujo es a contracorriente, por una parte penetra el carbonato de níquel, y por la otra, el aire calentado con gasoil.

El óxido de níquel obtenido al final del horno, constituye parte del producto final, mientras que otra parte pasa a sinterización para su aglomeración.

Los gases que pasan a través del horno circulan al sistema de recuperación de polvo, formado por un ciclón y un precipitador electrostático, que permite recuperar hasta el 98-99 % del polvo arrastrado que se pasa al horno, mientras que los gases se expulsan a la atmósfera.

Recuperación de amoníaco

En la figura 7.14 se muestra el esquema de flujos y aparatos de la recuperación del amoníaco, a partir de las colas de lavado.

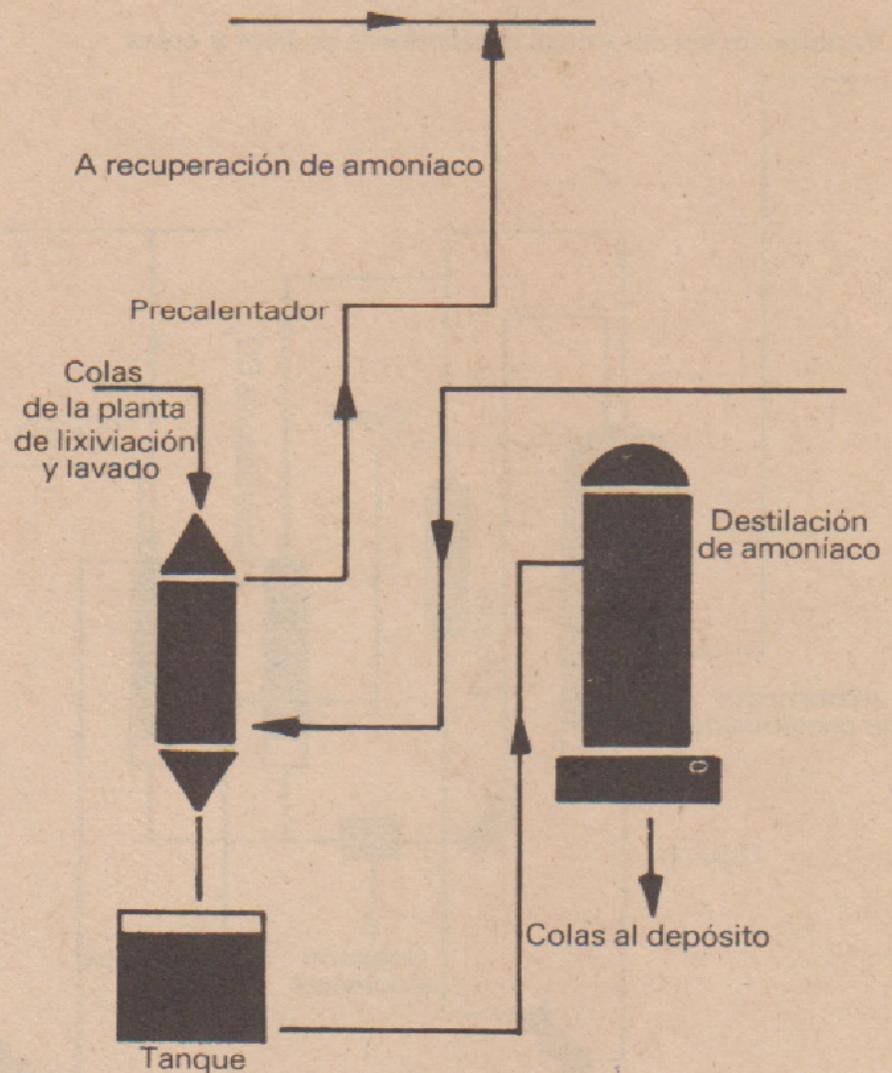


Fig. 7.14 Esquema de flujos y aparatos de la recuperación del amoníaco a partir de las colas de lavado (Empresa "René Ramos Latour")

De la torre de absorción de CO_2 , pasan a la torre de absorción de amoníaco y de aquí a las torres de absorción finales, donde los gases residuales son expulsados a la atmósfera.

El efluente de las torres absorbedoras de condensado, denominado licor fuerte, se envía a los enfriadores, de donde una parte recirculada por las columnas absorbedoras condensadoras y por la torre de absorción de CO_2 y la otra se envía a dos tanques de licor fresco, desde donde se bombean a la planta de lixiviación y lavado.

Sinterización

El óxido de níquel, con un contenido de 77-78 % de metal obtenido en la calcinación, constituye parte del producto final; la otra parte se somete a sinterización y permite obtener un material aglomerado con un contenido de 88-90 %, gracias a la reducción de óxido. El esquema de flujo en el proceso de sinterización se muestra en la figura 7.16.

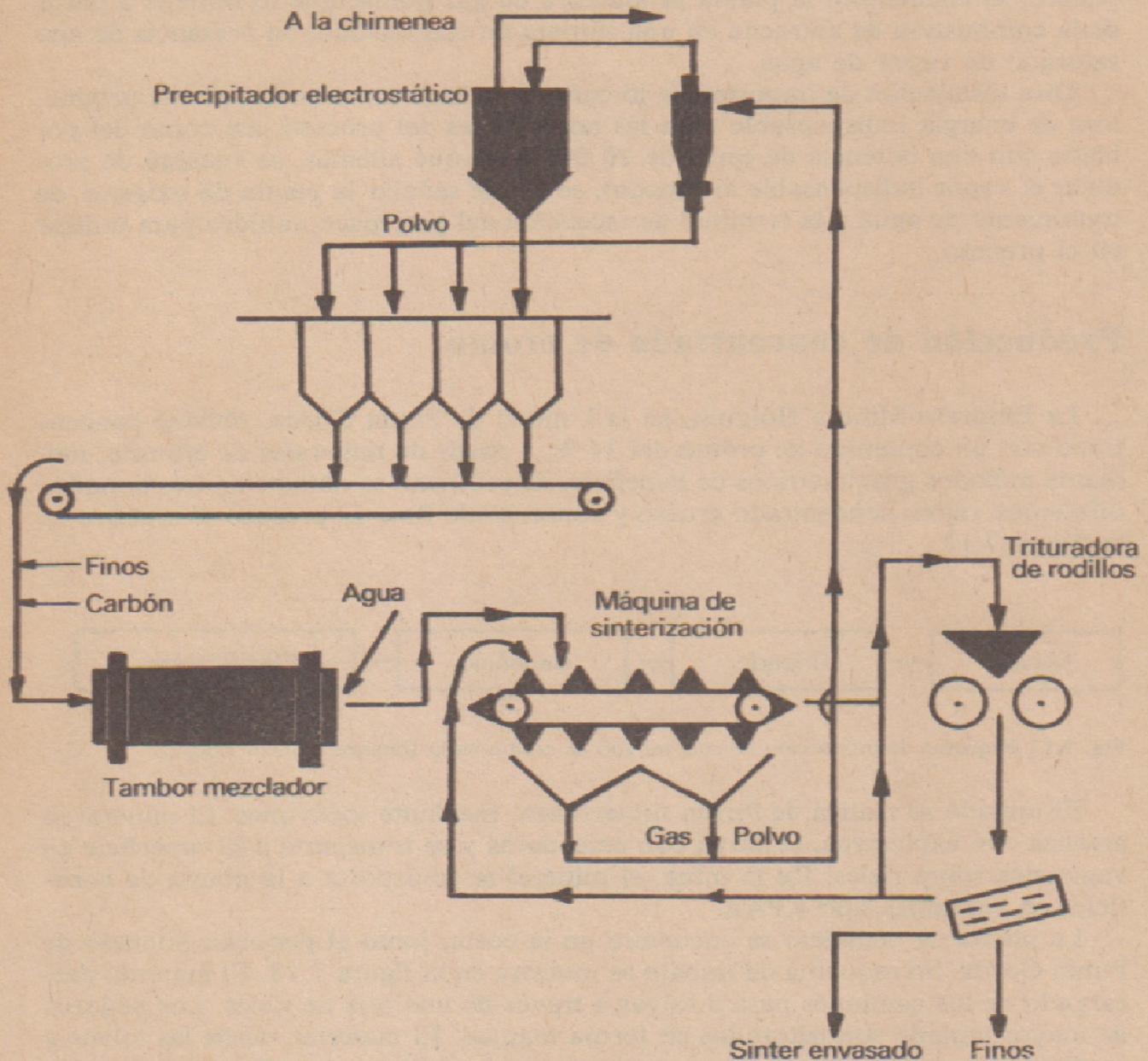


Fig. 7.16 Esquema de flujos y aparatos de sinterización (Empresa "René Ramos Latour")

A la planta de sinter se alimenta óxido de níquel, antracita y el retorno de fino y polvo, mediante tolvas independientes, y los cuales son conducidos por una banda transportadora a una tambora mezcladora y de ella a la máquina de sinterizar, que mantiene la temperatura necesaria mediante la combustión de petróleo.

Los gases van a la chimenea para ser expulsados a la atmósfera a través de un ciclón, un precipitador electrostático recupera gran parte del polvo arrastrado, que regresa al proceso.

El material aglomerado pasa a una trituradora de rodillo, de aquí, luego de ser clasificado el producto final, se envía para su embarque; mientras, los materiales finos regresan al proceso.

Instalaciones auxiliares

Entre las instalaciones auxiliares en la unidad "René Ramos Latour", de Nicaro, se encuentran la planta productora de gas pobre, que lo obtiene a partir de la combustión de antracita en una cámara de combustión, en presencia de aire saturado de vapor de agua.

Otra instalación de importancia lo constituye la termoelectrica, planta productora de energía indispensable para las necesidades del proceso, así como del poblado con una potencia de cerca de 20 000 kW, que además, se encarga de producir el vapor indispensable al proceso; se puede señalar la planta de oxígeno, de tratamiento de agua y la terminal de recepción del amoníaco anhidro para utilizar en el proceso.

Producción de concentrado de cromo

La Empresa Minera Holguín, en la Unidad de Punta Gorda, obtiene concentrado con un contenido de cromo del 34 %, a partir de minerales de cromita, mediante métodos gravimétricos de beneficio. El producto se obtiene en tres tamaños diferentes: rajón, concentrado grueso y concentrado fino. El proceso se muestra en la figura 7.17.

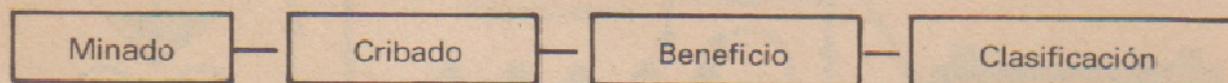


Fig. 7.17 Esquema de producción de concentrado de cromo en la Empresa Minera Holguín

El minado se realiza de forma subterránea, mediante socavones. El mineral se arranca con explosivos, se carga con paleadoras y se transporta a la superficie en vagonetas sobre rieles. De la mina, el mineral se transporta a la planta de beneficio, en camiones tipo KPAZ.

La planta de beneficio se encuentra en la costa, junto al pequeño poblado de Punta Gorda. Su esquema de trabajo se muestra en la figura 7.18. El material descargado de los camiones pasa a tolvas a través de una reja de rieles. Los pedazos de mayor tamaño son triturados en forma manual. El material, desde las tolvas y mediante bandas transportadoras, pasa a una serie de zarandas vibratorias, tres en total, que lo clasifica por su tamaño.

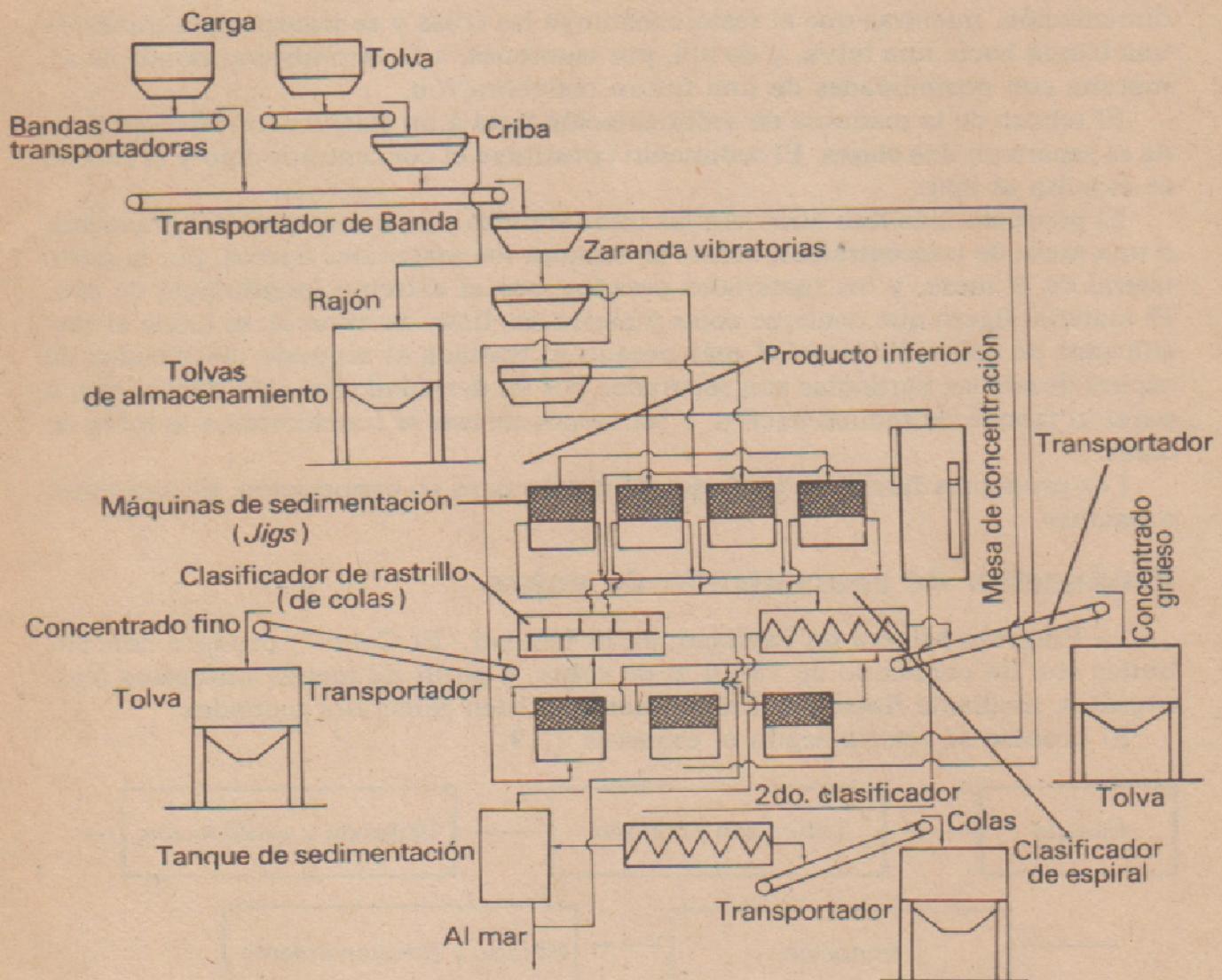


Fig. 7.18 Esquema de trabajo de la planta de beneficio de minerales de cromo de la Empresa Minera "Holguín" (Unidad Punta Gorda)

Con anterioridad, en los alimentadores de las tolvas el material ha sido sometido a una selección manual y pasa a través de una criba que separa los pedazos mayores de 26 mm, que constituyen el rajón, y los envía a una tolva de almacenamiento.

Cada zaranda posee dos paños, de tal forma que el producto superior de cada uno constituye el material grueso. El cernido más fino continúa a través de las zarandas hasta la última, donde constituye su producto inferior. De tal forma, en el proceso de cribado se obtienen siete clases en total. Cada uno de los productos superiores (gruesos) de los paños de las zarandas, se envían a una máquina de sedimentación (*jig*) del tipo de tamiz fijo, donde las partículas se separan por su densidad. Para el producto superior del paño inferior de la segunda zaranda, se utilizan dos máquinas de sedimentación en paralelo, debido a su gran volumen.

El sedimento o material más pesado se envía a un clasificador de espiral, en el cual las partículas son separadas por su tamaño. Los sedimentos del clasificador constituyen el concentrado grueso y se envían, mediante una banda transportadora, a la tolva de almacenamiento.

El rebose del clasificador se envía a un segundo clasificador de espiral, desde el cual el material muy fino y que contiene cromo, se conduce a un tanque de se-

dimentación, mientras que el resto constituye las colas y se transporta a través de una banda hacia una tolva, y de allí, por camiones, a la escombrera, donde se almacena con posibilidades de una futura reelaboración.

El reboso de la máquina de sedimentación pasa a un clasificador de colas donde se separa en dos clases. El sedimento constituye el concentrado fino y el reboso se expulsa al mar.

El producto más fino atraviesa las tres zarandas y se transporta, por gravedad, a una mesa de concentración donde se separan los materiales ligeros, por la parte lateral de la mesa, y los materiales pesados, por el extremo longitudinal de ella. El material ligero que contiene colas y partículas finas de mineral, se envía al clasificador de colas. El material más pesado se traslada al segundo clasificador de espiral donde las partículas son separadas por su densidad. Las más densas van a parar al tanque de sedimentación, y las menos densas se transportan a la tolva de colas.

Los productos finales se trasladan al puerto para su exportación, en camiones o patanas.

Producción de concentrado de cobre

La Empresa Minera de Santiago, en la Unidad "El Cobre", produce concentrados con un contenido de 18-20 % de cobre, a partir de menas sulfurosas (calcopirita), mediante flotación. En las menas existen minerales oxidados.

El proceso se realiza según el esquema 7.19.

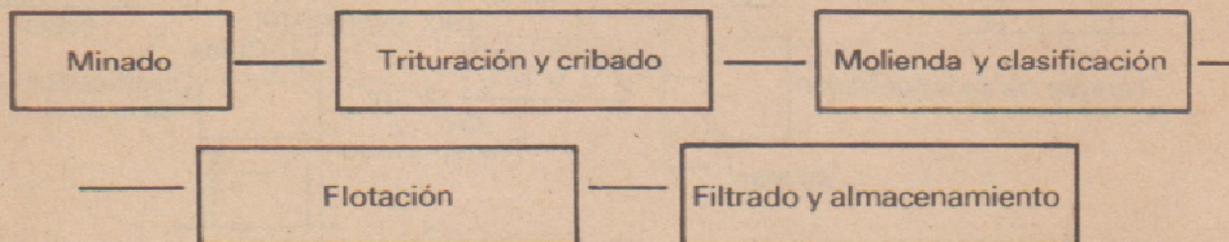


Fig. 7.19 Esquema de producción de concentrado de cobre en la Unidad Minera "El Cobre", en Santiago de Cuba

Los esquemas de trituración y cribado, molienda y clasificación, flotación, filtrado y almacenamiento, se muestran en las figuras 7.20, 7.21, 7.22 y 7.23.

El minado se lleva a cabo a cielo abierto. El arranque se realiza mediante explosivos. La carga se efectúa con excavadoras de pala directa sobre camiones, en los cuales esta se transporta hacia el área de almacenaje, donde se homogeniza. Después de homogenizado, el material pasa a una tolva a través de una parrilla de rieles, y de allí, mediante un alimentador, a una parrilla de barras fijas que las separa en dos clases. El cernido, la clase menor (menos de 75 mm) o producto inferior pasa al transportador de bandas que conduce el material hasta una zaranda vibratoria. El retenido, la clase mayor (más de 75 mm) o producto superior, pasa a un triturador de quijada que reduce el material hasta la fracción menor, desde el cual el material se une a la línea transportadora que conduce a la zaranda vibratoria. Esta última separa el material en dos clases. El cernido, partículas menores de 25 mm, pasa a las tolvas de la sección de molienda y clasificación. El rechazo se envía a un triturador de conos, donde se reduce su tamaño, y regresa nuevamente, mediante bandas transportadoras, a la línea transportadora que lo conduce hasta la zaranda vibratoria.

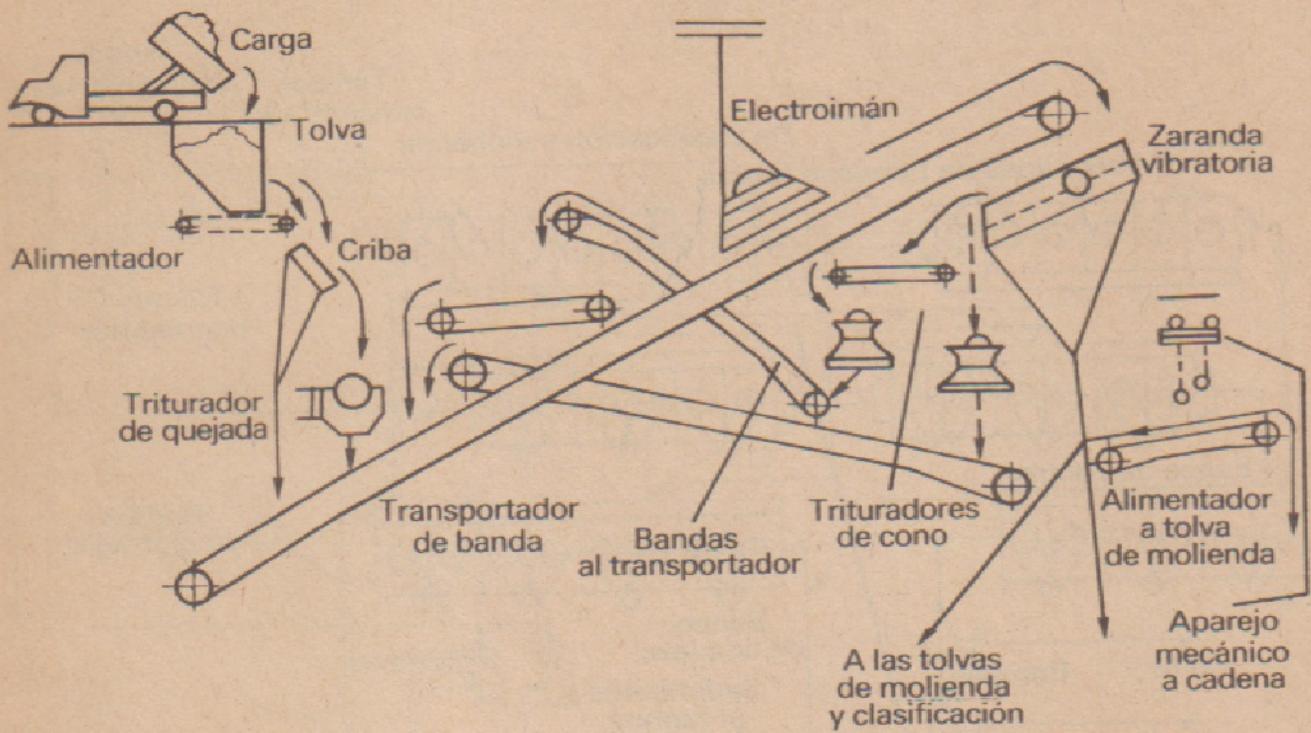


Fig. 7.20 Esquema de trituración y cribado de la planta de beneficio de minerales de cobre, en Santiago de Cuba ("El Cobre")

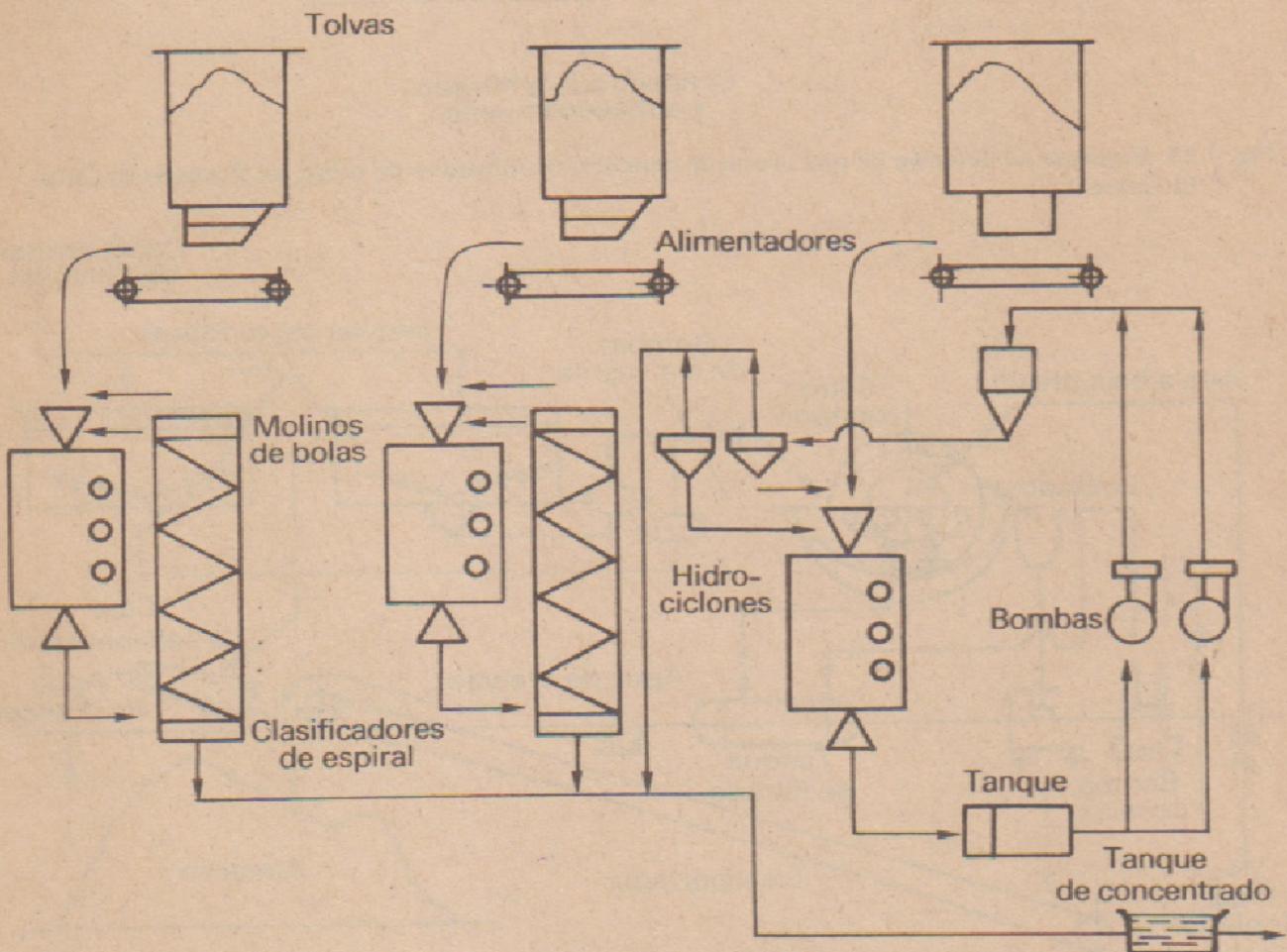


Fig. 7.21 Esquema de molienda y clasificación de la planta de beneficio de minerales de cobre en Santiago de Cuba ("El Cobre")

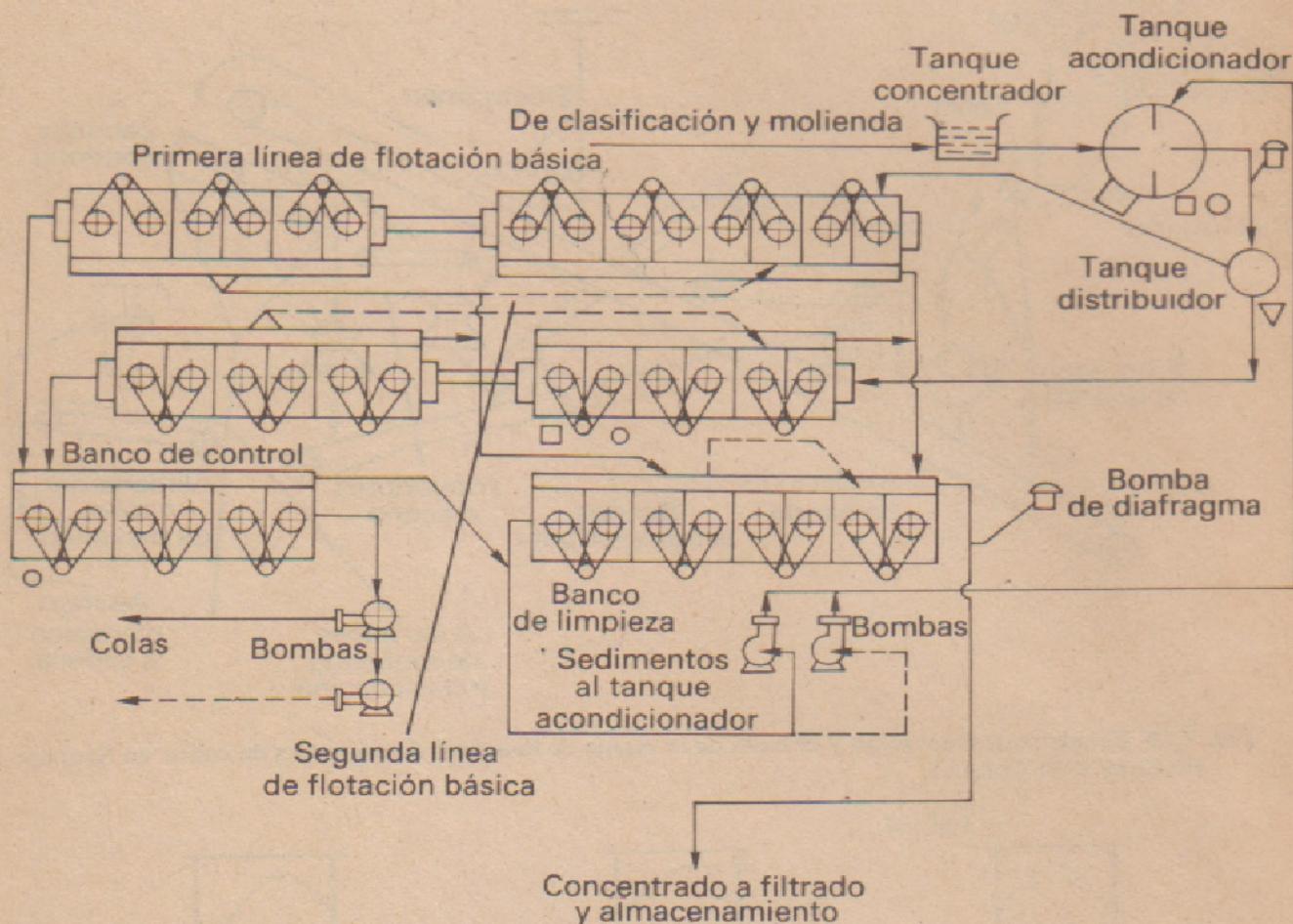


Fig. 7.22 Esquema de flotación de una planta de beneficio de minerales de cobre, en Santiago de Cuba ("El Cobre")

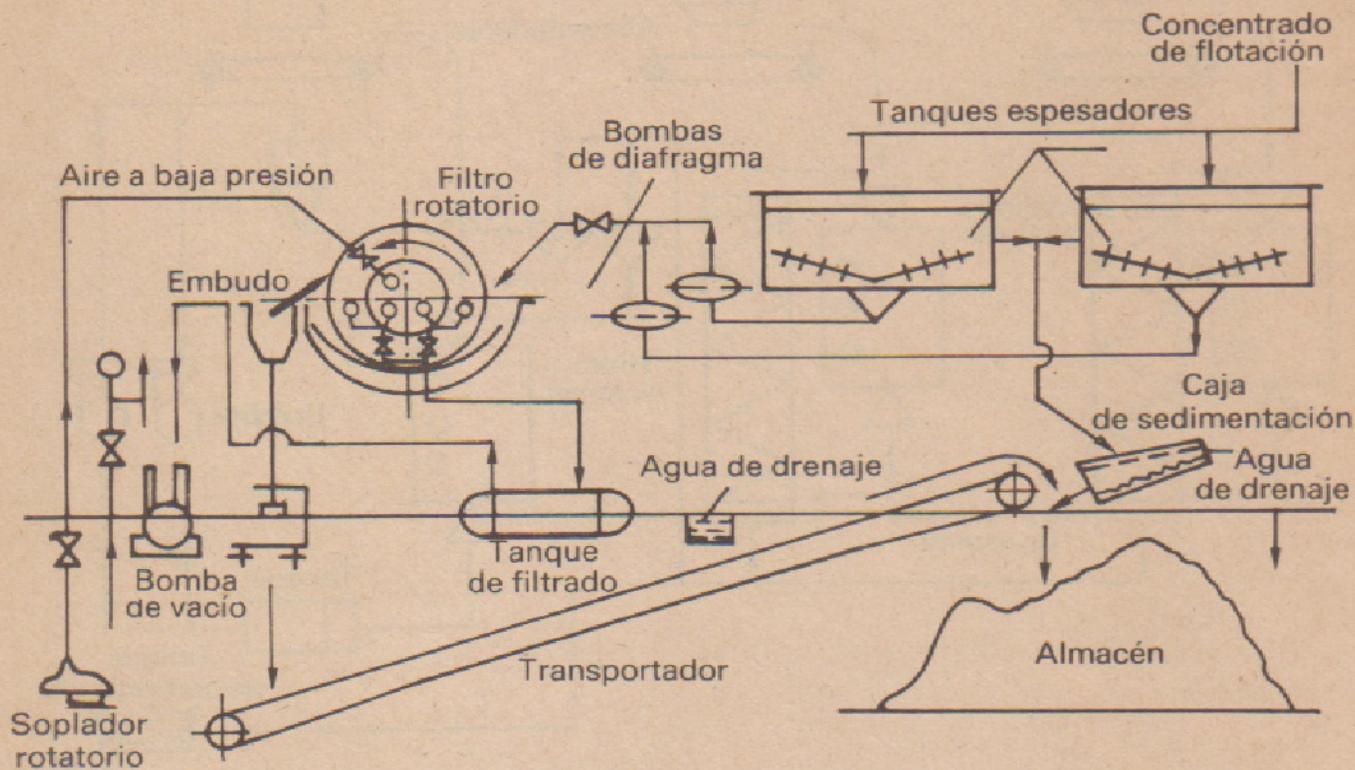


Fig. 7.23 Esquema de filtrado y almacenamiento de la planta de beneficio de minerales de cobre, en Santiago de Cuba ("El Cobre")

En el transportador de bandas que conduce a la zaranda, se ha situado un electroimán para retener los pedazos de metal que eventualmente contenga el material, con el objeto de proteger el triturador de conos.

Desde las tolvas de molienda y clasificación, el material, a través de transportadores de banda, es alimentado a los molinos de bolas, tres en total. Dos de estos molinos se encuentran en un circuito cerrado con clasificadores de espiral; de tal forma que el material de menor tamaño se envía a la sección de flotación, y el de mayor tamaño regresa al molino para continuar su reducción.

El tercer molino utiliza para la clasificación hidrociclones, a él llega la pulpa, que toma de un tanque de presión, mediante un sistema de bombeo. El producto grueso del hidrociclón regresa al molino para continuar su reducción, mientras que el fino se une al flujo de los otros dos molinos y se conduce a la sección de flotación.

El reboso de los clasificadores y el fino de los hidrociclones pasa a un tanque concentrador, en la sección de flotación. De allí va a un tanque acondicionador y, seguidamente, a un tanque distribuidor que la separa en dos mediante un sistema de flujo en paralelo.

Uno de los flujos pasa a la primera línea de flotación, principal o básica, que cuenta con catorce celdas, y el otro, a la segunda línea principal o básica, que cuenta con doce celdas del mismo tipo. El concentrado obtenido en las líneas de flotación principal, se conduce a las celdas 2 y 8 de un banco de limpieza compuesto por ocho celdas. El material "flotado" en esta línea de depuración constituye el concentrado, y pasa a la sección de filtrado y almacenamiento. El sedimento del banco de depuración regresa al tanque acondicionador, a donde es impulsado mediante bombas de pulpa, para someterlo de nuevo al proceso.

Las colas de la línea de flotación básica, pasan a un banco de control formado por seis celdas. El material flotado en el banco se une el sedimento del banco de depuración y regresa al tanque acondicionador. El sedimento acondicionado constituye las colas y se bombea al depósito de estas. El concentrado obtenido por flotación se traslada a tanques espesadores en la sección de filtrado y almacenamiento. El sedimento de estos se impulsa, por bombas de diafragma, hasta los filtros rotatorios donde se deshumifica, y alcanza un contenido de humedad de 8-12 %; de aquí se transporta a la nave de almacenamiento donde se apila mediante una banda transportadora. El reboso del tanque pasa a una caja de sedimentación con el objetivo de recuperar las partículas finas que se encuentran suspensas en él y de aquí se unen al material almacenado.

Producción de hierro y acero

La aleación de hierro (Fe) con carbono (C), constituye uno de los materiales de mayor importancia en la industria moderna. Cuando el contenido de carbono es mayor del 2 % se le denomina fundición, hierro fundido o simplemente hierro; y si es menor, acero.

La materia prima para la obtención de hierro y acero, está constituida por combustible y minerales. El combustible puede ser sólido, líquido o gaseoso. Entre los combustibles sólidos el más usado es el coque, aunque se utilizan también diferentes tipos de carbón de piedra o carbón vegetal. Como combustible líquido se utilizan las fracciones pesadas de la destilación del petróleo, principalmente el mazut.

Como combustibles gaseosos se emplea el gas obtenido en el proceso de producción del coque en el alto horno, o sea, gas quemado o gas natural.

Los principales minerales utilizados en la producción de hierro y acero son: la magnetita Fe_3O_4 , la hematita Fe_2O_3 , y diferentes composiciones expresadas por la fórmula: $n \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$. También se emplean los carbonatos, por ejemplo, la siderita (FeCO_3), los sulfuros y la pirita (FeS_2), aunque estos últimos no pueden ir directamente al alto horno debido al gran contenido de azufre; sin embargo, se utilizan sus colas formadas en la producción de ácido sulfúrico.

Además del contenido y composición del hierro, en los minerales tiene gran importancia la presencia de otros componentes en la masa minera, como el silicio, la alúmina (Al_2O_3), el manganeso, el cromo, el fósforo, el arsénico, el azufre, y otros que se comportan de diferentes maneras. Por ejemplo, la presencia de silicio aumenta la escoria y disminuye la productividad del horno, la alúmina dificulta el proceso; el manganeso, el cromo y otros metales, mejoran las propiedades del acero; mientras que el azufre, el fósforo y el arsénico, incluso en pequeñas cantidades, constituyen contaminantes nocivos.

Con el objeto de obtener aceros con características especiales, suelen utilizarse minerales de manganeso y de cromo, o minerales complejos que contienen estos elementos además del hierro.

La fundición se obtiene en el alto horno. En la figura 7.20 se muestra el esquema de un alto horno con el equipamiento auxiliar necesario.

Los minerales se llevan al proceso directa o previamente preparados y beneficiados. Además del mineral y el combustible, al horno se le suministra el fundente: material que favorece la fusión del estéril y de las cenizas del combustible, formando la escoria. Cuando en la materia prima abunda el silicio, se utilizan fundentes básicos, que además, favorecen la eliminación del fósforo y el azufre, mientras que cuando en el estéril hay alúmina se utilizan fundentes ácidos. El fundente más empleado es la caliza metalúrgica.

El alto horno trabaja a contra corriente. Por la parte superior se le introducen los materiales sólidos: minerales, fundente y coque (combustible sólido). Los cuales descienden continuamente por gravedad hasta la parte inferior del horno. El calor que se desprende en la combustión se transmite de abajo hacia arriba, debido al movimiento de los gases calientes.

El alto horno tiene una carcasa externa metálica y está recubierto en su interior con ladrillos refractarios. A la parte superior se le denomina tragante (Fig. 7.24) y a través de ella se introduce la carga y se eliminan, por una tubería, los gases. A continuación está la cuba, que constituye la parte mayor del horno y termina con una forma cilíndrica, denominada vientre. Debajo está situado el etalaje. El fondo del horno se llama crisol. En la parte superior de este se encuentran las toberas, mediante las cuales se insufla aire. Algo más abajo están las bigoterías, canales para evacuar la escoria, y por último, la piquera, para la salida del hierro fundido.

En el alto horno se puede obtener la fundición gris, la blumea y diferentes aleaciones de hierro, tales como ferromanganeso, ferrosilicio, etcétera.

El hierro gris se diferencia del blanco, principalmente, en el contenido de silicio que, en el primero, alcanza hasta un 3,25-3,75 %, mientras que en el segundo se encuentra entre 0,5-1,3 %. El hierro gris es, aunque frágil, resistente y se funde con facilidad, por lo que constituye un material de construcción de maquinaria muy difundido. La fundición blanca se emplea en el proceso de producción de acero y se conoce con el nombre de arrabio.

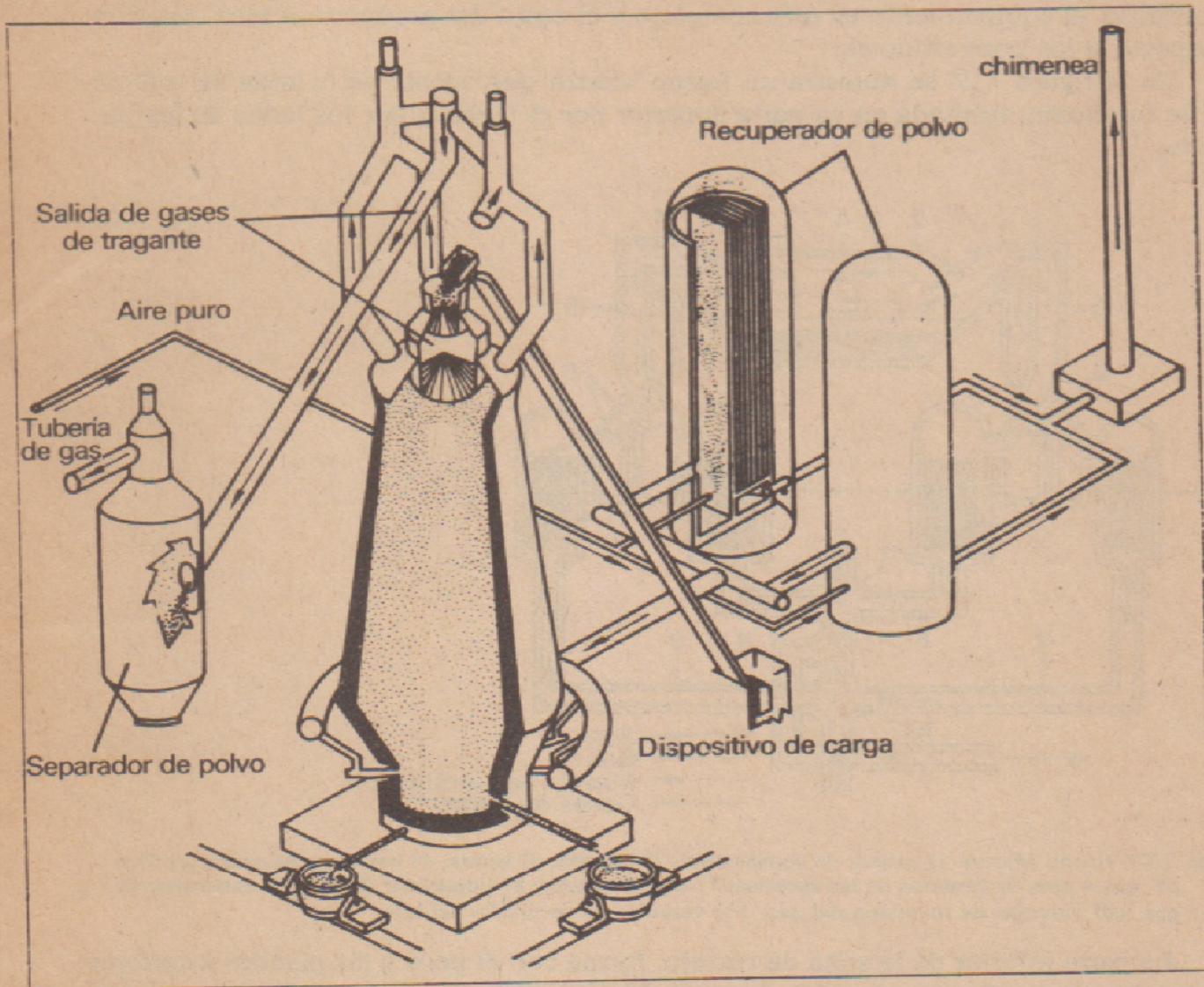


Fig. 7-24 Esquema de un alto horno

El acero se obtiene mediante la fundición del arrabio, el mineral de hierro, la chatarra o la combinación de estos materiales. Se puede obtener en convertidores, en hornos Martin, en hornos de arco eléctrico y, menos frecuentemente, en hornos de inducción y otros.

El método de obtención de acero en convertidores fue propuesto por Bessemer en 1856 y permitió la transformación del arrabio líquido, insuflándole aire en un convertidor. En la figura 7.25 se muestra el aspecto general de este último. Mediante este proceso se logra oxidar el carbono y otros componentes.

Para echar el arrabio fluido, el convertidor se gira de su posición vertical. El calor necesario para el calentamiento del acero líquido se produce a costa de las reacciones químicas de oxidación. Últimamente, para insuflar la fundición se utiliza oxígeno en lugar de aire, lo que permite aumentar la velocidad del proceso, la temperatura del metal y la producción de acero.

La obtención de aceros Martin fue propuesta por padre e hijo (del mismo apellido) en 1864. Entre las ventajas de este método se encuentra la posibilidad de utilizar grandes cantidades de chatarra, el ser menos exigente en la composición de la carga, y otras, lo que hace que sea el más utilizado. No obstante, el proceso no es

continuo, el equipamiento es más complejo y el costo del producto es más caro con respecto a los convertidores.

En la figura 7.26 se muestra un horno Martin que consta de la zona de trabajo o de fundición, limitada en su parte superior por el techo y por los lados de las paredes.

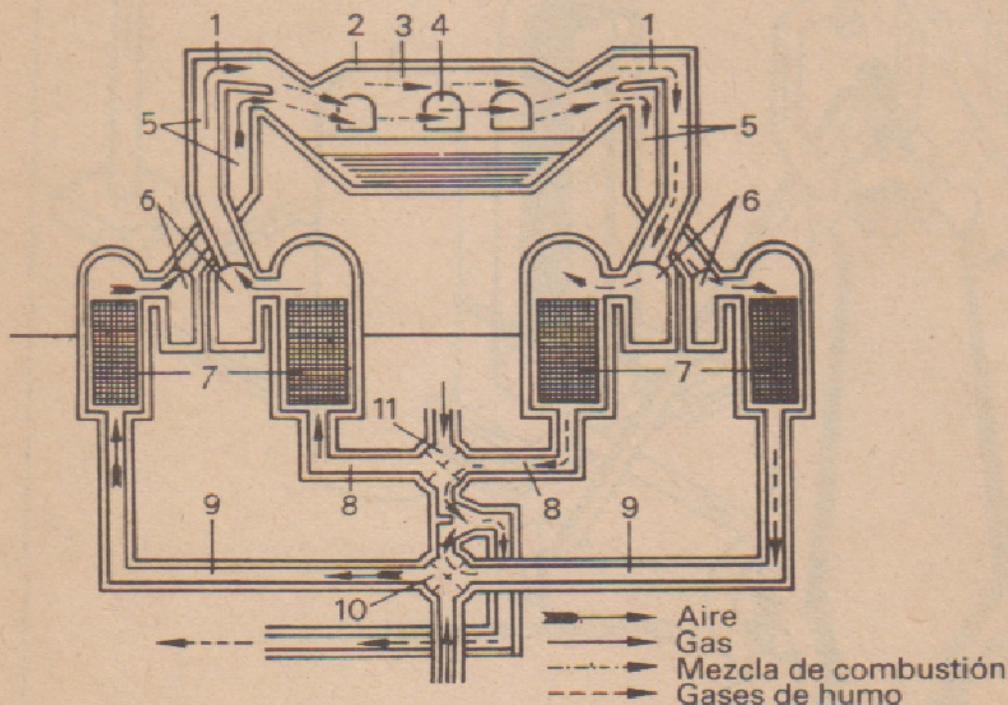


Fig. 7.25 Horno Martin: 1) cabeza de combustión; 2) bóveda; 3) solera; 4) ventanas de carga; 5) tiros de gas y aire; 6) cámaras de las escorias; 7) regeneradores; 8) conductor de aire; 9) conductor de gas; 10) válvulas de inversión del gas; 11) válvulas de inversión del aire

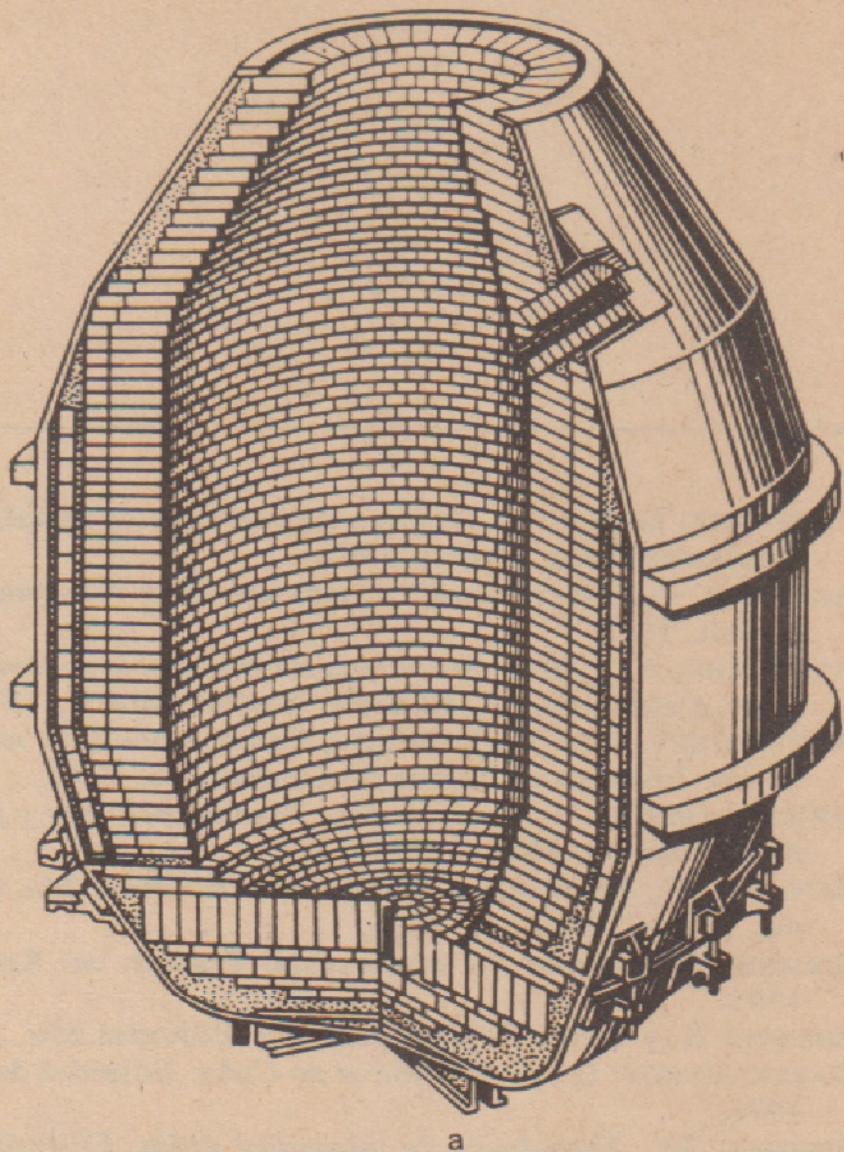
La parte inferior de la zona de trabajo, forma con el peso y las paredes interiores una cámara donde se encuentra el metal. El piso es inclinado en la dirección de un orificio que en él existe para la salida del metal. Los hornos Martin pueden ser básicos o ácidos, en función del tipo de material refractario de la cámara que contenga el metal. En la parte delantera del horno se encuentran las ventanas de carga.

Por los cabezales, derecho e izquierdo, se alimenta, por diferentes canales, el gas y el aire caliente, los cuales provocan la combustión en la zona de trabajo donde se mezclan.

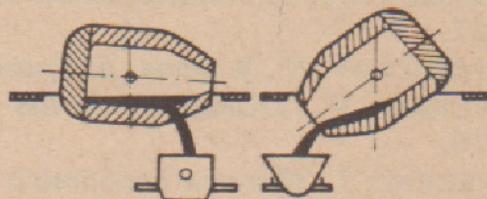
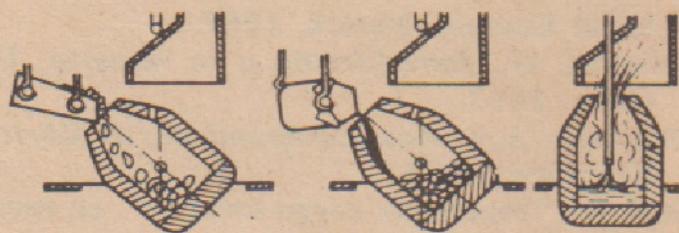
La obtención de altas temperaturas en la zona de trabajo (1 800-2 000 °C), solo es posible con la utilización de aire caliente. Este aire se calienta en los regeneradores: cámaras especiales recubiertas con ladrillos refractarios situados a ambos lados del horno y que trabajan alternativamente y utilizan los productos de la combustión para el calentamiento del gas y del aire.

En los hornos de arco eléctrico se logra fundir aceros de alta calidad, con un bajo contenido de contaminantes. En este tipo de horno (Fig. 5.18) se funden aceros instrumentados, anticorrosivos, termorresistentes, para rodamientos y otros.

Estos hornos se alimentan con corriente alterna trifásica, a través de un transformador con potencia de 40 000 kVA y más, que baja la tensión hasta 130-300 V. Se cargan con chatarra, desechos aleados, fundentes, mineral de hierro y aditivos para alear, por la parte superior en los hornos grandes, o por ventanas construidas a tal efecto, en los más pequeños.



a



b

Fig. 7.26 Convertidor: a) vista general; b) posiciones de trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

-
- AGOSHKOV, M. y otros, *Laboreo de yacimientos metálicos y de placeres*, Editorial Gosnauktejizdat, Moscú, 1962.
- AGRICOLA, G., *De re metallica*, Edición de la Academia de Ciencias de la URSS, Moscú, 1962.
- ANDRYEEV, A. y otros, *Máquinas de transporte y complejos automatizados en labores a cielo abierto*, Editorial Niedra, Moscú, 1975.
- ARCYENTYEV, A. y V., PADUKOV, *Introducción a la especialidad del Ingeniero de minas*, Instituto de Minas de Leningrado, 1979.
- ARTOBOLYESKIY, V. *La máquina. Pasado, presente y futuro*, Edición del Komsomol Leninista, Moscú, 1959.
- BANATOV, P., *Reparación de máquinas mineras*, 2da. ed., Editorial Gosnauktejizdat, Moscú, 1962.
- BIRMHN, A., *Talento del economista*, Edición del Komsomol Leninista, Moscú, 1968.
- BORISOV, S. y otros, *Labores mineras*, Editorial Mir, Moscú, 1976.
- DARUCYENKOV, D., *La República de Cuba*, Editorial de Literatura Política, Moscú, 1976.
- FISHMAN, M., *Tecnología de minerales útiles*, Editorial Gosnauktejizdat, Moscú, 1955.
- FYEDOROV, D., *Fundamentos del suministro eléctrico de empresas industriales*, Editorial Energía, Moscú, 1967.
- GOLOVIN, G., *Introducción a la minería*, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, 1963.
- JUDYAKOV, J. y otros, *Equipamiento de fábricas metalúrgicas*, Instituto Politécnico Sviardlov, 1976.
- KRIK, R., "Ingeniero, cargo creador", en revista *Ciencia y Técnica*, No. 7, Moscú, 1971.
- KOWFEDERATOV, I., *Fundamentos de energética*, Editorial Prosvechenie, Moscú, 1967.
- KUDRYASHCHOV, V. y otros, *Máquinas mineras*, Editorial Niedra, Moscú, 1966.
- KUZNYETSOV, V., *Transporte en las empresas mineras*, Editorial Niedra, Moscú, 1976.
- LE RIVEREND, J., *Historia económica de Cuba*, Edición Revolucionaria, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1974.
- MARININ, B. y otros, *El mecánico de la fábrica de beneficio*, Editorial Niedra, Moscú, 1974.
- MARX, C. y F. ENGELS, *Obras escogidas*. t. II, Editora Política, La Habana.

- MELNIKOV, I. y N. CHESNOKOV, *Técnica de seguridad en las labores a cielo abierto*, Editorial Niedra, Moscú, 1969.
- PÉREZ BARRETO, J.R., "Pronóstico científico-técnico del desarrollo de la minería en Cuba", en *Memorias del VIII Congreso Mundial de Minería*, Lima, 1974.
- PODERÍN, R., *Máquinas mineras y complejos automatizados para las labores a cielo abierto*, Editorial Niedra, Moscú, 1979.
- M. SAUYENKO, S. y otros, *Protección del trabajo y prevención de accidentes*, Editorial Niedra, Moscú, 1975.
- SPIVAKOVSKIY, A. y M. POTAPOV, *Máquinas de transporte y complejo en labores mineras a cielo abierto*, Editorial Niedra, Moscú, 1974.
- UJIM, V., *En el mundo de la electricidad*, Editorial de libros Gorki, 1959.
- VELKIN, J. y V. MESENTSEY, *Electricidad, energía atómica y petróleo*, Editora Nacional de Cuba, La Habana, 1962.
- VYENIKOV, V. y E. PUTYATIN, *Introducción a la especialidad electroenergética*, Editorial Visshaya-Shkola, Moscú, 1979.
- VOLSKIY, A. y E. SERGUEIEVSKAYA, *Teoría de los procesos metalúrgicos*, Editorial Metalurgia, Moscú, 1968.
- Economía y desarrollo*, Universidad de La Habana, No. 36, 1976.
- Geología de los minerales útiles en Cuba*, Editorial Nauka (Ciencias), Moscú, 1973.
- Metalurgia extractiva de minerales oxidados de níquel*, Instituto Cubano del Libro, La Habana, 1976.
- Plataforma Programática del Partido Comunista de Cuba*, editado por el DOR del Comité Central del Partido Comunista de Cuba, La Habana, 1976.
- Reglamento del trabajo docente y metodológico*, Resolución 220/79, Ministerio de Educación Superior.

*Impreso por el Combinado Poligráfico de Guantánamo
"Juan Marinello" en el mes de Abril de 1986
"Año del XXX Aniversario del Desembarco del Granma"*

