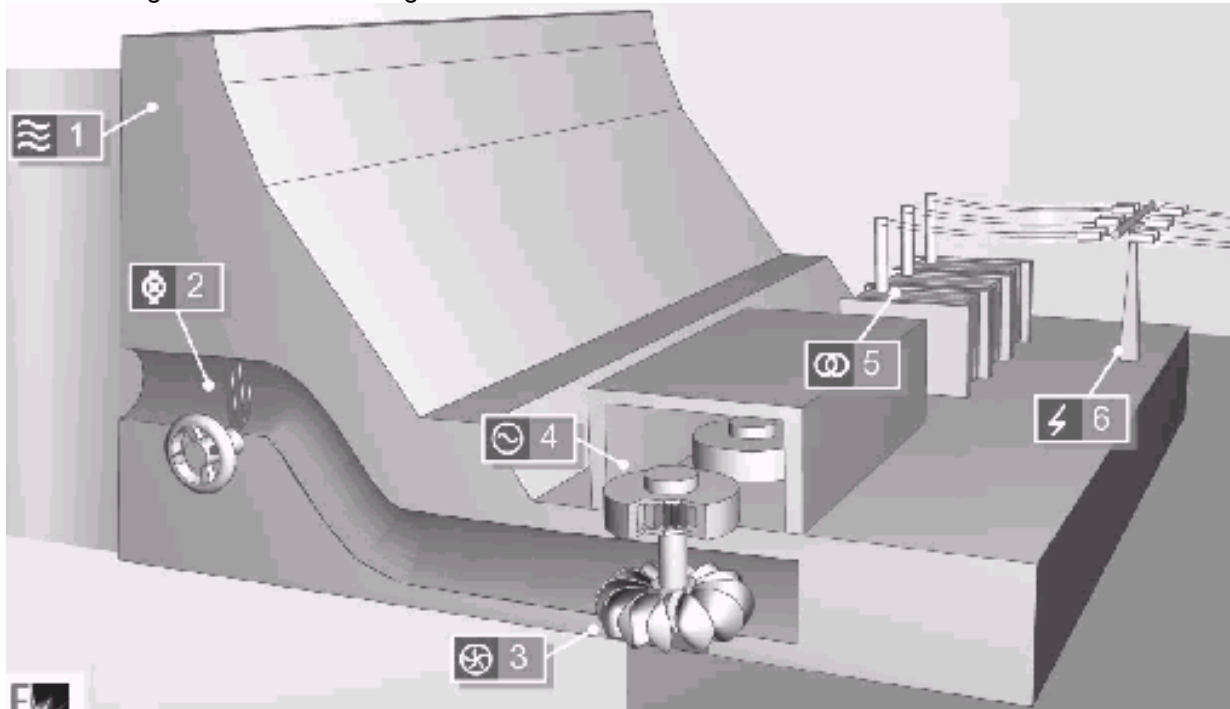


CENTRALES HIDROELECTRICAS

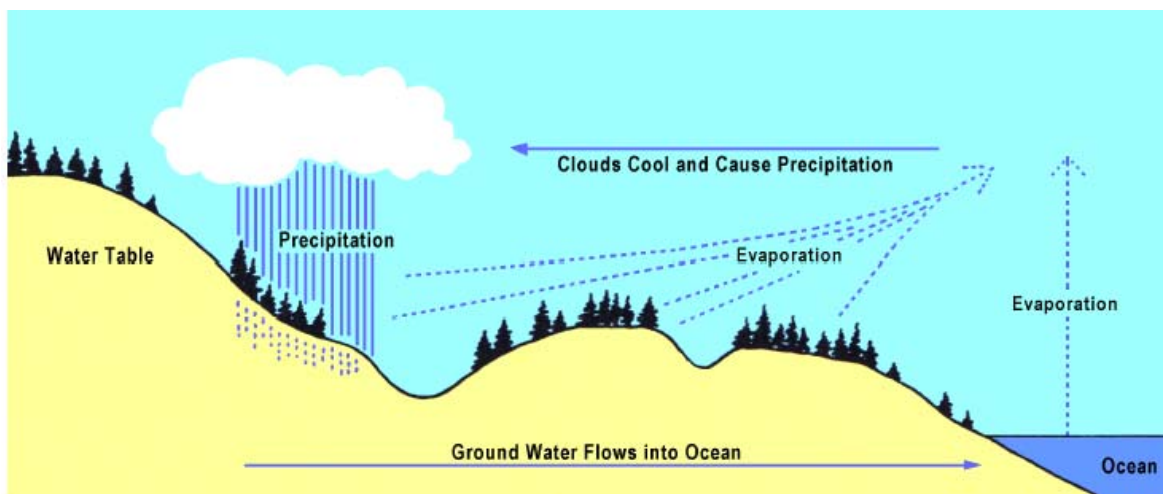
1.1 ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

El agua proveniente de la evaporación de los océanos, además de servir para otros fines, tales como riego, limpieza, enfriamiento, consumo etc. , que lo convierten en un líquido vital para los seres humanos, se utiliza también para accionar máquinas giratorias llamadas turbinas, que a su vez mueven generadores que transforman la energía mecánica en energía eléctrica.

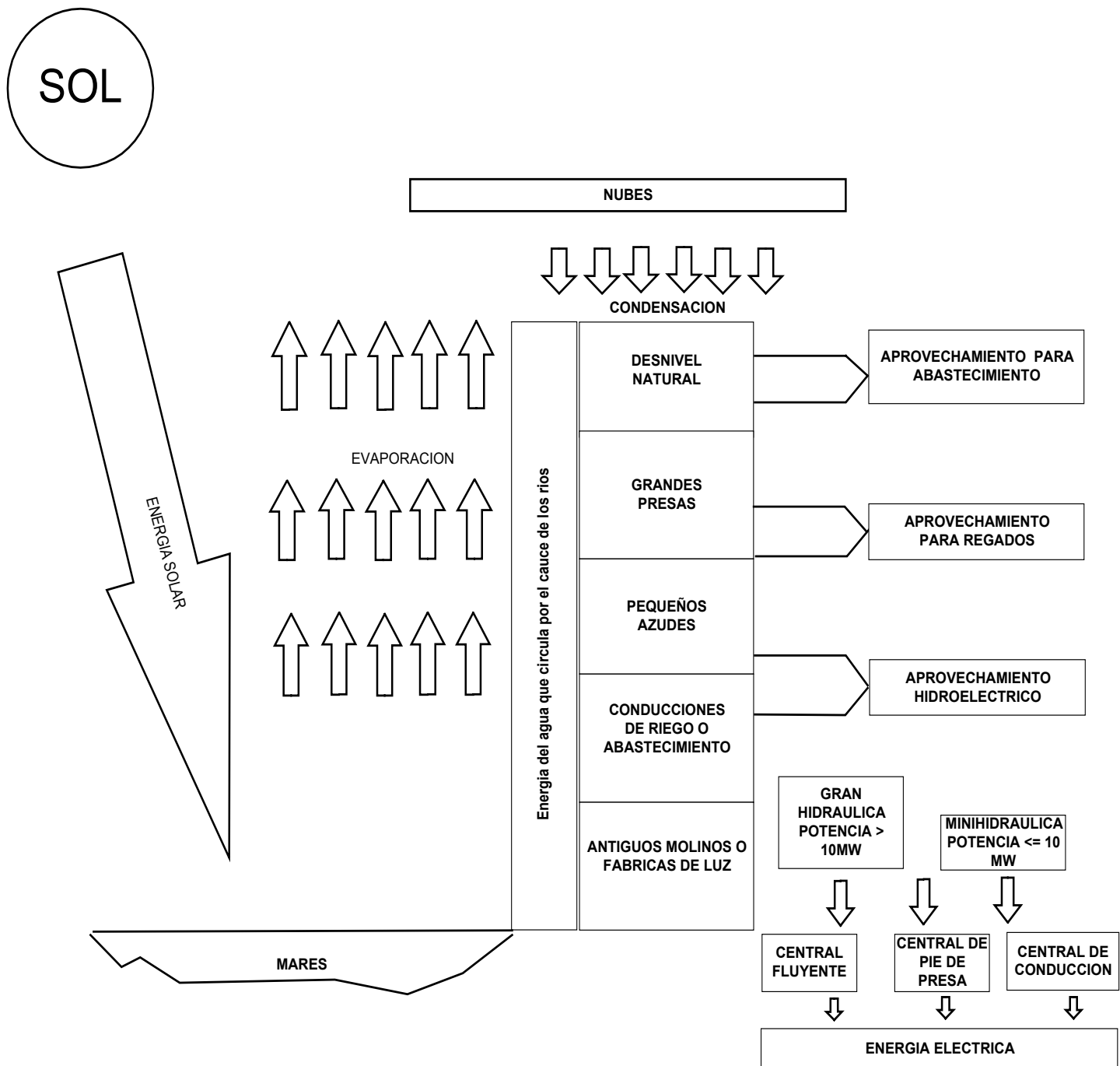


Las plantas hidroeléctricas aprovechan los caudales y caídas de agua. Todo comienza cuando el sol calienta las masas de agua, de su evaporación se forman nubes y eventualmente lluvia que fluye a través de caudalosos ríos. El agua en estos ríos tiene una enorme cantidad de energía mecánica potencial, y para aprovechar esta energía se seleccionan cauces de ríos que tienen algunas características importantes que incluyen amplio caudal de agua y diferencias importantes de altura en corta distancia.

El ciclo hidrológico continúa con la formación de arroyuelos y ríos que descienden desde las montañas a las llanuras y mar, completándose de esta manera el ciclo termodinámico (caldera: sol; condensador: atmósfera). En este recorrido del agua de los ríos es posible aprovechar parte de la energía que posee y obtener trabajo útil, que de otra manera se perdería en rozamientos. En efecto en un punto determinado del río el agua posee energía cinética y energía potencial; la primera es pequeña comparada con la segunda, ya que raramente excede los 20 J/kg, mientras que la energía potencial puede superar los 3000 J/kg.



CICLO HIDROLOGICO DEL AGUA



CICLO DE LA ENERGIA HIDRAULICA

En los cursos naturales de agua, la energía hidráulica se disipa en remolinos, erosión de las riberas y cauces, choques y arranque de material de las rocas sueltas y en los ruidos del torrente etc. Para extraer esta energía y convertirla en energía mecánica utilizable, es preciso eliminar las pérdidas naturales creando un cauce artificial donde el agua fluya con pérdidas mínimas y finalmente, convertir la energía potencial disponible en energía mecánica por medio de máquinas apropiadas como turbinas o ruedas hidráulicas.

En muchos aprovechamientos es posible reducir a un mínimo estas pérdidas hidráulicas, y la altura de salto así recuperada aprovecharse en la central hidroeléctrica. Para ello existen fundamentalmente dos métodos:

Primer método: desviación de la corriente

Segundo método: interceptación de la corriente con un dique o presa

El primer método consiste en derivar el caudal del río desde el punto A a lo largo de la ladera siguiendo un recorrido con una ligera pendiente respecto de las líneas de nivel hasta el punto B en donde arrancan unas tuberías que llevan el agua hasta la central situada en el punto C. El recorrido del agua en este caso va desde el punto A a través de la superficie del lago hasta la toma de agua situada cerca de la presa en el punto B', y de aquí a las turbinas que se encuentran en la casa de máquinas o central (punto C).

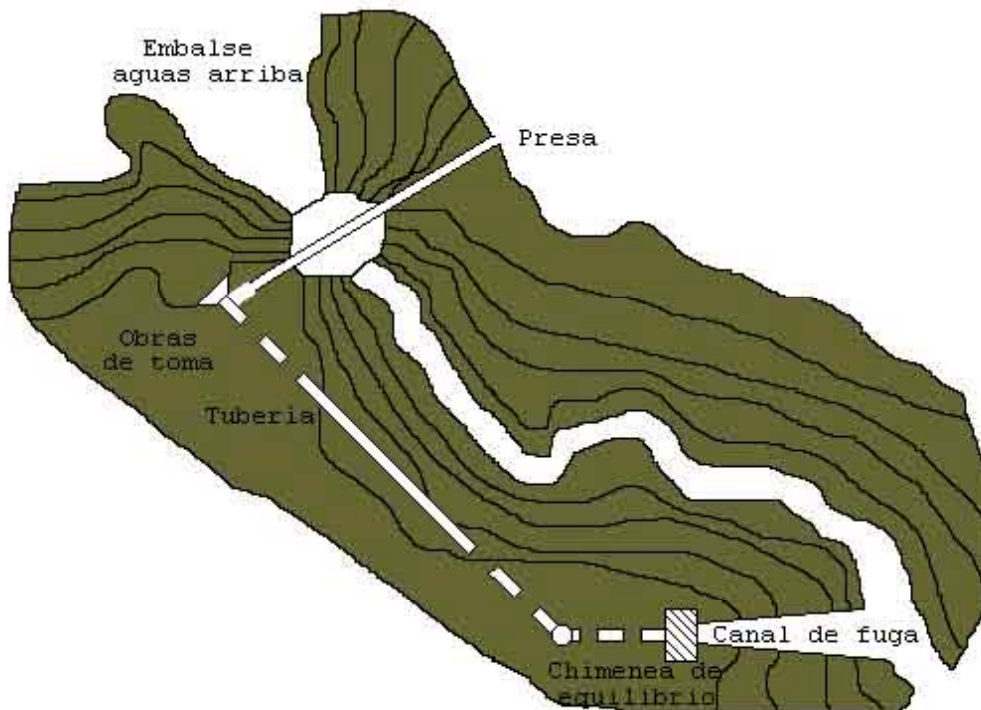
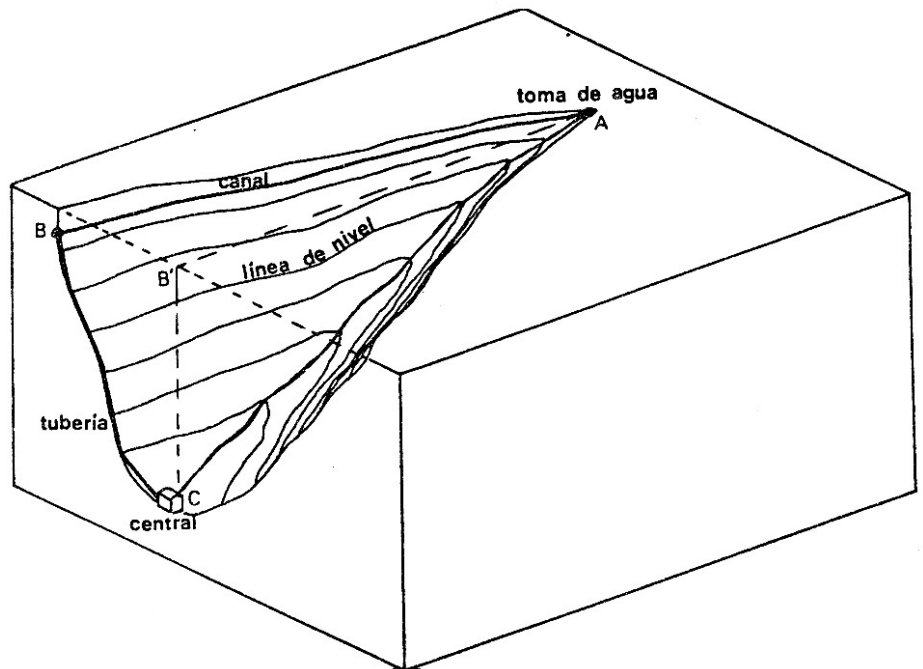


FIG. ESQUEMAS DE UN APROVECHAMIENTO POR DESVIACIÓN DE LA CORRIENTE

El segundo método de aprovechamiento consiste en interceptar la corriente del río mediante una presa, con lo que se eleva el nivel del río, disminuyen la velocidad media de la corriente y las pérdidas. La construcción de la presa se hace aprovechando las zonas angostas del cauce, para cerrar el valle, logrando de esta forma obtener un reservorio, embalse o lago artificial.

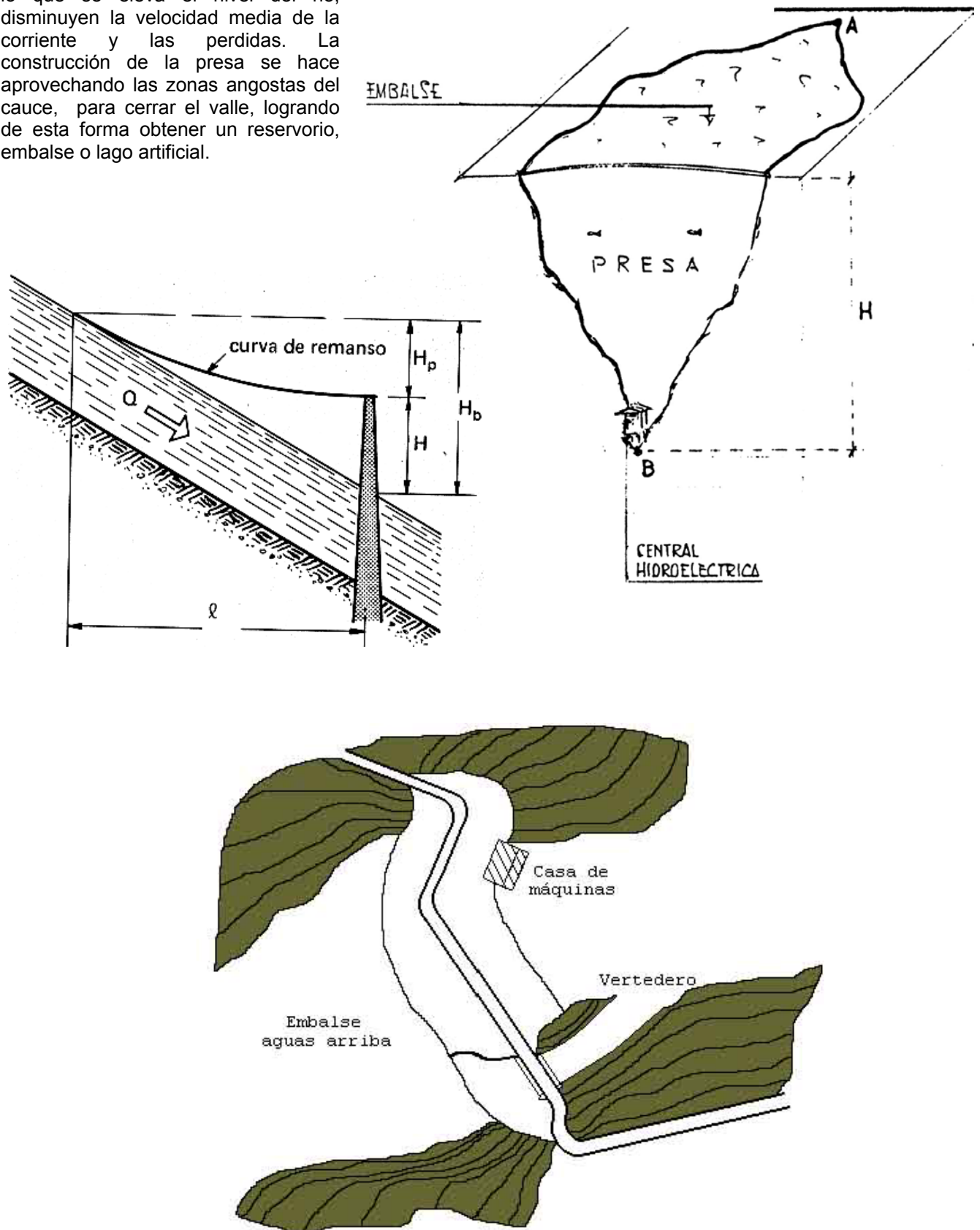
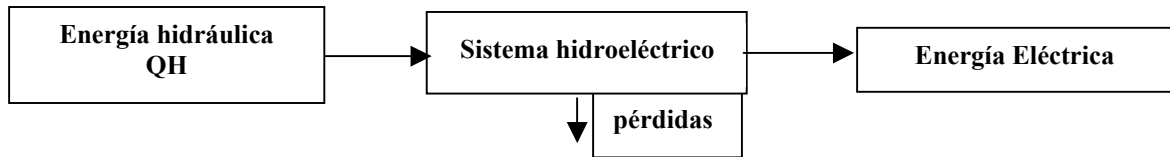


FIG. ESQUEMAS DE APROVECHAMIENTO POR INTERCEPTACION DE LA CORRIENTE CON UN DIQUE O PRESA

1.2 SISTEMAS HIDROELÉCTRICOS

Un sistema hidroeléctrico transforma la energía hidráulica de una masa de agua situada a cierta altura, en energía eléctrica.



1.2.1 Magnitudes hidráulicas

La potencia eléctrica que se obtiene en una central es directamente proporcional a la altura del salto de agua y al caudal instalado. Estas magnitudes son fundamentales a la hora de plantear la instalación de una planta de producción hidroeléctrica por lo que es importante definir algunos términos:

- Cota. Valor de la altura a la que se encuentra una superficie o punto respecto el nivel del mar
- Salto de agua. Paso brusco o caída de masas de agua desde un nivel, más o menos constante, a otro inmediatamente inferior. Numéricamente se define como la diferencia de cota (altura del salto)
- Caudal. Cantidad de líquido que circula a través de cada una de las secciones de conducción abierta o cerrada (m^3/s)

La altura del salto es la distancia vertical de desplazamiento del agua en el aprovechamiento hidroeléctrico. Se han de tener en cuenta 3 definiciones:

-salto bruto, o distancia comprendida entre el nivel máximo aguas arriba del salto y el nivel normal del río donde se descarga el caudal turbinado

-salto útil, o desnivel comprendido entre la superficie libre del agua en el punto de carga y el nivel de desagüe de la turbina;

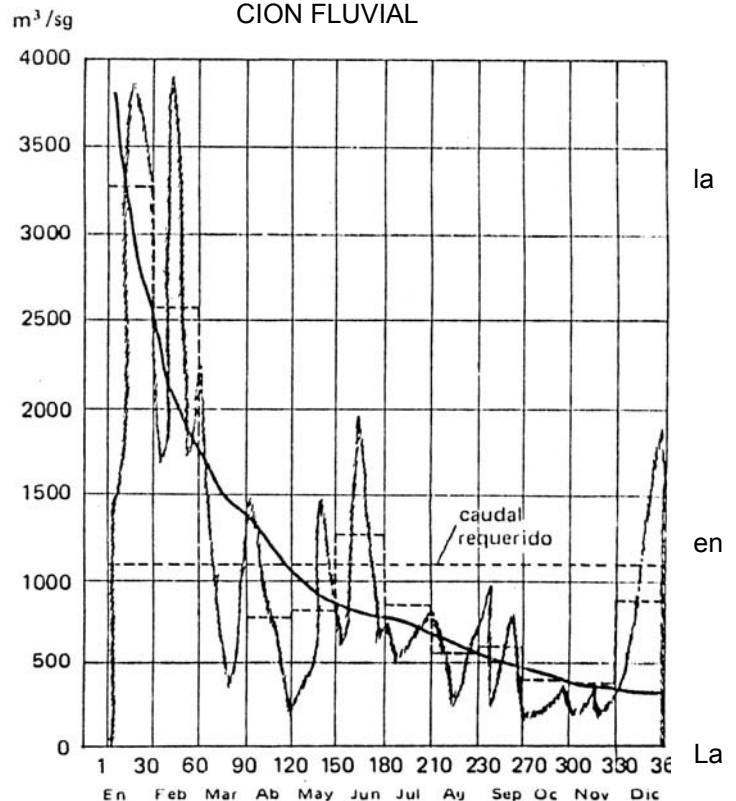
-y salto neto, o altura del salto que impulsa la turbina y que es igual al salto útil menos las pérdidas de carga producidas a lo largo de la conducción forzada, si existiese.

Se denomina caudal instalado o turbinado de una central al caudal total que absorberán todas las turbinas instaladas en su funcionamiento normal (suma de los caudales nominales de todas las turbinas) este caudal no puede ser ni el caudal máximo registrado en el lugar, ni el caudal mínimo. En el primer caso el rendimiento de central sería bajo al funcionar las turbinas durante mucho tiempo lejos del régimen nominal, que generalmente es el de máximo rendimiento; siendo además mayor el costo de una central con equipo sobre dimensionado; en el segundo caso quedaría sin utilizar durante mucho tiempo gran parte del caudal disponible.

La selección del caudal instalado en cada nueva instalación se hace por medio de un estudio técnico-económico, basado en las variaciones diarias, mensuales y anuales del caudal del río el lugar de la instalación que se registran en las curvas hidrógrafas; así como en el precio de maquinaria e instalaciones, demanda y precio de venta de la energía, etc.

La hidrógrafa es la curva que tiene por abscisas los días del año y como ordenada los caudales. hidrógrafa que se muestra se ha trazado con los caudales medidos en un lugar de un río, día tras día de un año determinado

FIG. HIDROGRAFA DE UNA ESTACION FLUVIAL



1.2.2 Funcionamiento

La energía eléctrica no se puede almacenar, debe ser consumida en el mismo instante en el que se produce. Esto significa que se debe conocer en todo momento la cuantía en la que va a ser requerida, o al menos tener una previsión lo más aproximada posible, para estar en condiciones de generarla. La evolución de la demanda de energía eléctrica en función del tiempo se denomina curva de demanda, presentando máximos y mínimos que corresponden a las horas de mayor y menor consumo, respectivamente, denominados horas punta y horas valle. La forma de la curva se puede generalizar para los distintos días del año, aunque la cifra asociada a los puntos que representan la misma, lógicamente, varía de un día a otro. Independientemente del mes y del día, siempre hay que ajustarse a la demanda y producir, con los diferentes tipos de centrales que se disponga, la energía solicitada en cada instante.

En este ajuste continuo de la producción a la demanda es necesario disponer de centrales cuya potencia pueda ser fácilmente regulable, con una gran flexibilidad de operación. Las centrales hidroeléctricas presentan estas características jugando un papel muy importante en el conjunto del parque de centrales de generación de energía eléctrica de cualquier país. Son instalaciones con una alta velocidad de respuesta ante los cambios de demanda, lo que quiere decir que en unos minutos (2 - 3 en los grupos más modernos) pasan de estar paradas a dar la potencia nominal. Esto no ocurre con las centrales de combustible fósil o nuclear, que necesitan desde 6 - 8 horas hasta más de 18, dependiendo de las condiciones en las que se produzca el arranque de las mismas. Por todo esto, las centrales hidroeléctricas se convierten en instalaciones más adecuadas para cubrir las puntas de demanda, así como para cubrir las bajas imprevistas de otras centrales.

La función de una central hidroeléctrica es utilizar la energía potencial del agua almacenada y convertirla, primero en energía mecánica y luego en eléctrica.

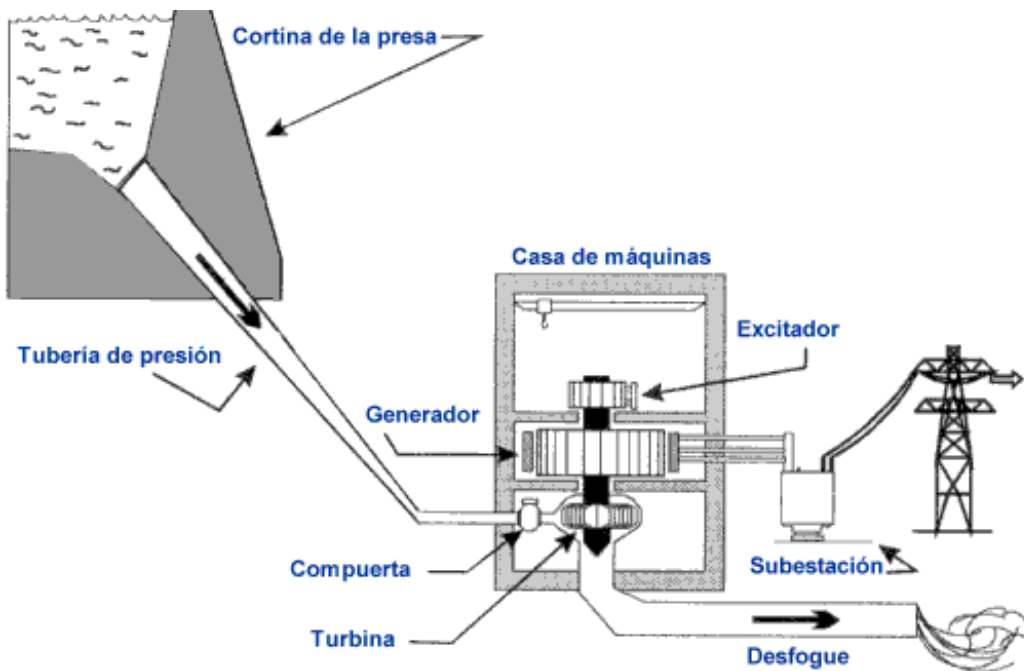
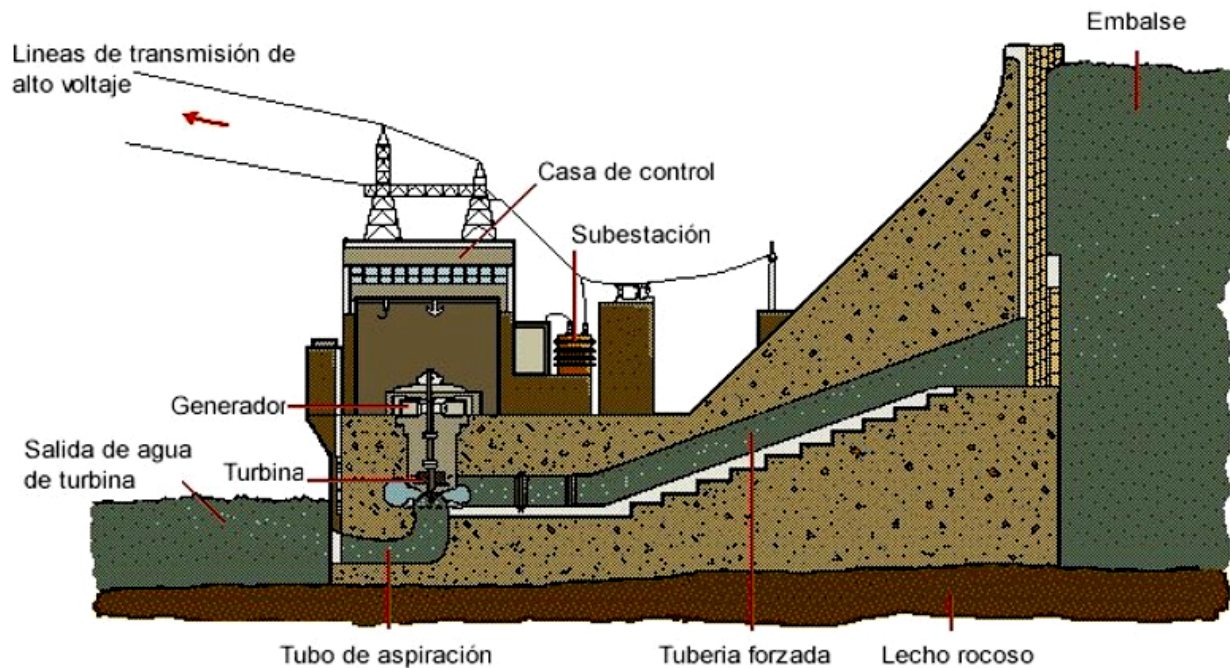


Figura 1. Esquema de una central hidroeléctrica

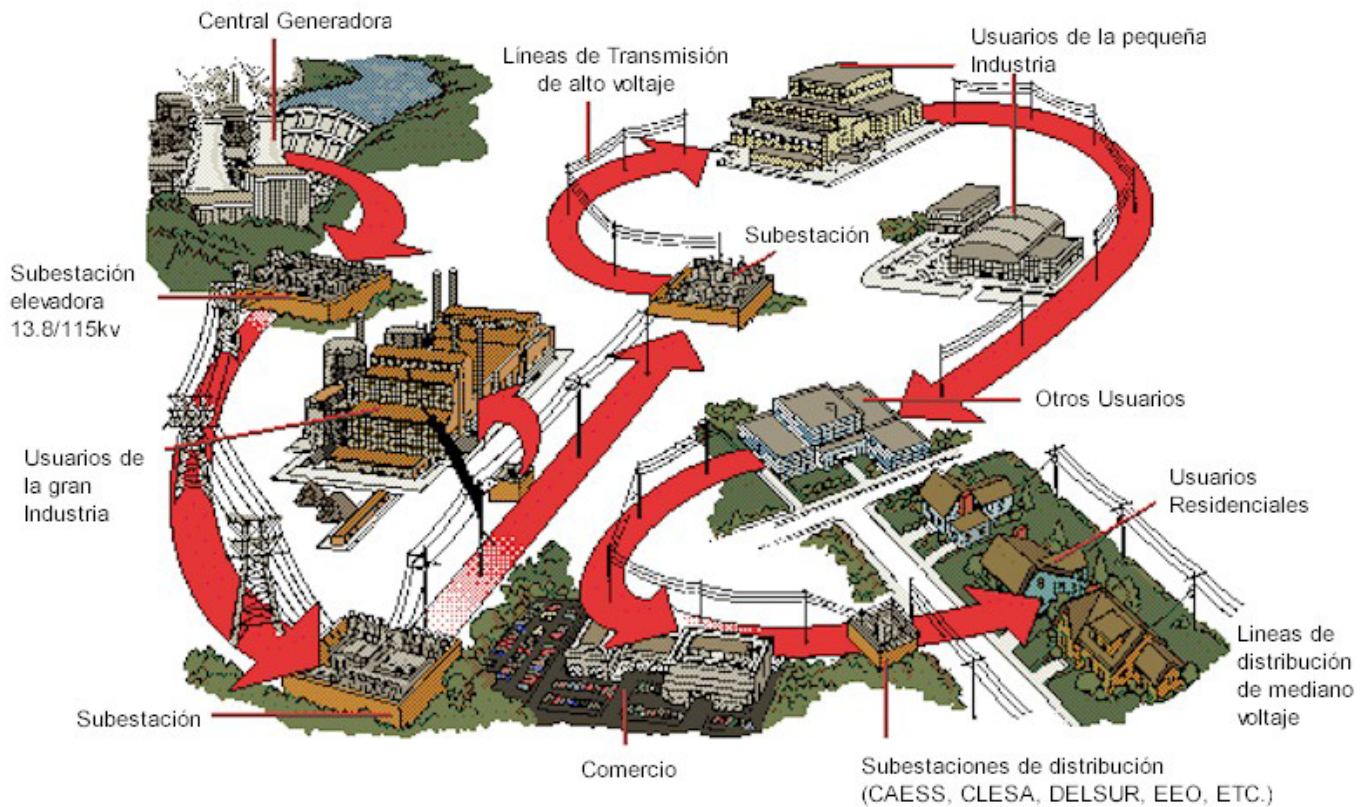
El agua de los ríos es retenida por medio de presas y luego es conducida por túneles y tuberías de alta presión hacia terrenos más bajos, al llegar a la planta generadora, el agua lleva ya una enorme cantidad de energía, la que se aprovecha para hacer girar turbinas que accionan el alternador y produce la corriente eléctrica.

Dependiendo de las condiciones se utilizan distintos tipos de turbinas. Si la caída de agua es importante se utilizan turbinas Pelton. Si las caídas son medianas turbinas Francis y si son pequeñas turbinas Kaplan. Las turbinas a su vez hacen girar un generador que produce la electricidad, ésta pasa a los transformadores y luego es transportada a los sitios de consumo a través de las líneas de transmisión.

CORTE TRANSVERSAL DE UNA PLANTA GENERADORA HIDROELECTRICA



GENERACION, TRANSMISION Y DISTRIBUCION DE ENERGIA ELECTRICA



Un sistema hidroeléctrico debe tener la máxima eficiencia, para lo cual es necesario tomar en cuenta:

- a) Que la carga H que representa la altura sobre el nivel del mar sea utilizada en uno o varios pasos, con plantas escalonadas. En la realidad actual, cuando tan costosa es la energía, no se puede permitir que un río fluya libremente al mar sin haber estudiado la utilización al máximo de su energía potencial..
- b) Que las eficiencias de las obras de toma y de conducción sea máxima
- c) Que la eficiencia de la conversión de la turbina que convierte la energía hidráulica en mecánica sea óptima
- d) Que la eficiencia del generador eléctrico que transforma la energía mecánica en eléctrica también lo sea.
- e) Finalmente, la eficiencia de la transmisión eléctrica desde el punto de generación hasta los puntos de consumo, debe ser optimizada.

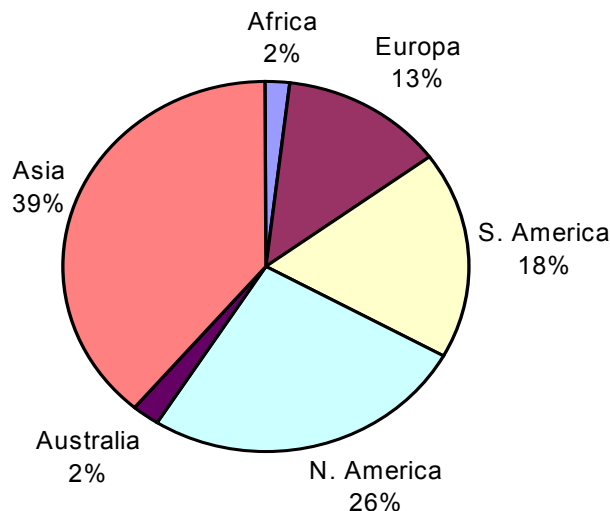
1.2.3 generación hidroeléctrica

La primera central hidroeléctrica se construyó en 1880 en Northumberland, Gran Bretaña. En el año 1882, un mes después de entrar en funcionamiento la Central de Pearl Street, en Nueva Cork, primera central termica dirigida por Edison, entraba en funcionamiento tambien la central hidroelectrica en el estado de Wisconsin. El renacimiento de la energía hidráulica se produjo por el desarrollo del generador eléctrico, seguido del perfeccionamiento de la turbina hidráulica y debido al aumento de la demanda de electricidad a principios del siglo XX. En 1920 las centrales hidroeléctricas generaban ya una parte importante de la producción total de electricidad.

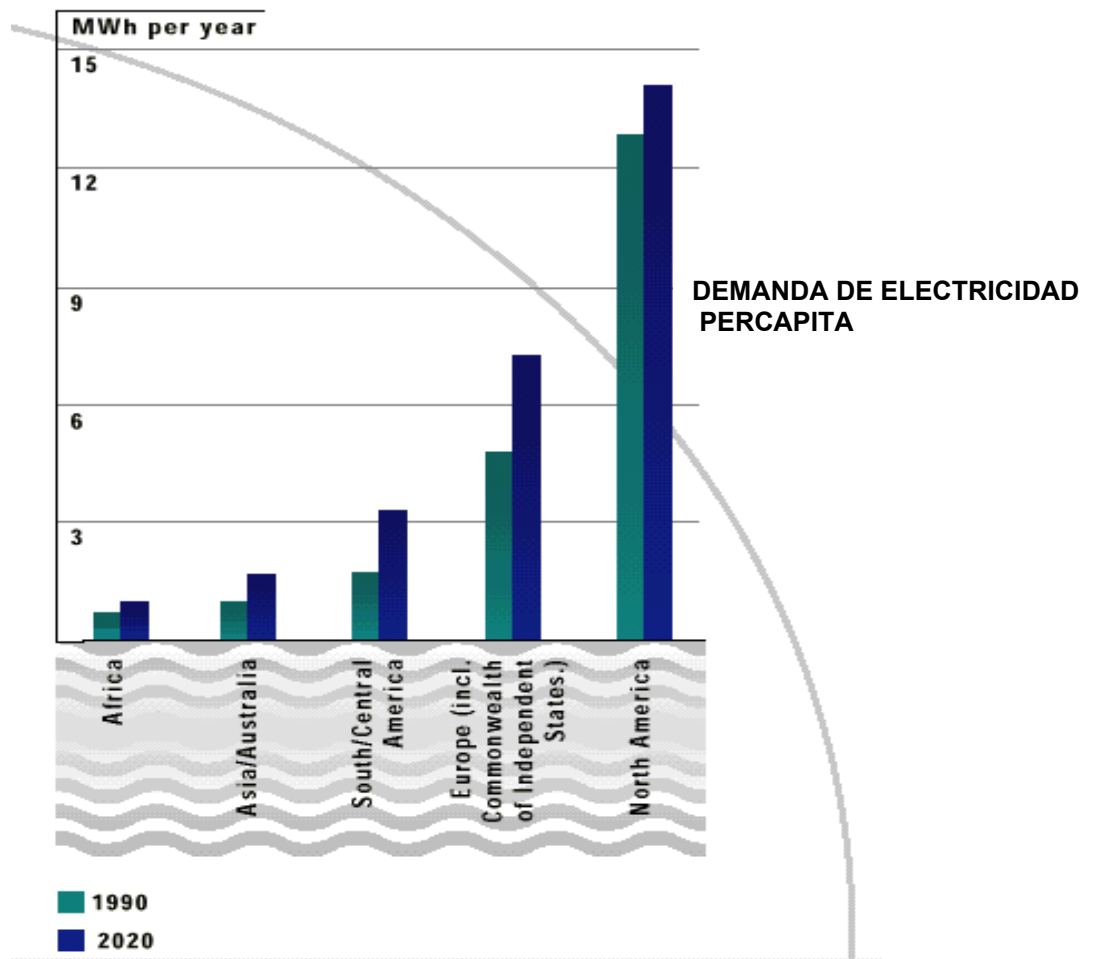
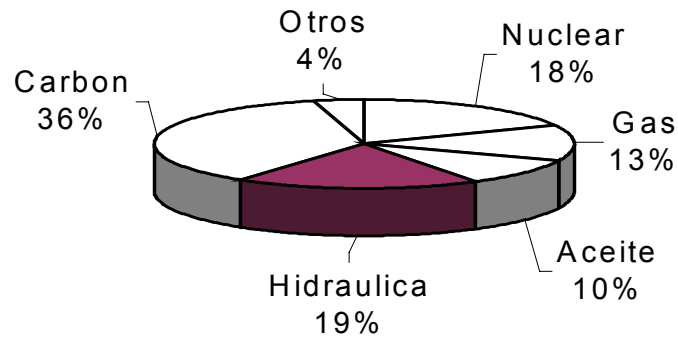
La tecnología de las principales instalaciones se ha mantenido igual durante el siglo XX. A principios de la década de los noventa, las primeras potencias productoras de hidroelectricidad eran Canadá y Estados Unidos. Canadá obtiene un 60% de su electricidad de centrales hidráulicas. En todo el mundo, la hidroelectricidad representa aproximadamente la cuarta parte de la producción total de electricidad, y su importancia sigue en aumento. Los países en los que constituye fuente de electricidad más importante son Noruega (99%), Zaire (97%) y Brasil (96%). La central de Itaipú, en el río Paraná, está situada entre Brasil y Paraguay; se inauguró en 1982 y tiene la mayor capacidad generadora del mundo.

En las graficas que se presentan se puede observar la importancia de los recursos hidráulicos en la generación eléctrica

Porcentaje de electricidad generada con recursos hidraulicos



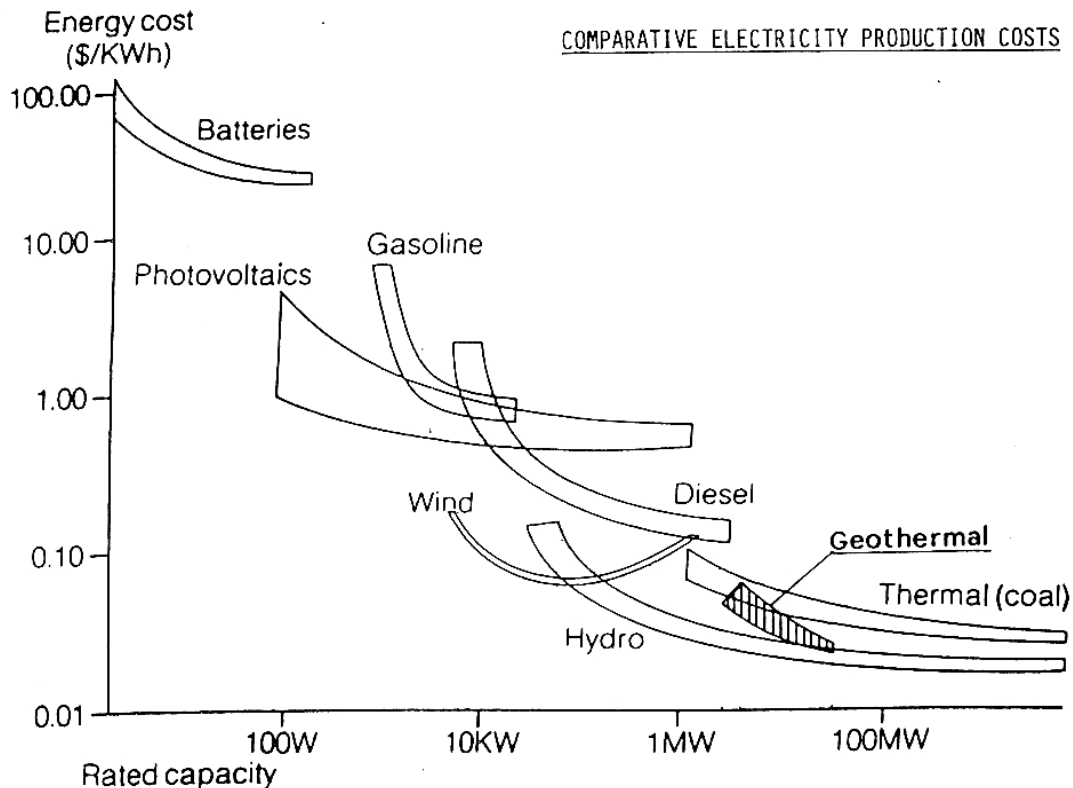
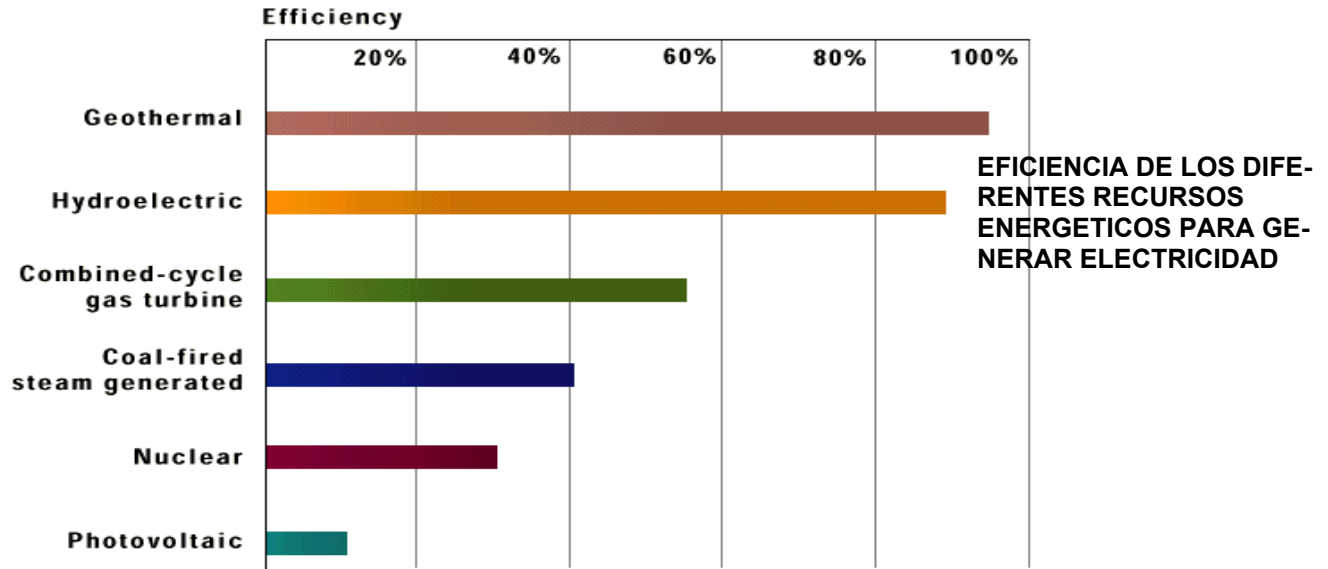
RECURSOS UTILIZADOS PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA



Las ventajas de las centrales hidroeléctricas son evidentes:

1. No requieren combustible, sino que usan una forma renovable de energía, constantemente repuesta por la naturaleza de manera gratuita.
2. Es limpia, pues no contamina ni el aire ni el agua. Se puede producir trabajo a temperatura ambiente

3. A menudo puede combinarse con otros beneficios, como riego, protección contra las inundaciones, suministro de agua, caminos, navegación y aún ornamentación del terreno y turismo
4. Los costos de mantenimiento y explotación son bajos.
5. Las obras de Ingeniería necesarias para aprovechar la energía hidráulica tienen una duración considerable
6. La turbina hidráulica es una máquina sencilla, eficiente y segura, que puede ponerse en marcha y detenerse con rapidez y requiere poca vigilancia siendo sus costes de mantenimiento, por lo general, reducidos



B. van der Toorn "Renewable Energy - A Global View" Shell paper, 1987 (modified)

Contra estas ventajas deben señalarse ciertas desventajas:

1. Los costos de capital por kilovatio instalado son con frecuencia muy altos.
2. El emplazamiento, determinado por características naturales, puede estar lejos del centro o centros de consumo y exigir la construcción de un sistema de transmisión de electricidad, lo que significa un aumento de la inversión y en los costos de mantenimiento y pérdida de energía.
3. La construcción lleva, por lo común, largo tiempo en comparación con la de las centrales termoeléctricas.
4. La disponibilidad de energía puede fluctuar de estación en estación y de año en año
5. La inundación del terreno tras la presa para formar el deposito desplaza a pobladores y destruye áreas extensas de terrenos agrícolas, hábitats de vida silvestre y espacios naturales.
6. La evaporación aumenta la salinidad del agua rebalsada, lo que disminuye su utilidad para el riego.
7. Los embalses se llenan de cieno y pierden su utilidad entre 40 y 200 años
8. Los embalses interrumpen la migración y desove de peces.
9. Los embalses privan a las tierras de cultivo y estuarios de los nutrientes vitales originados del cieno que se deposita en las crecidas anuales.

1.2.4 Clasificación de las centrales hidroeléctricas

1-Clasificación según el tipo de embalse.

Las centrales hidroeléctricas tienen el inconveniente de la fluctuación del caudal del río, con lo cual varia la potencia disponible. La demanda de la energía fluctúa también; pero sus fluctuaciones no coinciden con las del caudal; la fluctuación de la demanda es prácticamente debil en los diversos periodos del año, pero es muy grande en las diferentes horas del día; mientras que las variaciones de caudal suele tener un comportamiento opuesto, es decir, grande en diferentes periodos del año, y muy pequeña en las diferentes horas del mismo día. La regulación de estas variaciones es el objeto del embalse.

a)Centrales de agua fluyente o centrales sin embalse:

Estas centrales se construyen en los sitios en donde la energía hidráulica disponible se puede utilizar directamente para accionar las turbina y en donde, de no existir la central, esta energía se desperdiciaría. En ellas el agua no turbinada se derrama por el aliviadero de la central. Se subclasifican en centrales con reserva (diaria o hebdomadal) o sin reserva. La pequeña acumulación existente en las centrales con reserva no merece el nombre de embalse. La mayor parte de las centrales pertenecen a esta categoría: existiendo gran numero de centrales de agua fluyente con reserva hebdomadal.

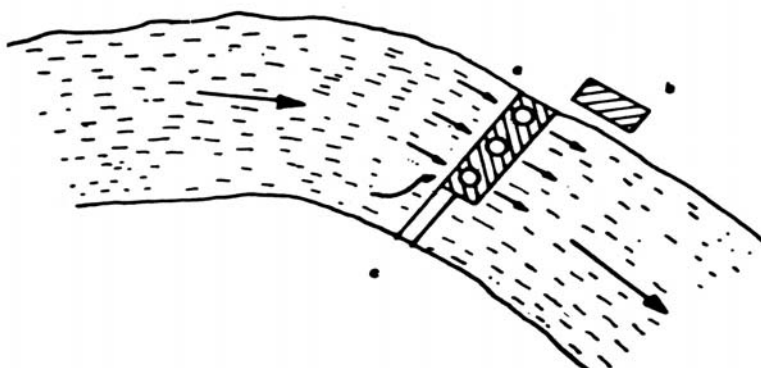


FIG. CENTRAL DE AGUA FLUYENTE

b) Centrales con embalse o de regulación

Estos aprovechamientos hidroeléctricos tienen la posibilidad de almacenar las aportaciones de un río mediante la construcción de un embalse. En estas centrales se regulan los caudales de salida para ser turbinados en el momento que se precisen.

También se incluyen las centrales que sitúan en embalses construidos para otros usos, como son riegos o abastecimiento en poblaciones.

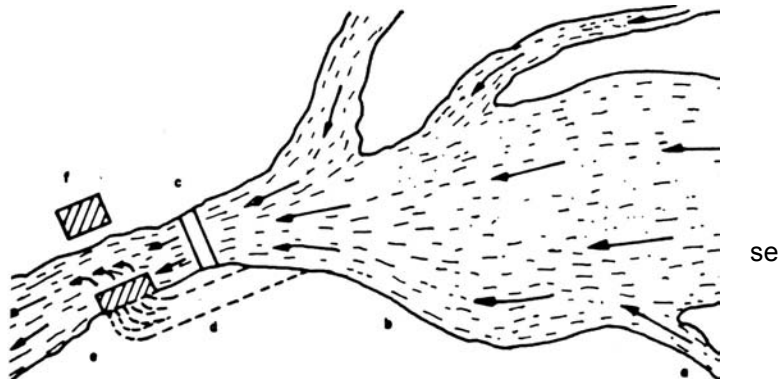
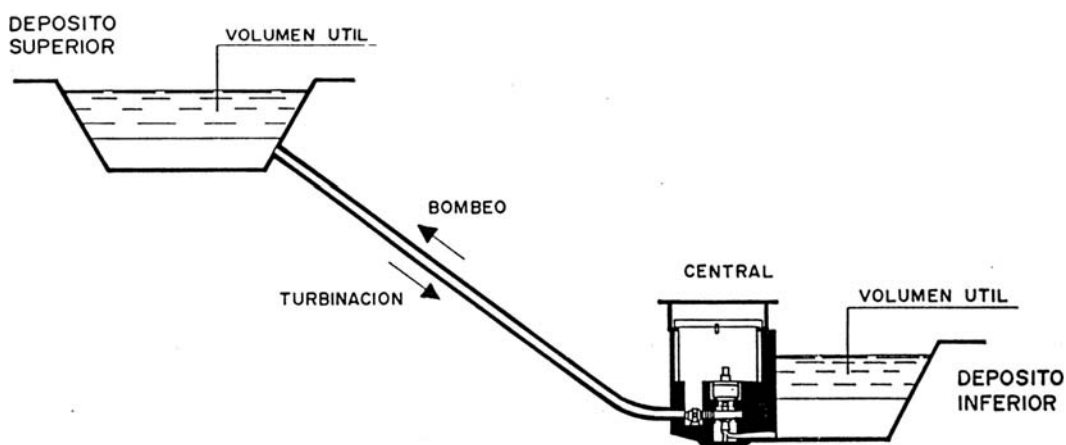


FIG. CENTRAL DE REGULACION

c) Centrales de acumulación por bombeo.

Disponen de dos embalses situados a diferente nivel. Cuando la demanda de energía eléctrica alcanza su máximo nivel a lo largo del día, el agua, almacenada en el embalse superior, hace girar el rodete de la turbina asociada a un alternador funcionando como una central convencional generando energía. Después el agua queda almacenada en el embalse inferior. Durante las horas del día en la que la demanda de energía es menor el agua es bombeada al embalse superior para que pueda hacer el ciclo productivo nuevamente. Para ello la central dispone de grupos de motores-bomba o, alternatively, sus turbinas son reversibles de manera que puedan funcionar como bombas y los alternadores como motores.

ESQUEMA DE UNA INSTALACION DE ACUMULACION POR BOMBEO



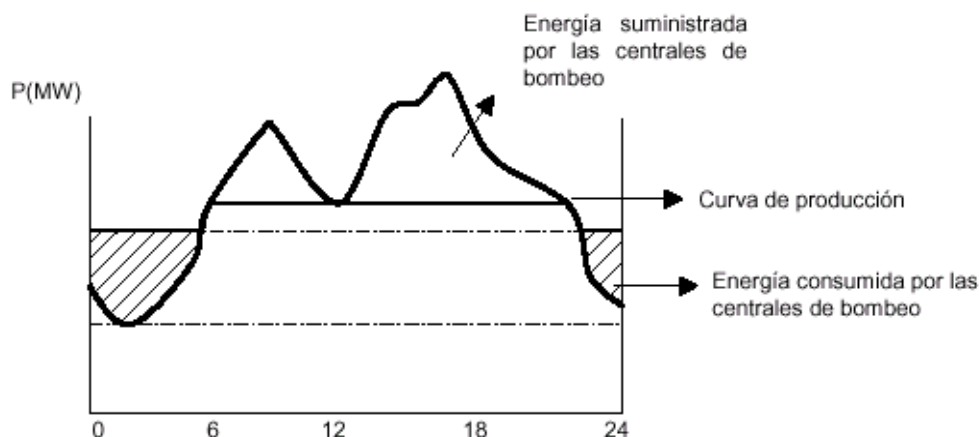
En cualquier caso es de hacer notar que la energía obtenida al turbinar una determinada cantidad de agua es menor que la consumida durante el bombeo para elevarla, debido a las pérdidas asociadas al doble proceso de conversión. Por tanto en igualdad de condiciones el rendimiento de estas centrales de rebombeo será inferior al de las centrales hidroeléctricas normales. Más aún, las centrales de bombeo son en realidad consumidores netos de energía eléctrica. Lo que ocurre es que por su misma estrategia de funcionamiento no se pueden considerar estas instalaciones sin tener en cuenta la red a la cual se encuentran conectadas y que justifica su existencia. Es precisamente su misión en el conjunto de la red lo que da lugar a sus ventajas técnicas y económicas, y entre las podemos destacar fundamentalmente:

Por ser en definitiva central hidroeléctrica su tiempo de arranque es muy corto y tienen una gran facilidad de regulación, siendo desde este punto de vista idóneas para cubrir la zona de puntas del consumo.

Al comportarse como consumidores durante las horas valle producen el deseado efecto de nivelación de la curva de carga diaria, permitiendo que algunas centrales del sistema pasen de funcionar bajo programa a funcionar como centrales de base, con un mayor factor de utilización y una reducción en el costo de producción. Las centrales de bombeo permiten así una explotación más rentable de las centrales térmicas.

En caso de quedar aislada una zona de la red por disparo de alguna línea de alta tensión, las centrales de bombeo de dicha zona pueden restablecer el equilibrio producción-consumo permitiendo que las centrales de base alteren lo menos posible su régimen de funcionamiento.

Existen además varios factores no eléctricos que representan aspectos positivos de las centrales de bombeo, ya que permiten regular en mayor o menor medida el caudal de los ríos, permiten la instalación de zonas de regadío, crean lugares de pesca y de esparcimiento, etc...



d) Centrales mareomotrices

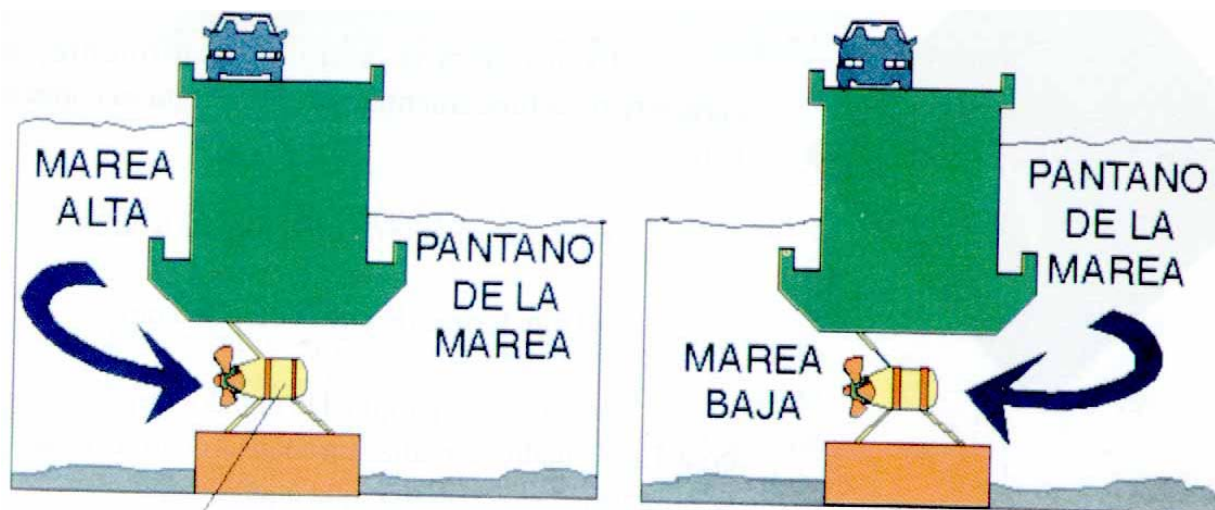
Estas centrales utilizan la energía de las mareas, o sea las diferencias de energía potencial que adquiere el agua del mar en marea alta y baja denominada amplitud de la marea. Esta amplitud varía a través del año en las diferentes costas del planeta. En marea alta el agua se acumula y en marea baja se turbiniza.

Las mareas de los océanos constituyen una fuente gratuita, limpia e inagotable de energía. Solamente Francia y la ex Unión Soviética tienen experiencia práctica en centrales eléctricas accionadas por mareas.

La energía mareomotriz es una de las catorce fuentes nuevas y renovables que estudian los organismos especializados de las Naciones Unidas. Esta energía está disponible en cualesquiera clima y época del año.

Las mareas pueden apreciarse como variación del nivel del mar, con un período de aproximadamente 12 horas 30 minutos, con una diferencia de nivel de unos 2 metros que, conforme a la topografía costera la diferencia entre bajamar y pleamar puede llegar en unos pocos casos hasta los 15 metros. Y esta característica se observa en un centenar de lugares.

La técnica utilizada consiste en encauzar el agua de la marea en una cuenca, y en su camino accionar las turbinas de una central eléctrica. Cuando las aguas se retiran, también generan electricidad. Se considera que los lugares más viables para aprovechar esta energía son unos 40, que rendirían unos: 350.000 GW/h anuales. Para obtener esta cantidad de energía sería necesario quemar unos 220 millones de barriles de petróleo/año.



2o. Clasificación según la altura neta del salto.

Esta clasificación es importante porque el salto, más que ninguna otra característica determina el tipo de las instalaciones del aprovechamiento hidroeléctrico (presa, canal de derivación, conducto forzado, central, tipo de turbinas).

Aunque las CH de gran altura suelen presentar características totalmente diversas de las de pequeña altura, es prácticamente imposible establecer una línea divisoria entre ambas; lo más corriente es añadir una clase intermedia, los saltos de mediana altura, y establecer unos intervalos fijos, aunque convencionales, útiles para los fines estadísticos.

La siguiente clasificación ha sido propuesta por Ludin, y adoptada por otros autores:

- 1) Saltos de pequeña altura: $H \leq 14.99$ m
- 2) Saltos de mediana altura: $15 \leq H \leq 49.99$ m
- 3) Saltos de gran altura: $H \geq 50$ m

Saltos de pequeña altura.

- Terreno: llano o suavemente ondulado;
- Influjos preponderantes del caudal en la potencia: grande;
- Tipo de embalse: sin embalse o con reserva diurna a través del río mismo y compuertas móviles, que se bajan en las crecidas, para evitar las inundaciones aguas arriba;
- Alimentación de agua a la central: directa a la central (centrales de agua fluyente, central-presa) o con canal de derivación (todo al aire libre, sin tubería forzada);
- Construcción del salto: canal de entrada-sala de máquinas-subestructura; centrales con frecuencia erigidas en ríos navegables, debiendo instalarse algunas veces esclusas, que permiten a los barcos salvar el desnivel creado por la presa;
- Tipo de turbina: Kaplan, Hélice, Francis exprés,
- Costo: elevado; el precio por kW instalado aumenta sensiblemente cuando desciende de la fuente hasta la desembocadura de un río, pudiendo llegar a ser el doble y aún mayor. Esto puede hacerse extensivo, aunque por razones un tanto diversas a las centrales mareomotrices que son las centrales de costo de instalación más elevado. Los progresos en ingeniería civil, en construcción de compuertas y diseño de Turbinas de gran velocidad específica han hecho posible en los últimos años la explotación de saltos de gran potencia y de poca altura.

Saltos de gran altura.

- Terreno: montañoso (centrales de alta montaña);
- Influjos preponderantes del caudal en la potencia: pequeño;
- Tipo de embalse: embalse grande, acumulación anual o hiperanual;
- Alimentación de agua a la central: canal de derivación o túnel y tubería forzada (a veces centrales de pie de presa). Estos saltos se caracterizan por sus conductos de derivación de gran longitud (varios kms.), salvo en ciertos casos excepcionales, en que la topografía se presta a la realización de canales cortos. Así, por ejemplo, el canal de derivación del aprovechamiento hidroeléctrico de Roselend tiene una longitud de 12.6 km., y las tuberías una longitud de 3.95 km.
- Construcción de salto: chimenea de equilibrio - tuberías forzadas - sala de máquinas-subestructura.
- Tipo de turbina: Francis lenta, Pelton;
- Costo: menos elevado.

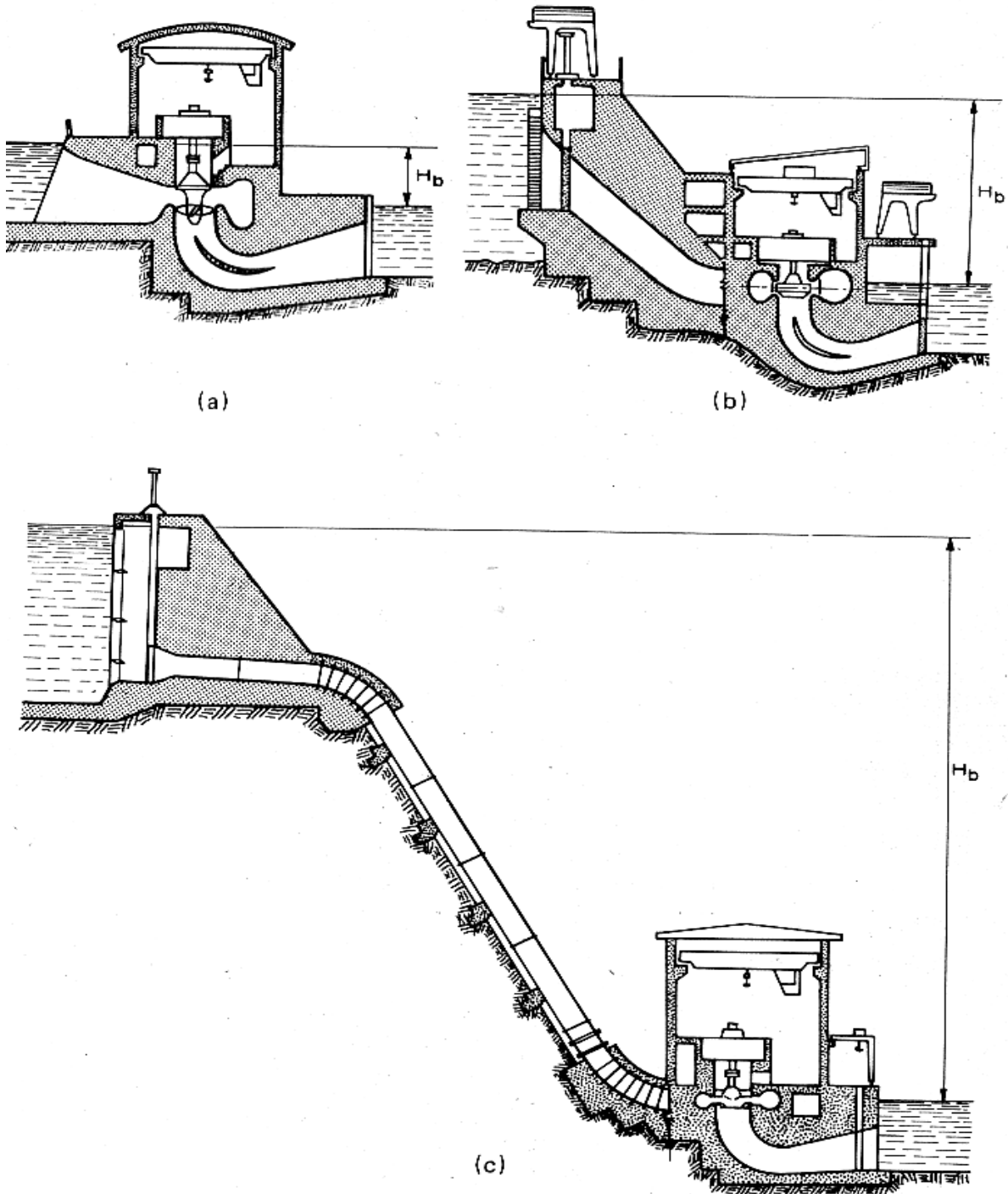


Fig. Esquemas de saltos: a) pequeña altura; b) mediana altura; c) gran altura

3o. Clasificación según la potencia (en el eje de la t.) instalada.

Los límites de esta clasificación son convencionales y relativos según las posibilidades hidroeléctricas de cada país o región. Desde el punto de vista europeo se pueden establecer así:

Microcentrales: $P_a < 100 \text{ KW}$

Centrales de pequeña potencia: $100 \leq P_a < 1000 \text{ KW}$.

Centrales de media potencia: $1000 \leq P_a < 10,000 \text{ KW}$.

Centrales de gran potencia: $P_a \geq 10,000 \text{ KW}$.

La propuesta de clasificación para Centroamérica es la que sigue:

Clasificación	Rango de Tamaño
Nano	Vatios hasta 1 kW
Pico	1 kW hasta 10 kW
Micro	10 kW hasta 50 kW
Mini	50 kW hasta 1000 kW
Pequeñas	1 MW hasta 5 MW
Mediana	5 MW hasta 30 MW
Grande	Arriba de 30 MW

La tendencia en los últimos años ha sido la construcción de grandes centrales y en este sentido es de hacer notar que las grandes centrales actuales son más de mil veces superiores a las grandes centrales de los siglos pasados. Compárese, por ejemplo, la central de 1470 kW de los saltos del Niágara a finales del siglo 19 con la central de Itaipu en la frontera Brasil- Paraguay de 12 millones de kW completada en 1983.

Dentro de las instalaciones hidroeléctricas también destacan las centrales de pequeña potencia, que no precisan de grandes embalses reguladores y tiene por tanto un escaso impacto ambiental. Estas pequeñas centrales poco a poco se van haciendo competitivas, mas teniendo en cuenta el costo de los restantes recursos a los cuales ellas sustituyen.

El limite de potencia para definir la minihidráulica varía según los diferentes países de la unión europea. En España se consideran actualmente minicentrales a todas aquellas centrales cuya potencia instalada es menor o igual a 10 MW.

4o. Clasificación según el sistema de explotación.

a) Centrales aisladas o independientes:

alimentan una red de consumo particular sin conexión a una red general alimentada por otras centrales.

b) Centrales coordinadas:

alimentan una red general de consumo junto a otras centrales, ya sea térmicas de combustibles fósiles o geotérmicas. La tendencia moderna es a la unificación de la red nacional con interconexión a la red de otros países y conexión a esta red de todas las centrales incluso las más pequeñas

5o. Clasificación según la demanda a que satisfacen.

a) Centrales de base: proporcionan la parte de energía que se consume de forma permanente en el sistema. Funcionan con un régimen muy uniforme a largo del año, salvo los períodos de reparación o revisión

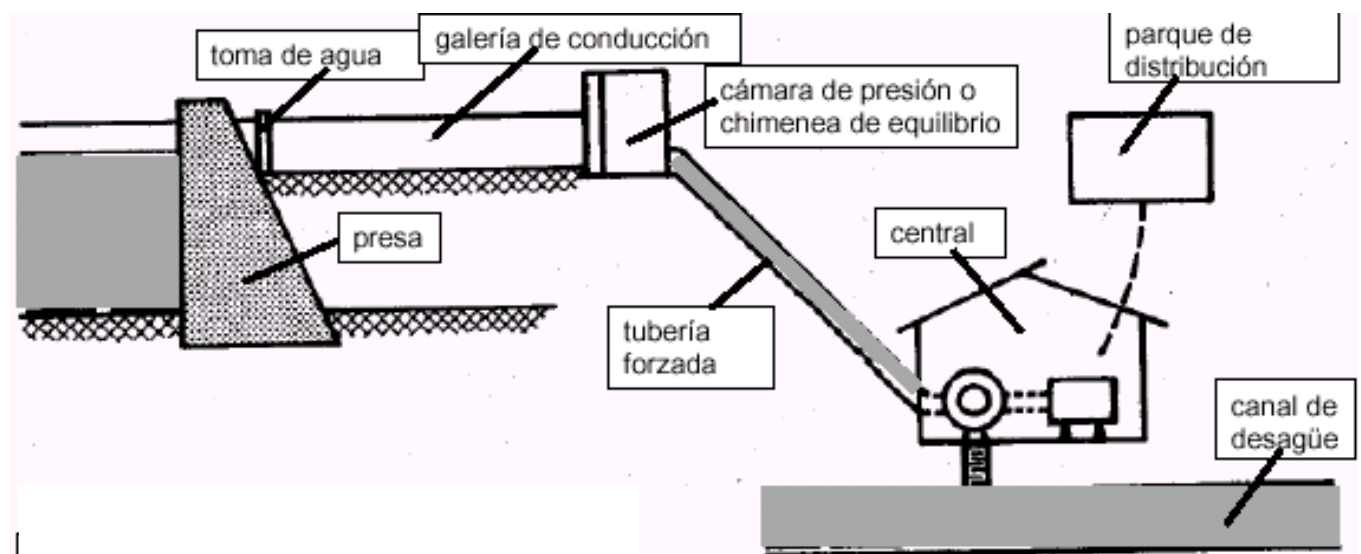
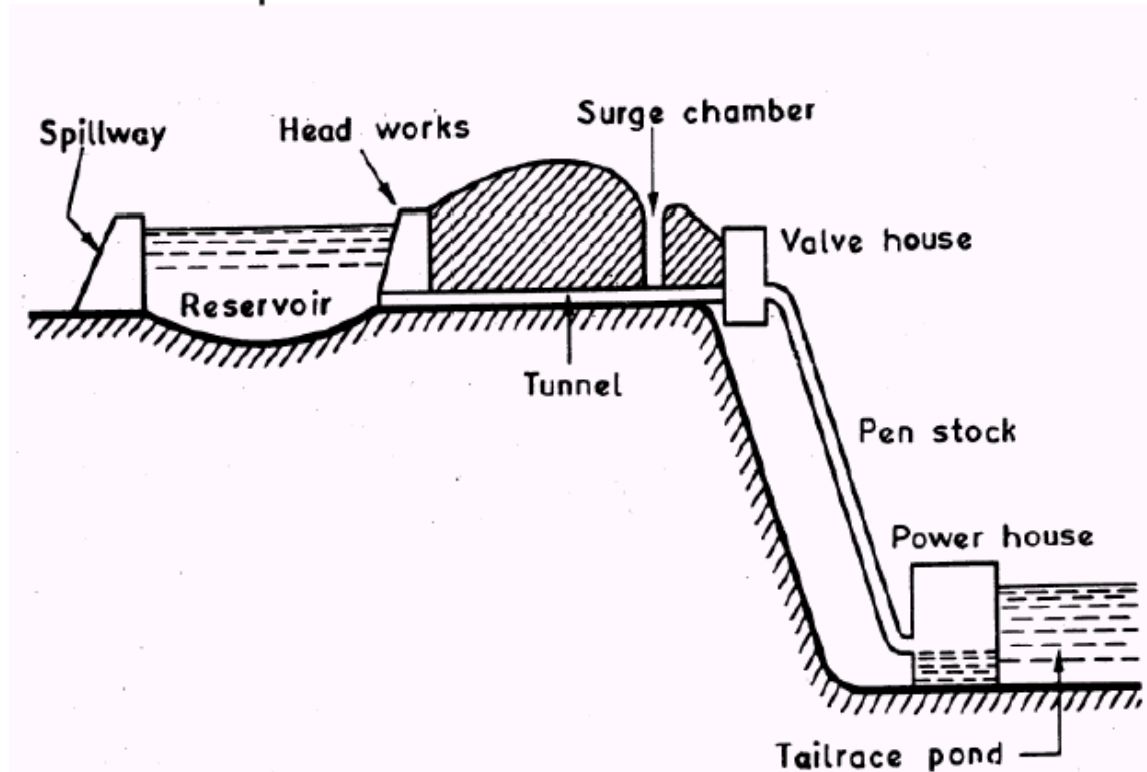
b) Centrales de punta: suministran la energía necesaria para atender las puntas de consumo, es decir, las grandes demandas de energía que sólo se presentan unas pocas horas al día.

Las centrales con embalse presentan la máxima flexibilidad, y sirven como centrales de base o como centrales de punta, según la época del año y de acuerdo a si el año es lluvioso o seco. Las centrales de agua fluyente pueden utilizarse como centrales de base, si el caudal mínimo del río es igual o mayor que el caudal necesario; pero de ordinario las centrales de agua fluyente son centrales de carga punta.

1.5 ELEMENTOS CONSTITUTIVOS

Una central hidroeléctrica está constituida por una serie de elementos mínimos y que son básicamente: presa, conducciones hidráulicas y tuberías, tomas de agua y chimeneas de equilibrio, válvulas y compuertas, turbinas y dispositivos de regulación y tubos difusores; generadores, equipo eléctrico general, elementos de regulación control y protección, equipos auxiliares y elementos de automatización .

Esquema de central hidráulica



1) Presas:

Su misión es crear una obstrucción casi invariable en el río, una presa consta de: a) dique o muro de contención; b) coronación de este dique donde suele construirse un camino o carretera; c) La base o cimiento del dique; d) paramentos o superficie anterior y posterior del dique; e) aliviadero de crecidas; f) órganos de evacuación. A éstos elementos se añaden a veces obras que permiten a los peces franquear la presa.

Existen varios tipos de diques para obturar un valle. La elección de uno u otro dependerá de la configuración del y de las características mecánicas del terreno. Se puede no obstante clasificar las presas por su forma de trabajo en dos categorías: de gravedad y de bóveda. En las primeras el par de vuelco producido por el empuje de las aguas se ve compensado por el par antagonista de la reacción que el suelo ejerce sobre la presa. Su estabilidad está confiada a su propio peso y el esfuerzo del terreno sobre el que se apoya.

El principio de funcionamiento de las presas de bóveda, por el contrario se basa en transmitir el esfuerzo debido al empuje del agua hacia las laderas del valle, para lo cual la presa debe estar dotada de una cierta curvatura que transmita la componente horizontal del empuje hacia los laterales del valle como se indica en la fig, que se muestra a continuación.

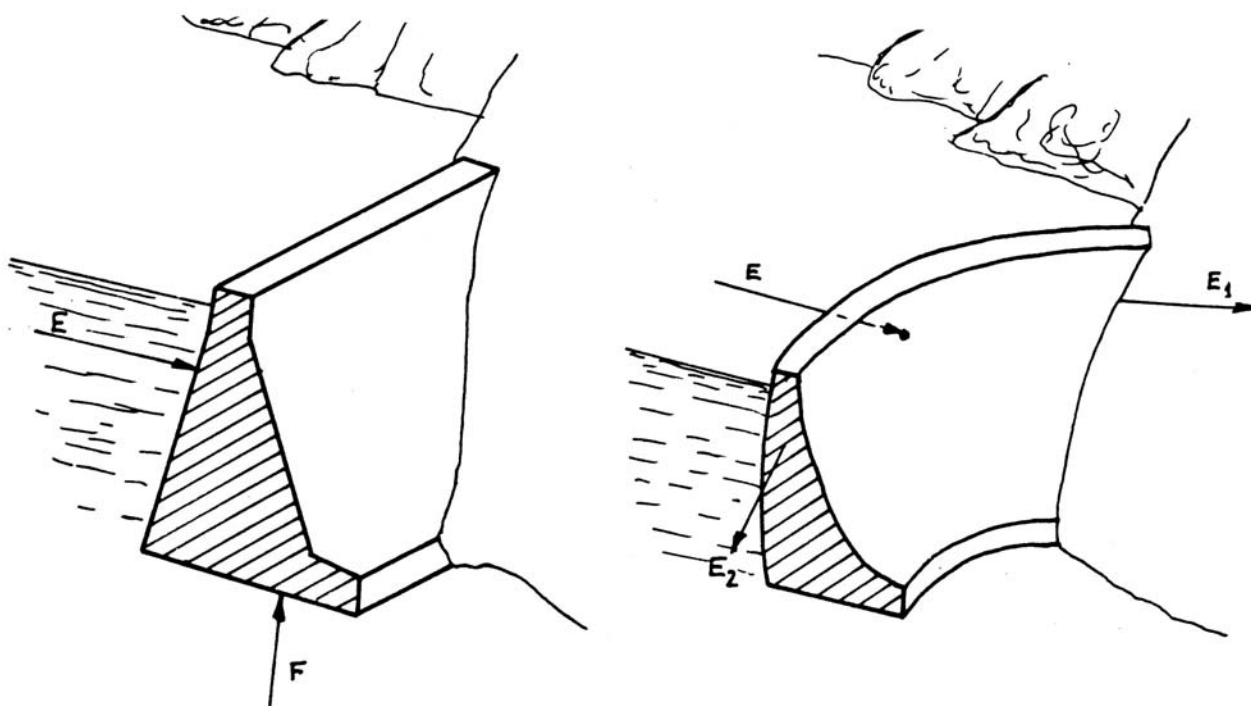


FIG. PRESA DE GRAVEDAD Y PRESA DE BOVEDA

Presas que trabajan por gravedad

a) presas de tierra o escollera. Se utilizan en valles de escasa pendiente y con terrenos poco consistentes, en donde podría sustentarse un dique rígido de concreto. Tiene gran base y poca altura, y están constituidos por materiales de diversa características, algunos de los cuales tienen una misión estructural y otros impermeabilizante.

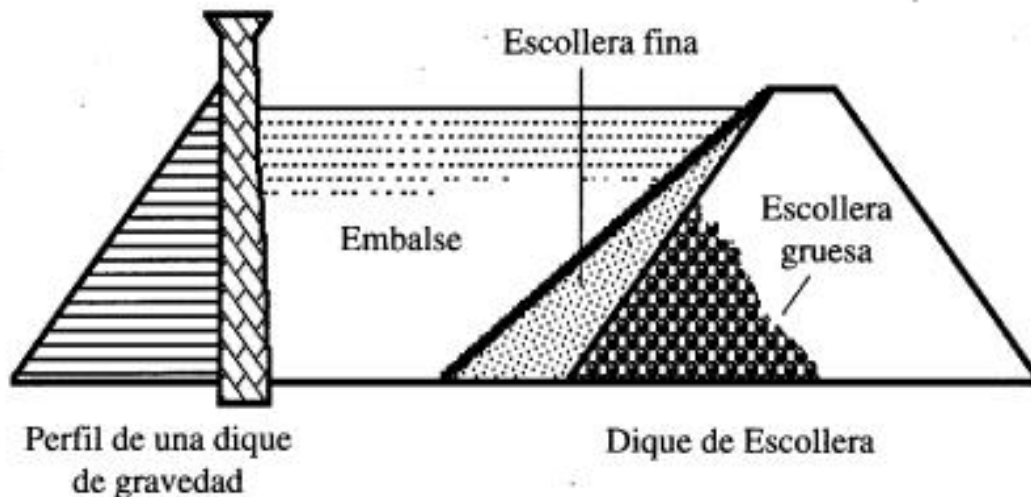


FIG. PRESA DE ESCOLLERA

b) Presas de gravedad. Están formadas por grande masas de concreto y requieren un terreno de base muy consistente.

c) Presas de contrafuertes. Para reducir el volumen de concreto se puede disponer de una pantalla de concreto apoyada en contrafuertes que transmiten el esfuerzo del terreno.

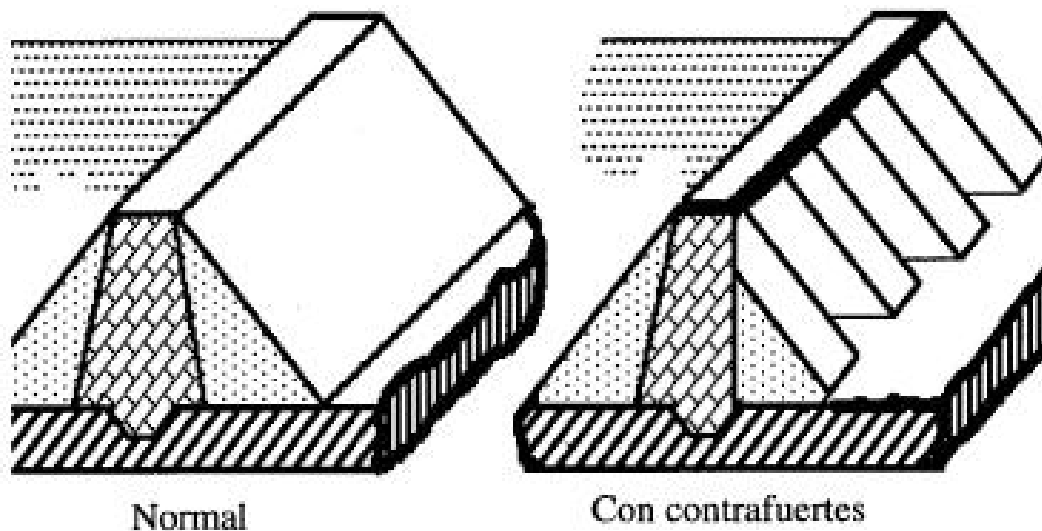


FIG. PRESA DE GRAVEDAD Y PRESA DE CONTRAFUERTES

Presas de bóveda

La presa de bóveda, en contraposición a la presa de gravedad, es una estructura en forma de arco, que, al igual que le arco de un puente, resiste el empuje del agua apoyándose sobre las riberas. Tiene la forma de una bóveda, cuya convexidad mira aguas arriba, y cuyo espesor crece desde la coronación a la base. Generalmente se construye esta presa cuando se trata de valles angostos cuyas laderas están constituidas por terreno rocoso de buena calidad. Cuando el vano a salvar es muy grande pueden construirse presas de arcos múltiples que trabajan según un principio muy similar a las de contrafuertes pero estando éstos unidos por bóvedas.

Finalmente también puede hablarse de presas mixtas de arco-gravedad en las cuales el empuje del agua es en parte absorbido por el terreno y en parte por las laderas.

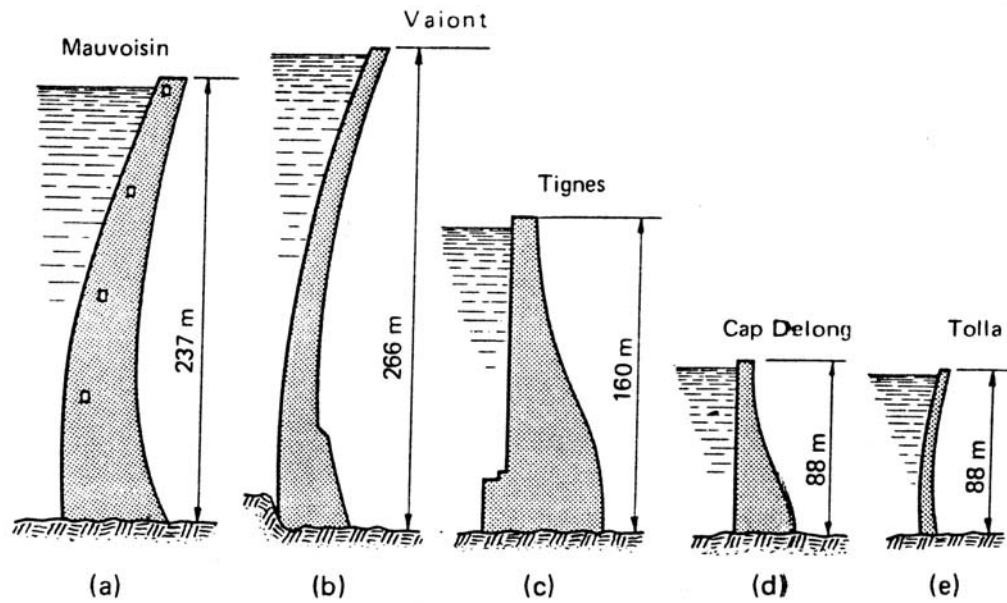


FIG. PRESAS DE BÓVEDA NOTABLES

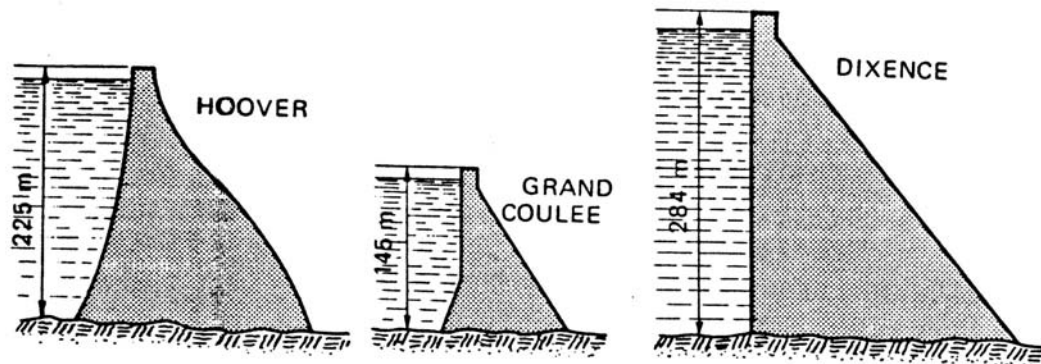


FIG. PRESAS DE GRAVEDAD NOTABLES

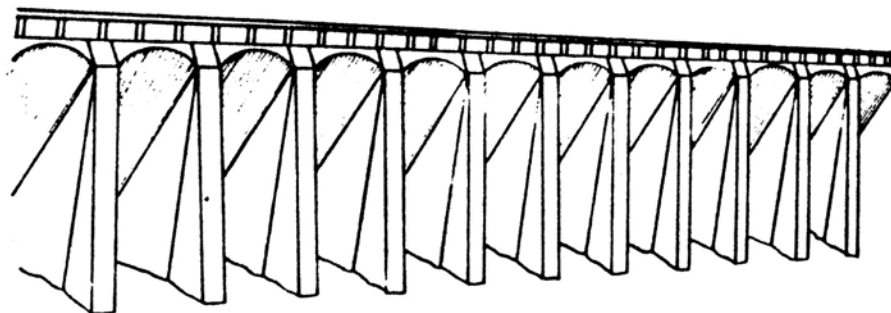


FIG. PRESA DE ARCOS MULTIPLES

Aliviaderos y compuertas

En toda presa se construye algún tipo de aliviadero, calculado para el caudal máximo de crecida, que tiene por objeto proteger el lugar y la presa misma contra las inundaciones. Este puede formar parte integral de la presa o constituir estructura aparte. Los aliviaderos pueden ser fijos o móviles. Los aliviaderos móviles se denominan compuertas. Los aliviaderos fijos pueden reducirse a tres tipos: a) vertederos; b) pozos; c) sifones o vertederos sifónicos.

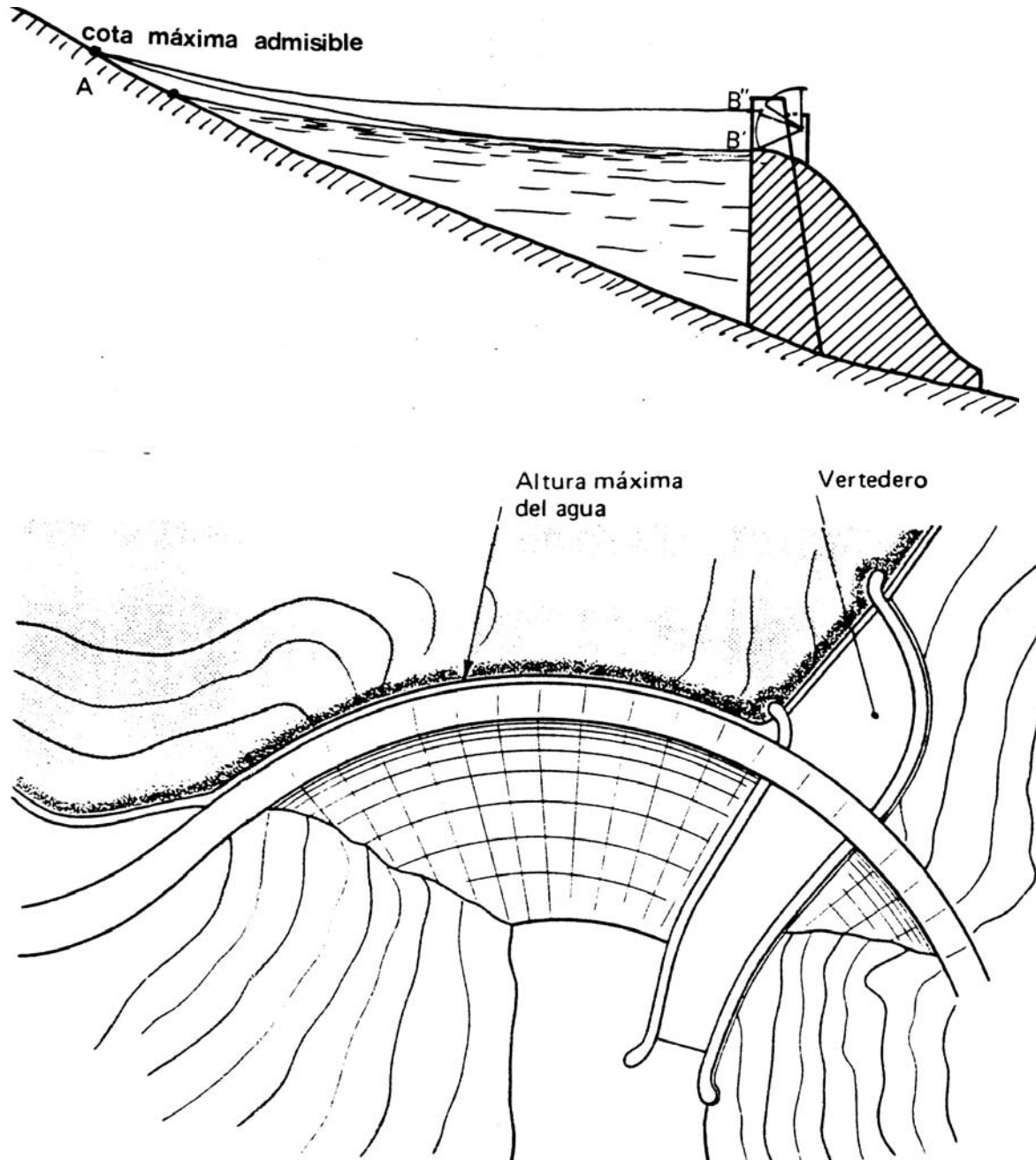


FIG. VERTEDERO

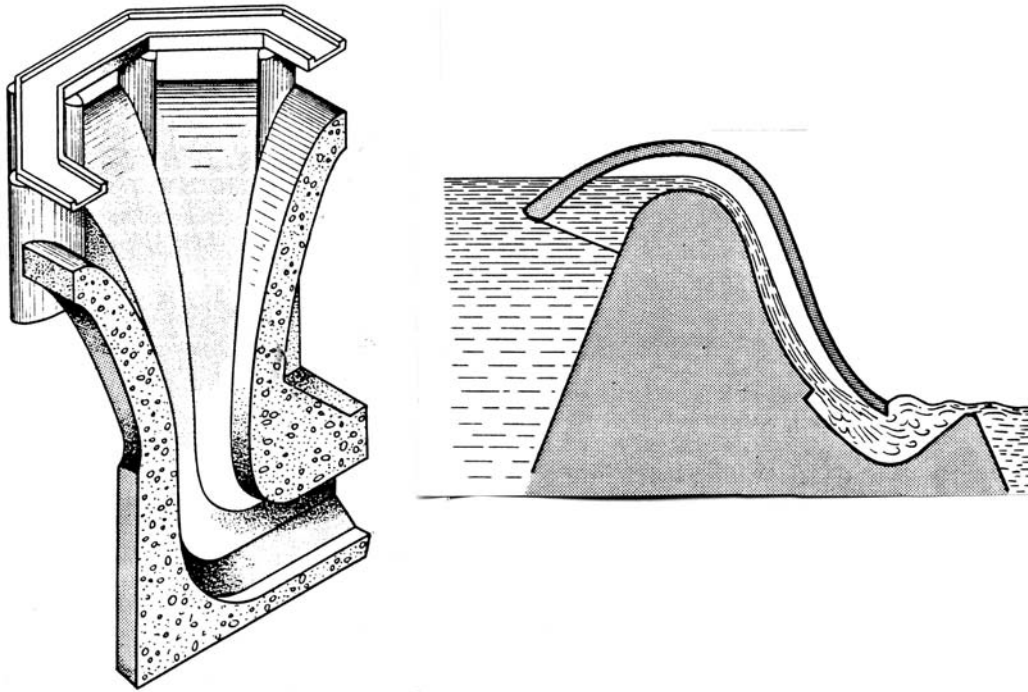


FIG. ALIVIADEROS (izq. De pozo; der. Sifónico)

Los móviles o compuertas, cuyo accionamiento puede ser manual, mecánico, eléctrico, hidráulico o neumático, total o parcialmente automático, suelen construirse según los tipos siguientes: 1) compuertas deslizantes; 2) compuertas basculantes; 3) compuertas de segmento tipo Taintor; 4) compuertas de sector; 5) compuertas de tejado; 6) compuertas cilíndricas.

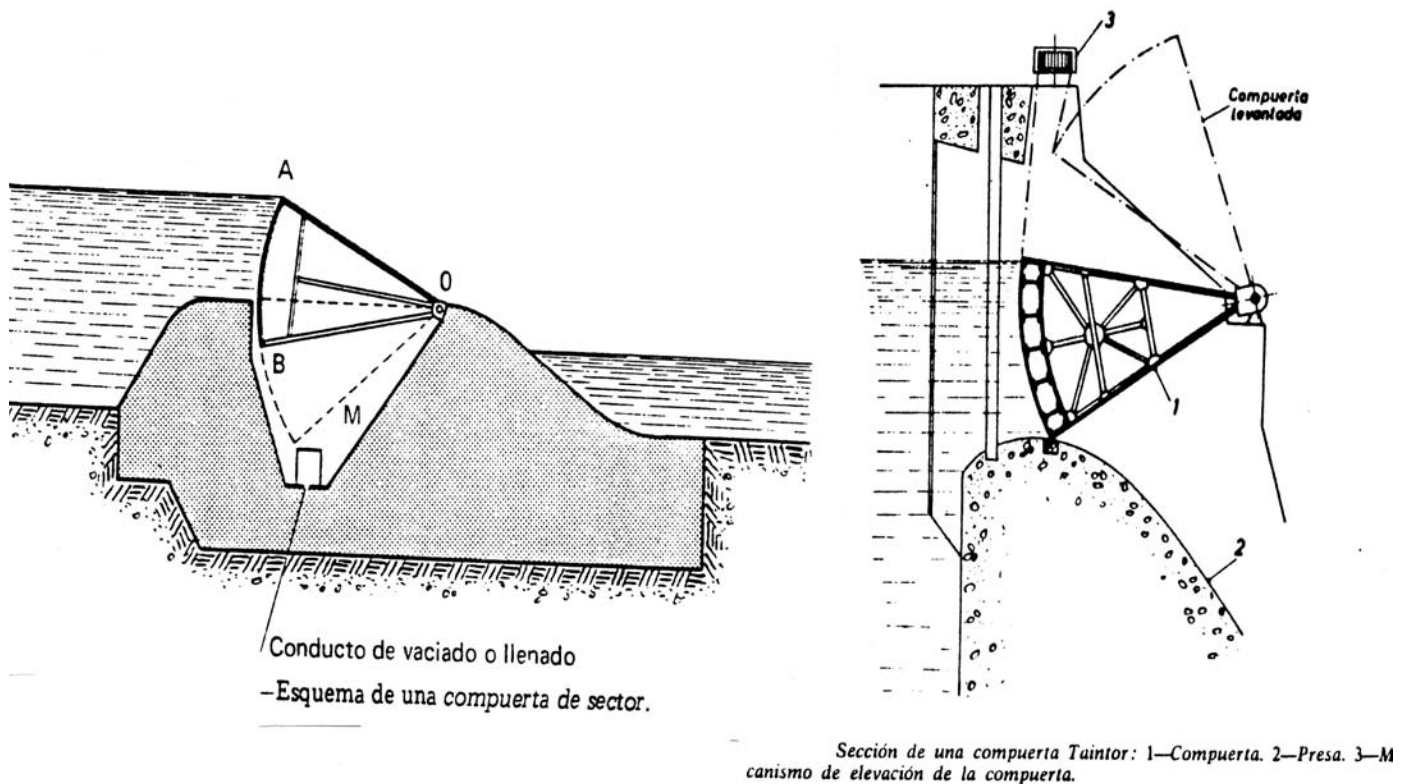


FIG. DIFERENTES TIPOS DE COMPUERTAS a) de sector, b) de segmento o Taintor

Tomas de agua y compuertas

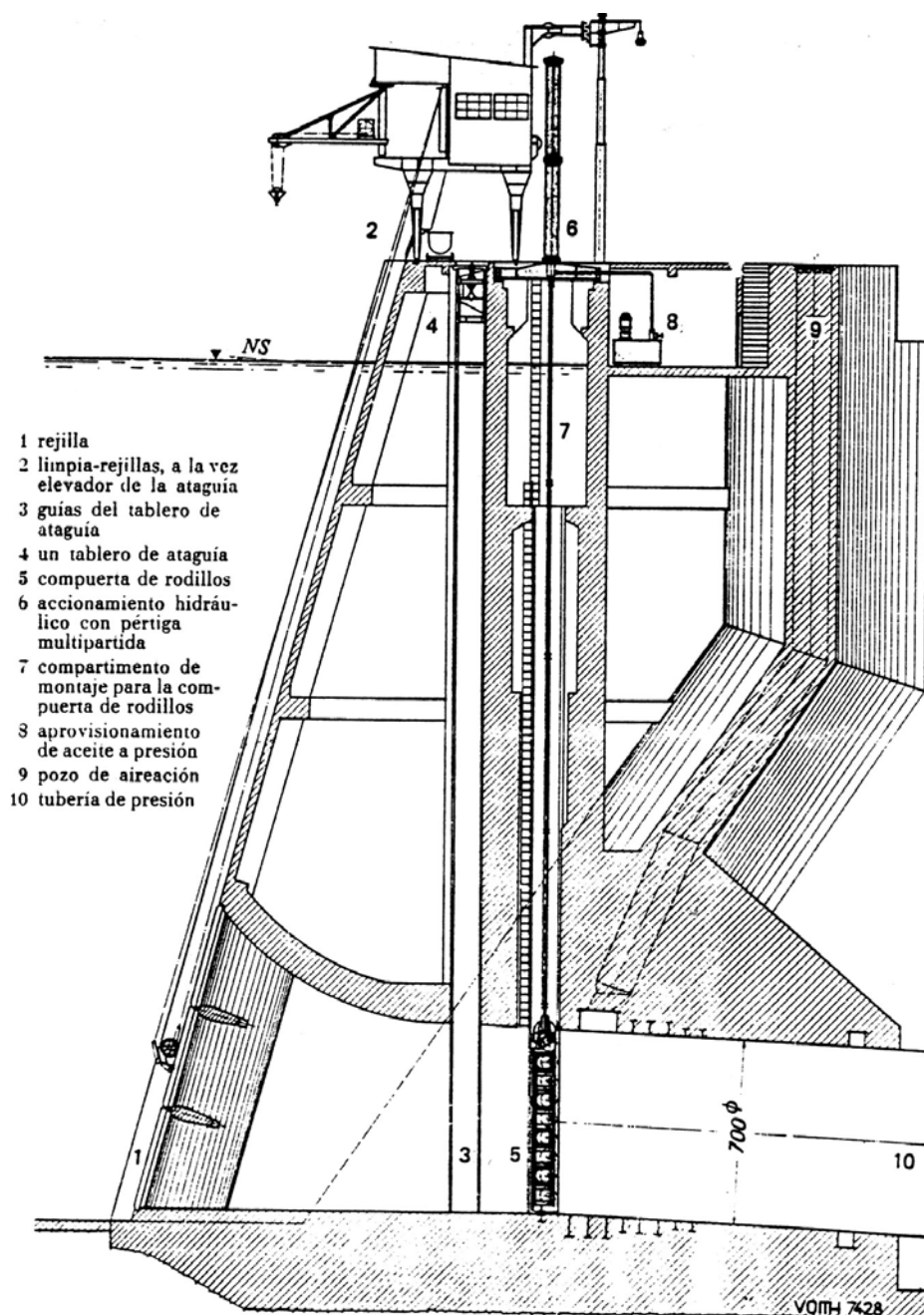
La obra de toma consiste en un ensanchamiento al inicio del conducto, que facilita la entrada del agua retenida por el azud o la presa y está diseñada para que las pérdidas de carga producidas sean mínimas. La función primaria de la toma es permitir la extracción del agua desde el vaso con la variación o amplitud de niveles de embalse en el mismo. En general la toma dispone de una rejilla que impide la entrada de elementos sólidos al canal, y una compuerta, que controla el caudal que debe pasar dentro de las posibilidades de capacidad de la conducción y para interrumpir la entrada de agua y proceder al vaciado, limpieza o reparación de las conducciones.

Puede estar situada sobre la propia presa o separada de ella. Cualesquiera que sean su profundidad y su caudal disponen siempre de unos determinados elementos:

a) Una rejilla de entrada que impide el paso de los cuerpos flotantes o en suspensión que podrían dañar las tuberías o las turbinas. Están formados por barrotes metálicos o de concreto y el espaciado entre ellos puede oscilar entre 3 y 20 cm. Pueden tener distintas formas.

b) Un dispositivo de obturación que permita cortar y, en su caso, regular el caudal de agua. Está formado generalmente por compuertas, de las cuales se disponen dos en cada toma. La situada aguas abajo se utiliza para el servicio normal. La de aguas arriba en cambio es la de emergencia y se denomina ataguía. Se utiliza para cerrar el paso de agua cuando se necesita

inspeccionar o revisar la compuerta de servicio. Consiste normalmente en una plancha de acero reforzada con perfiles metálicos que se maneja mediante un puente grúa.



COMPUERTA DE SERVICIO Y ATAGUIA EN UNA CENTRAL

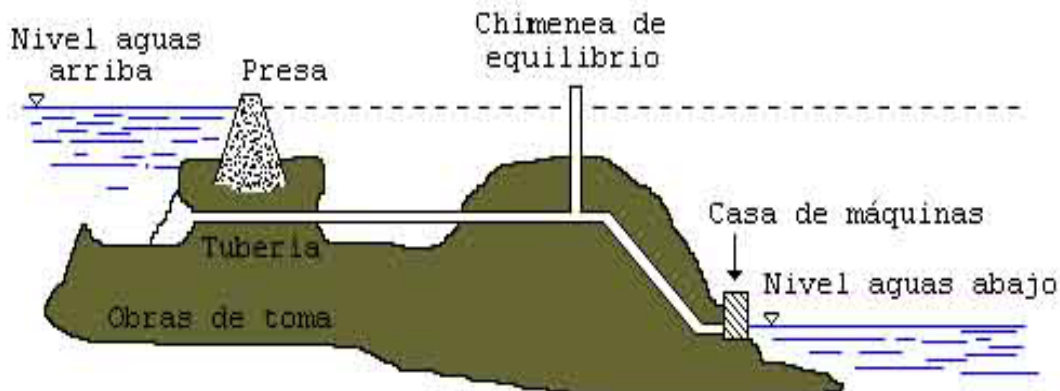
Las compuertas pueden ser planas, de desplazamiento lineal accionadas mediante cabrestantes o cilindros hidráulicos, o bien en forma de sector, de desplazamiento angular. Estas últimas son las que se utilizan normalmente en aliviaderos de superficie. En el caso de compuertas planas se suelen disponer orugas o rodillos para disminuir el rozamiento con las guías o durmientes. En cualquier caso hay que disponer en las tomas de agua con los elementos necesarios para evitar la cavitación, cuando se obtura parcialmente la entrada, tales como inyección de aire o aireadores.

Conducciones: canales, túneles y tuberías forzadas

La alimentación de agua a las turbinas se puede hacer directamente a través del dique en centrales a pie de presa o a través de un sistema de canalizaciones en el caso de centrales en derivación.

En el caso de los canales estos pueden realizarse excavando el terreno en la ladera o de forma artificial mediante estructuras de concreto. En todo caso las pendientes de los mismos son muy débiles, del orden de algunas

unidades por diez mil. En el proyecto del canal deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones: Buscar la solución que represente la mayor economía, no sólo en construcción sino en explotación. Evitar el paso por terrenos permeables, para reducir al mínimo los revestimientos, ya sean de arcilla, de mampostería u otro material. La velocidad del agua en el canal se determina por las conocidas fórmulas de Chezy, Bazin, Manning, etc... En saltos de gran caudal y poca altura se reduce la pendiente en el canal para no perder carga, exigiendo en este caso mejor acabado para reducir pérdidas y trabajos de limpieza, pues aumentará la sedimentación: también el costo será mayor por unidad de longitud. Cuando el salto sea de gran altura y poco caudal se puede admitir mayor pendiente en el canal y buscar soluciones más económicas. La sección transversal a adoptar dependerá de la clase de terreno: habitualmente para canales en roca se utiliza la sección rectangular y para canales en tierra se utiliza la sección trapezoidal. También se suelen utilizar tuberías prefabricadas de concreto para conducciones en lámina libre enterradas.



En algunas ocasiones, para reducir la longitud del canal, puede justificarse la perforación de túneles en la montaña, en cuyo caso hay que fijar bien los puntos de ataque y de apoyo, de manera de no elevar demasiado los trabajos de excavación y revestimiento si éste se hace necesario.

Para evitar grandes longitudes el desnivel del río debe ser grande y suele ir acompañado de una orografía irregular, lo que dificulta la construcción de los canales. Por esta razón se prefiere por lo general la solución del túnel en carga que no obstante su mayor costo, se adapta mejor a las condiciones geográficas. Además en este caso la respuesta de la instalación ante aumentos bruscos de demanda es mejor. Como contrapartida se requieren estudios geológicos profundos y mayores dificultades de construcción, debiendo tener gran cuidado en la transmisión de los esfuerzos de presión al terreno.

Desde este punto de vista el perfil circular es el mas adecuado pero su realización no es fácil debido a la dificultad de circulación de las máquinas excavadoras sobre una superficie cilíndrica, limitándose a las galerías que trabajan con presiones elevadas o en terrenos de calidad intermedia. En otros casos se prefiere el perfil en herradura o de curvatura, cuyas características se muestran en las figuras.

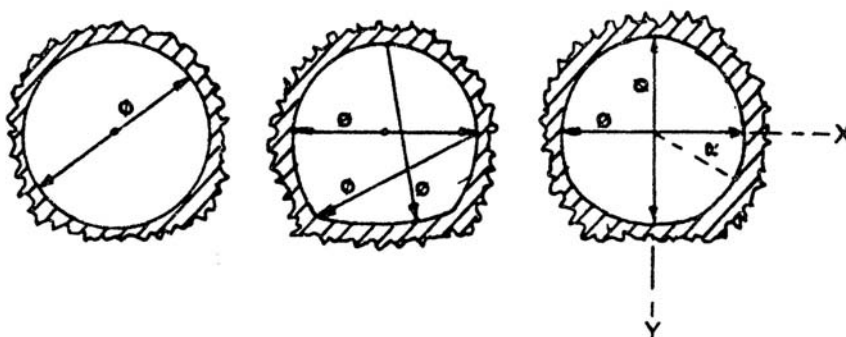


FIG. DIVERSAS SECCIONES TRANSVERSALES DE TÚNELES

La parte final del recorrido del agua desde la cámara de carga o la chimenea de equilibrio hasta la turbina se llevan a cabo mediante tuberías forzadas. Debido a las variaciones de carga del alternador o a condiciones imprevistas se utilizan las chimeneas de equilibrio que evitan las sobrepresiones en las tuberías forzadas y álabes de turbinas. A estas sobrepresiones se las denomina golpe de ariete .

Cuando la carga de trabajo de la turbina disminuye bruscamente se produce una sobrepresión positiva , ya que el regulador automático de la turbina cierra la admisión de agua.

La chimenea de equilibrio consiste en un pozo vertical situado lo más cerca posible de las turbinas. Cuando existe una sobre presión de agua encuentra menos resistencia para penetrar al pozo que a la cámara de presión de las turbinas haciendo que suba el nivel de la chimenea de equilibrio. En el caso de depresión ocurrirá lo contrario y el nivel bajará. Con ésto se consigue evitar el golpe de ariete.

Actúa de este modo la chimenea de equilibrio como un muelle hidráulico o un condensador eléctrico, es decir, absorbiendo y devolviendo energía.

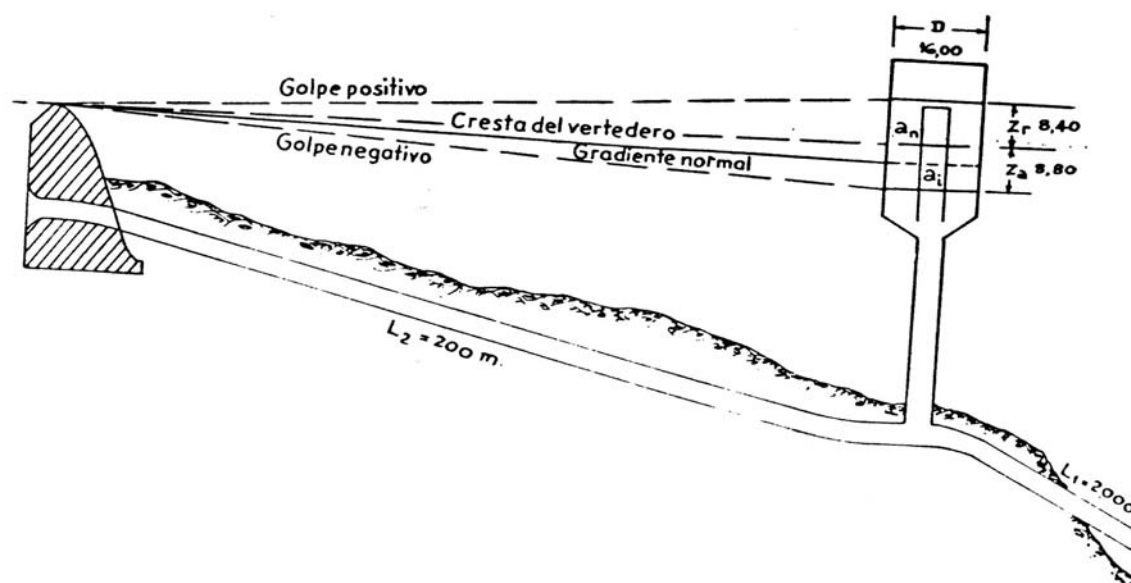


FIG. ESQUEMA DE INSTALACIÓN DE TUBERÍA FORZADA Y TANQUE DE OSCILACIÓN

Las tuberías de presión o tuberías forzadas se pueden construir de diferentes materiales siendo los mas comunes: el acero, el concreto precomprimido o concreto armado y la uralita, según sean los esfuerzos a que estén sometidas. Se suele definir la naturaleza de la tubería por el valor del producto $d \times h$, siendo d el diámetro de la tubería en metros y h la carga o altura del salto en metros. Si el resultado es mayor que 1000 m^2 se aconseja tubería de acero, pudiendo llegar a 2000 m^2 o más, sin importar la relación de valores entre d y h . Esto es, incluso para el valor de $d = 1 \text{ m}$ y $h = 2000 \text{ m}$. Para valores del producto $d \times h$ comprendidos entre 200 m^2 y 1000 m^2 se suele emplear tubería de concreto armado precomprimido. La altura de salto no debe ser superior a 500 m . Las tuberías corrientes de concreto armado no es prudente usarlas en saltos de más de 60 m , ni en valores del producto $d \times h$ superiores a 200 m^2 . La uralita soporta presiones de 150 m de columna de agua y se alcanzan productos dxh de 90 m^2 .

La elección del numero de tuberías no esta determinado por las características físicas del aprovechamiento sino mas bien por motivos de mantenimiento y previsión que determinan el marco en que se se desarrollan los proyectos industriales. La solución de menor inversión es desde luego la de una sola tubería, siempre que se pueda realizar de una sección transversal suficiente, pero en este caso, el conjunto de la instalación quedaría fuera de servicio cuando, a consecuencia de un accidente o avería fuese necesario reparar la tubería o alguno de sus órganos auxiliares (válvulas, compuertas, etc...). Cuando la central consta de varios grupos, que es lo más normal es necesario, por motivos de fiabilidad de la instalación, independizar el funcionamiento de los mismos, y este grado de independencia es algo que habrá que determinar en cada caso. En la figura de abajo se muestra la evolución del diámetro de las tuberías y del costo de las mismas conforme aumenta el numero de ellas. Es de notar que los valores numéricos están dados en forma relativa tomando como base el casi de una única tubería.

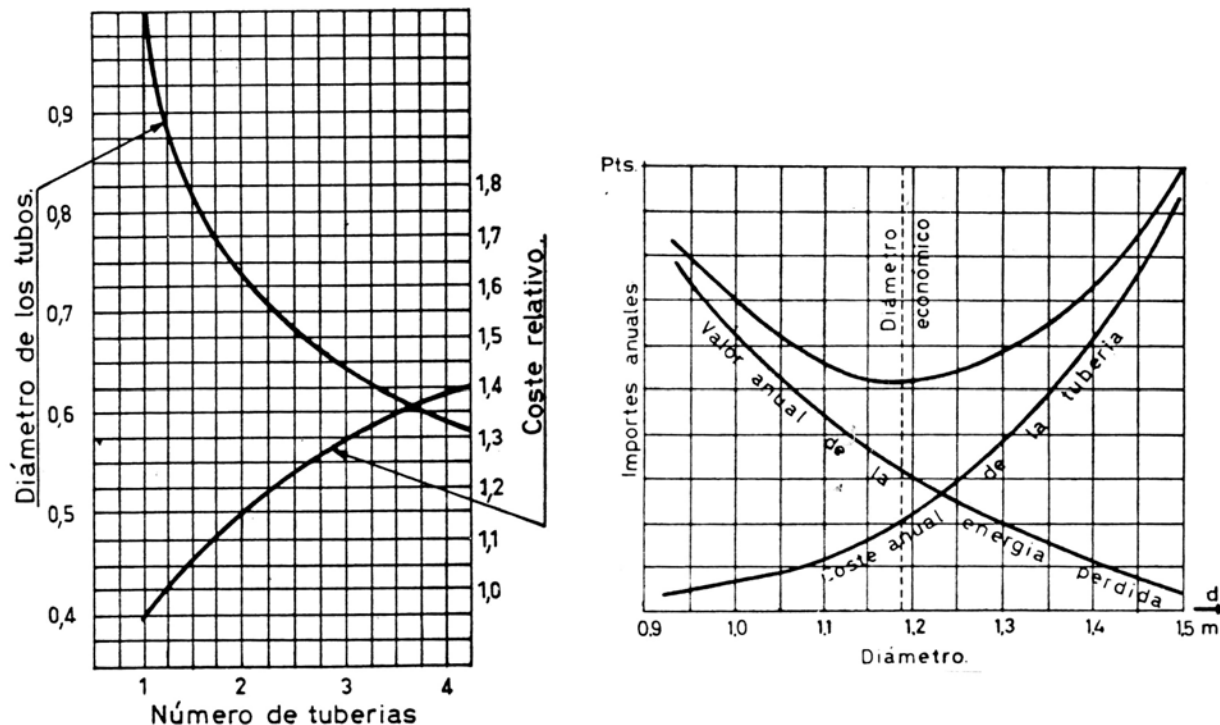


FIG. RELACION ENTRE DIAMETRO – NUMERO Y COSTOS DE TUBERIA

Una vez seleccionado el número de tubos es necesario determinar su diámetro, este podrá ser constante a lo largo de toda su longitud o decreciente a medida que disminuye la altura: esta es la solución mas adecuada en grandes saltos. La determinación de este diámetro óptimo se basa en un compromiso económico entre el costo de los materiales y el costo asociado a las perdidas de carga que se producirán. Es evidente que a mayor diámetro mayor costo pero menores perdidas, es decir mas capacidad de producción de energía. La valoración económica de estas perdidas a lo largo de la vida de la central (que son un costo variable) y su comparación con el costo de inversión realizada en las tuberías dará como resultado el diámetro óptimo, es decir, aquel que produce los costos totales menores.

Al calcular el espesor de la pared de la tubería de presión, se deben tener presentes no solo las presiones de carga normal, sino, sobre todo, las sobrepresiones que resultan al producirse golpes de ariete, donde entran en juego la velocidad del agua, la longitud de la tubería y el tiempo de cierre y de apertura de las válvulas. Dada su importancia, se estudia más adelante este fenómeno.

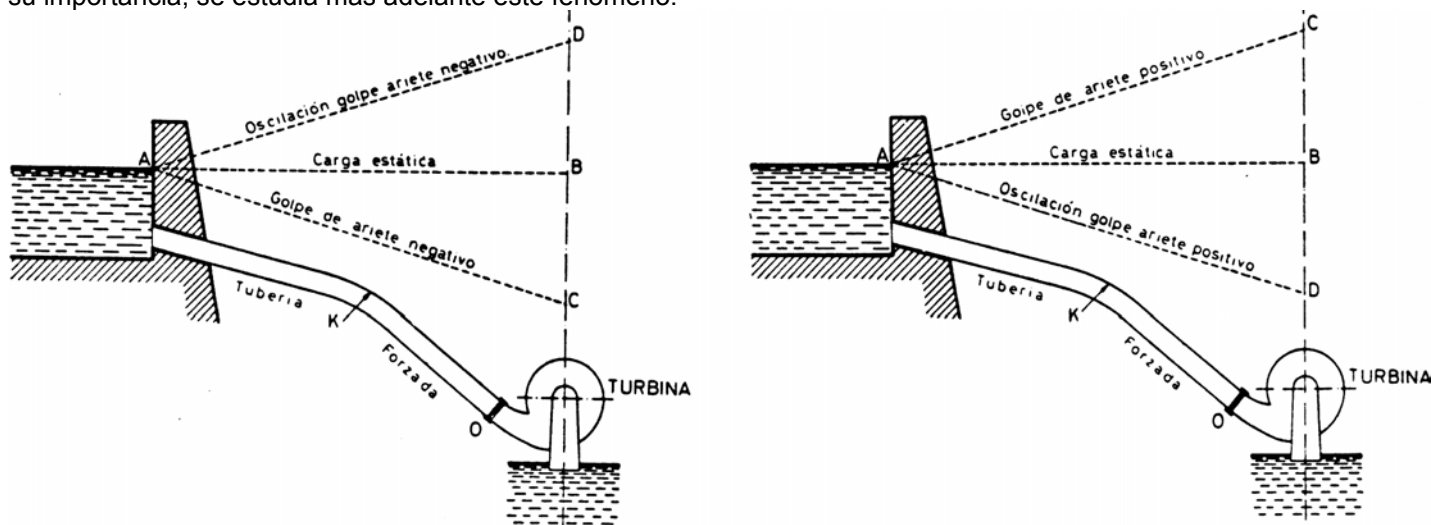


FIG. GOLPE DE ARIETE POR CIERRE Y APERTURA DEL DISTRIBUIDOR DE LA TURBINA

Además de las compuertas situadas en las tomas de agua, las tuberías y canalizaciones; los circuitos de agua de una central van dotadas de una serie de elementos de cierre y seguridad. Entre las válvulas mas utilizadas se pueden mencionar: las de compuerta, las de mariposa y las esféricas.

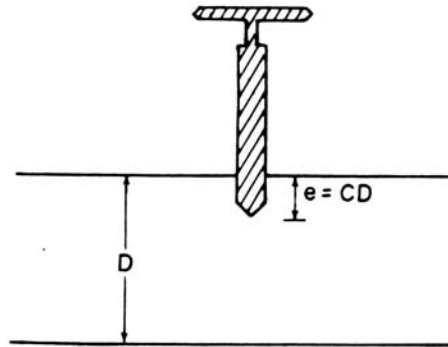
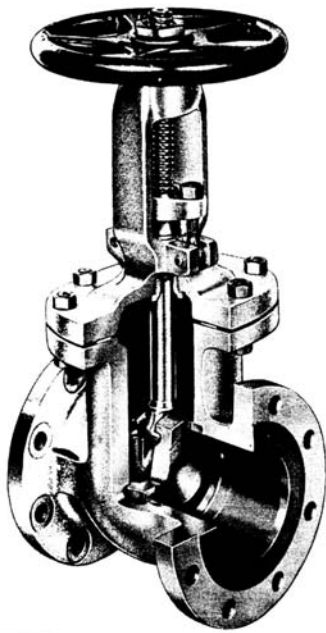


FIG. VÁLVULA DE COMPUERTA

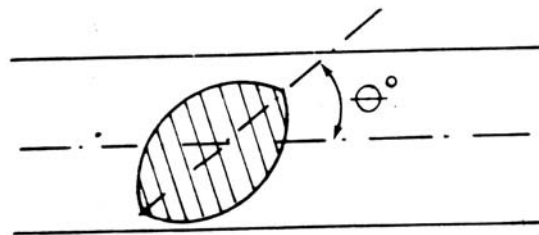
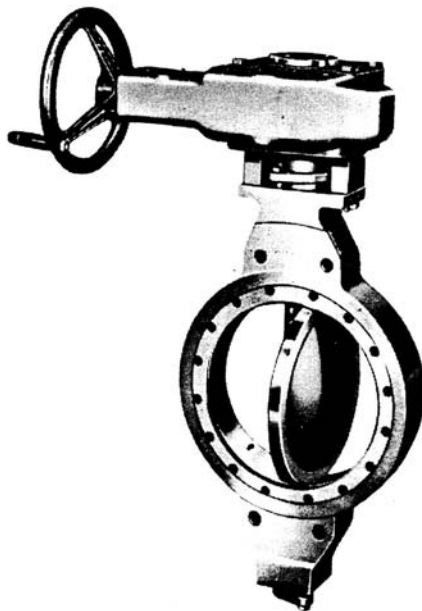


FIG. VÁLVULA DE MARIPOSA

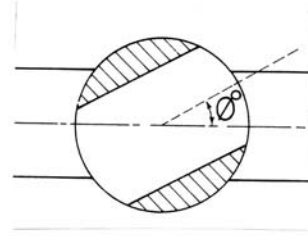
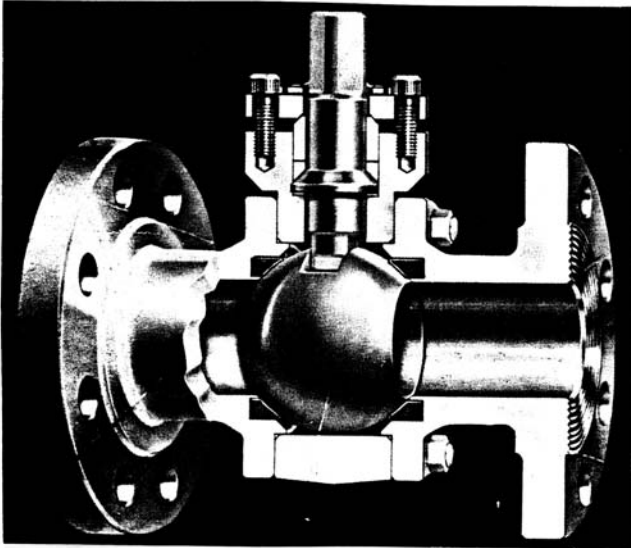


FIG. VÁLVULA ESFÉRICA

También las tuberías disponen de unos elementos de seguridad tales como válvulas de entrada de aire y chimeneas de equilibrio con objeto de compensar las depresiones y sobrepresiones que se pueden producir dentro de las mismas. Las primeras son unas válvulas de seguridad que permiten la entrada de aire a la tubería cuando a causa del cierre brusco de la válvula tiende a vaciarse. De esta forma se evita que la depresión pueda provocar el aplastamiento del tubo.

Casa de máquinas

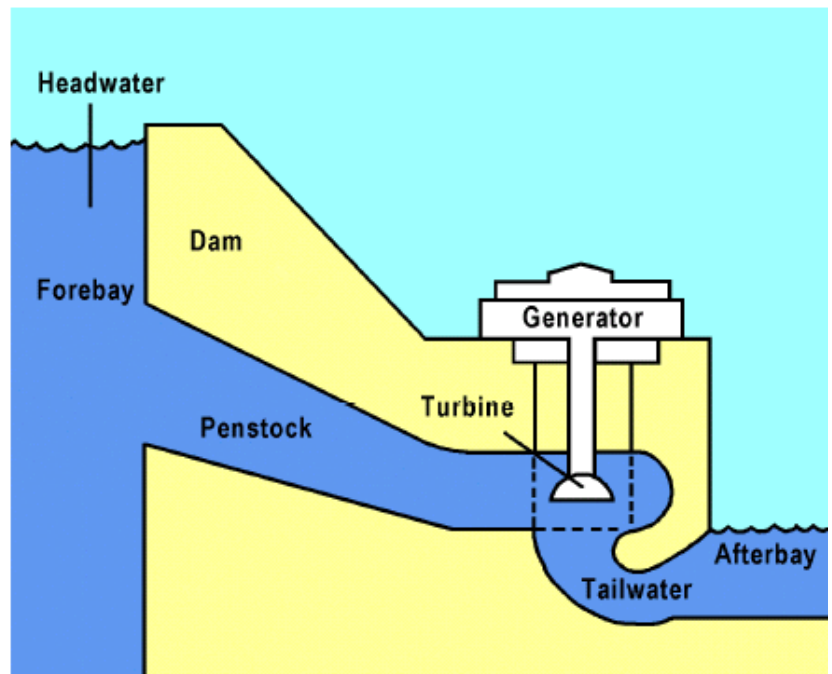
En su interior están albergadas las turbinas con sus correspondientes bancadas, los generadores, cuadros eléctricos y de control, etc...

La configuración física del edificio depende del tipo y número de máquinas a utilizar y del tamaño de las mismas. En las instalaciones de eje vertical la estructura de la central suele dividirse verticalmente en tres niveles, de abajo hacia arriba.

- Nivel de tubos de aspiración, pozos o galería de desagüe
- Nivel de turbina y final de tubería forzada
- Nivel de generadores

En las instalaciones de eje horizontal lógicamente las zonas b y c, están al mismo nivel.

La zona a, junto con la cimentación de la maquinaria, componen lo que se llama infraestructura y la zona b y c, la superestructura consta en primer lugar de la sala de máquinas, de la sala de reparaciones y de las restantes instalaciones y oficinas de la central.



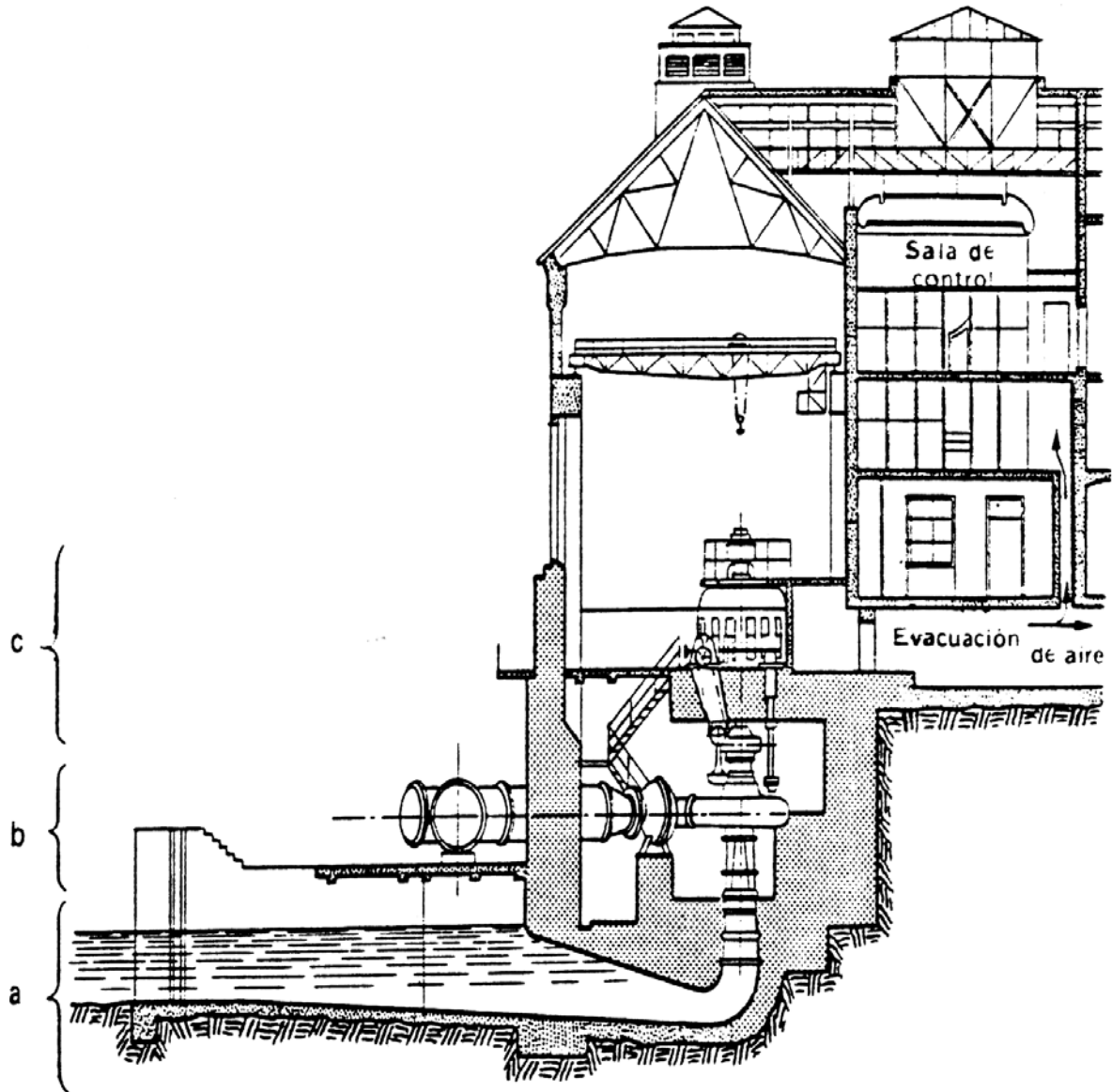


FIG. CASA DE MÁQUINAS EN INSTALACIÓN CON TURBINA DE EJE VERTICAL

Turbinas hidráulicas.

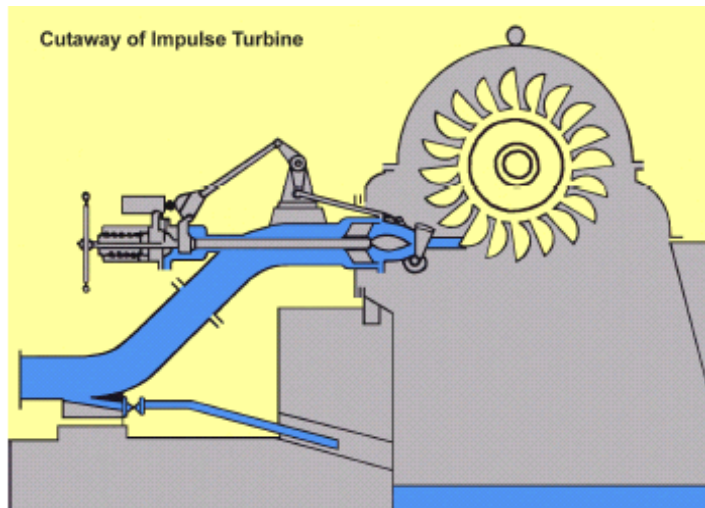
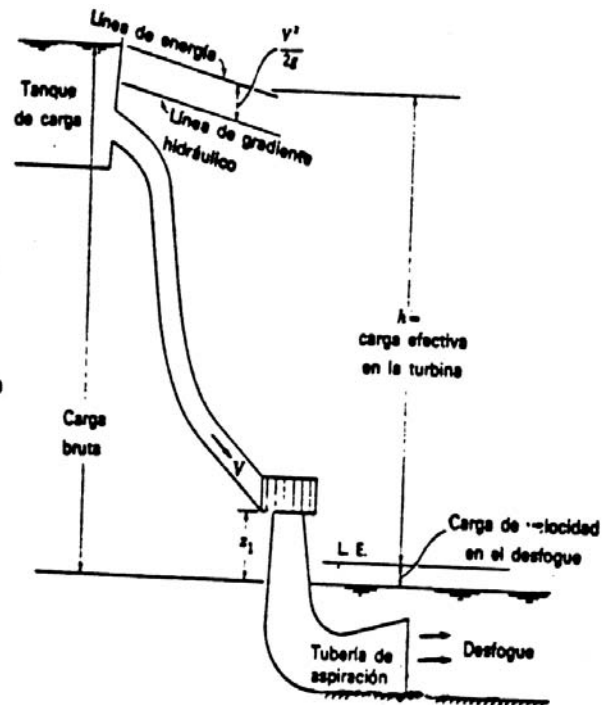
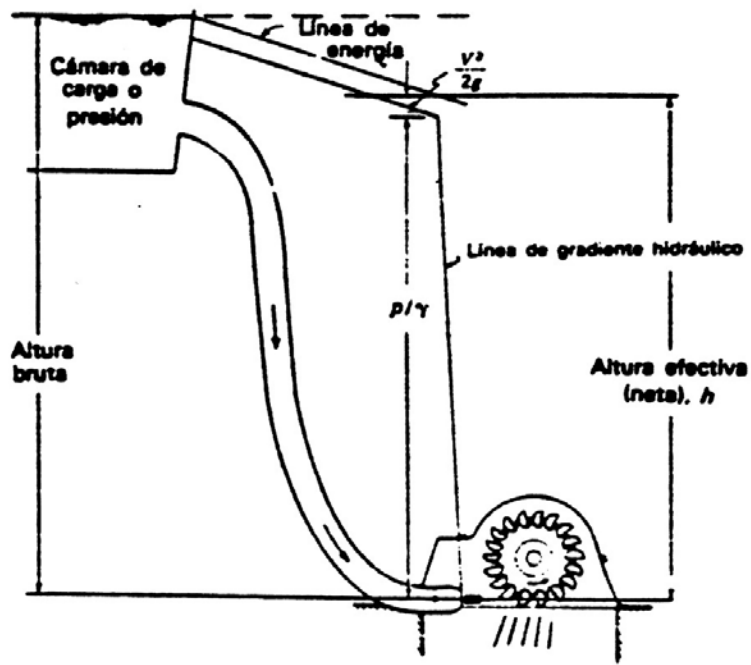
La turbina es el elemento que aprovecha la energía cinética y potencial del agua para producir un movimiento de rotación, que transferido mediante un eje al generador produce energía eléctrica.

En cuanto al modo de funcionamiento, las turbinas hidráulicas se pueden clasificar en dos grupos:

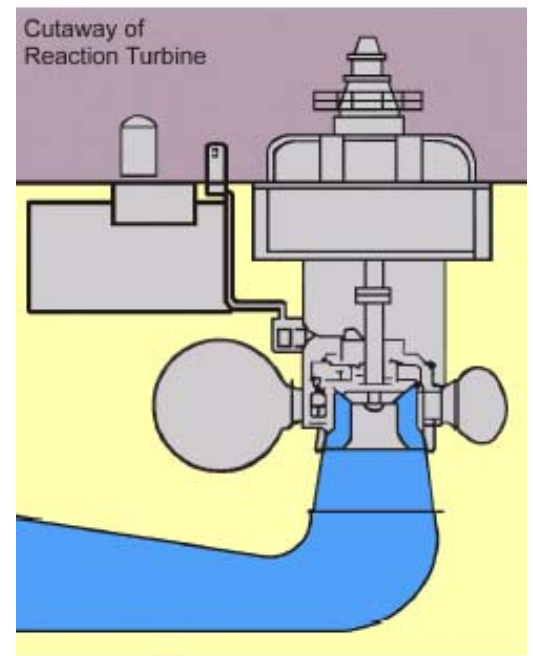
- Turbinas de acción.
- Turbinas de reacción.

La diferencia entre ambos tipos es que las turbinas de acción aprovechan únicamente la velocidad de flujo de agua para hacerlas girar, mientras que las de reacción aprovechan, además, la presión que le resta a la corriente en el momento de contacto. Es decir, mientras que las turbinas de reacción aprovechan la altura total disponible hasta el nivel de desagüe, las de acción aprovechan únicamente la altura hasta el eje de turbina.

El tipo de turbina de acción más conocido es la Pelton, pero existen otros tipos como pueden ser la Turgo con inyección lateral y la turbina de doble impulsión o flujo cruzado, también conocida por turbina Ossberger o Banki-Michell. Dentro de las turbinas de reacción, las más conocidas son la Francis y la Kaplan.



Esquema de instalación con turbina de acción



Esquema de instalación con turbina de reacción

Turbina Pelton.

Es la turbina de acción más utilizada. Consta de un disco circular, o rodete, que tiene montados en su periferia una especie de cucharas de doble cuenco o álabes..

El chorro de agua, dirigido y regulado por uno o varios inyectores incide sobre estas cucharas provocando el movimiento de giro de la turbina.

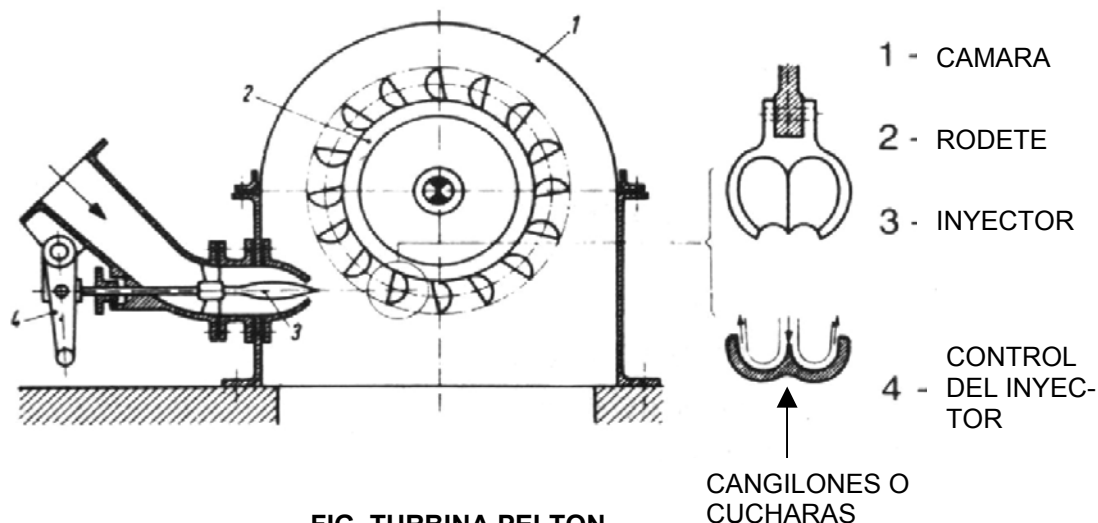


FIG. TURBINA PELTON.

La potencia se regula a través de los inyectores que aumentan o disminuyen el caudal de agua.

En las paradas de emergencia se utilizará un deflector de chorro, que lo dirige directamente hacia el desagüe, evitando así el embalamiento de la máquina. De esta forma se puede realizar un cierre lento de los inyectores sin provocar golpes de presión en la tubería forzada.

Este tipo de turbina, se emplea en aprovechamientos hidroeléctricos de salto elevado y pequeño caudal.

Turbina de Flujo Cruzado.

Este tipo de turbina de acción se conoce también como de doble impulsión, Ossberger o Banki-Michell. Está constituida principalmente por un inyector de sección rectangular provisto de un álabe longitudinal que regula y orienta el caudal que entra en la turbina, y un rodete de forma cilíndrica, con sus múltiples palas dispuestas como generatrices y soldadas por los extremos a discos terminales.

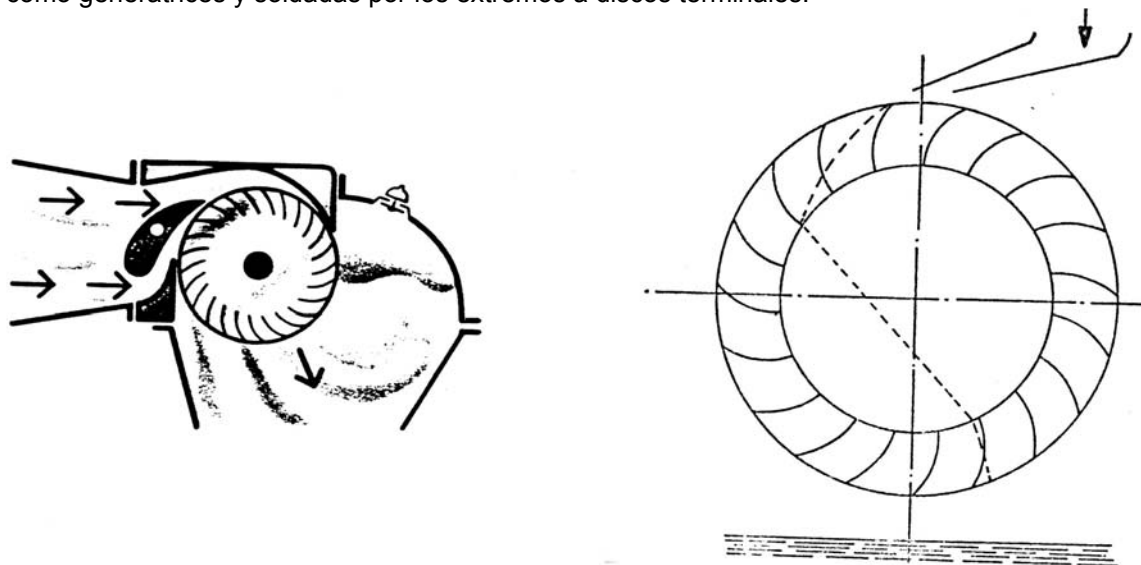


FIG. TURBINA DE FLUJO CRUZADO.

El caudal que entra en la turbina es orientado por el álabe del inyector, hacia las palas del rodete, produciendo un primer impulso. Posteriormente, atraviesa el interior del rodete y proporciona un segundo impulso y cae por el tubo de aspiración.

Estas turbinas tienen un campo de aplicación muy amplio, pudiendo instalarse en aprovechamientos con saltos comprendidos entre 1 y 200 metros y con un rango de variación de caudales muy grande. La potencia unitaria que se puede instalar está limitada aproximadamente a 1 MW.

Turbina Turgo

Es una turbina de impulso similar a la Peltón. Con la diferencia de que el chorro es diseñado para incidir sobre el plano del rodete con ángulo (generalmente de 20°). En esta turbina, el agua entra por un lado del rodete y sale por el otro costado. Como consecuencia el flujo que la turbina Turgo puede aceptar es mayor que el de una turbina Pelton por lo que estas turbinas pueden tener un diámetro de rodete menor que el de una Pelton para una potencia equivalente. A diferencia de la Pelton la Turgo es eficiente en un amplio rango de velocidades y no necesita sellos alrededor del eje.

La Turbina Turgo es utilizada para presiones medias y altas para caídas entre 20-300m cuando se presentan grandes variaciones del caudal y muchas materias en suspensión del agua a turbinar. Puede ser instalada en los proyectos donde normalmente se utilizarían Turbinas Pelton con múltiples chorros o Turbinas Francis de baja velocidad.

La Turgo tiene ciertas desventajas, primeramente es más difícil de fabricar que una Pelton ya que los álabes son complejos en su forma y más frágiles que los cangilones de la Pelton. En segundo lugar las turbinas Turgo producen una significativa carga axial la cual debe ser soportada con los cojinetes adecuados.

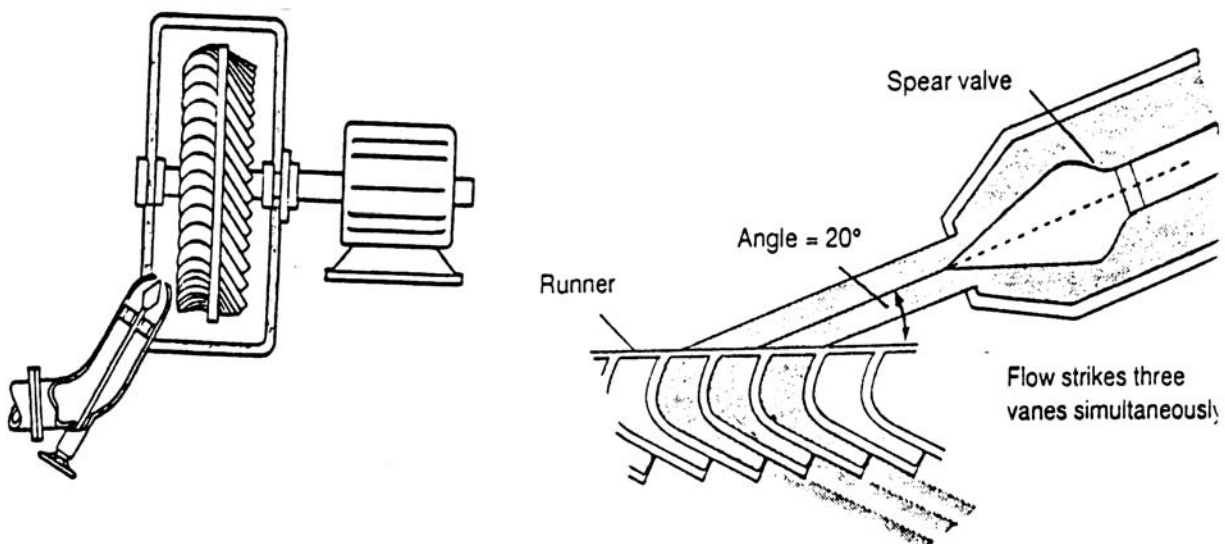


FIG. TURBINA TURGO.

Turbina Francis.

Pertenece al grupo de las turbinas de reacción, es decir que el flujo se produce dentro de una cámara cerrada bajo presión. La Francis se caracteriza por que recibe el flujo de agua en dirección radial, orientándolo hacia la salida en dirección axial; por lo que se considera como una turbina de flujo radial.

Este tipo de turbina está compuesto por:

- Un distribuidor que contiene una serie de álabes fijos o móviles que orientan el agua hacia el rodete.
- Un rodete formado por una corona de paletas fijas, torsionadas de forma, que reciben el agua en dirección radial y lo orientan axialmente.
- Una cámara de entrada, que puede ser abierta, o cerrada de forma espiral para dar una componente radial al flujo de agua.

Un tubo de aspiración o de salida de agua, que puede ser recto o acodado, y se encarga de mantener la diferencia de presiones necesaria para el buen funcionamiento de la turbina.

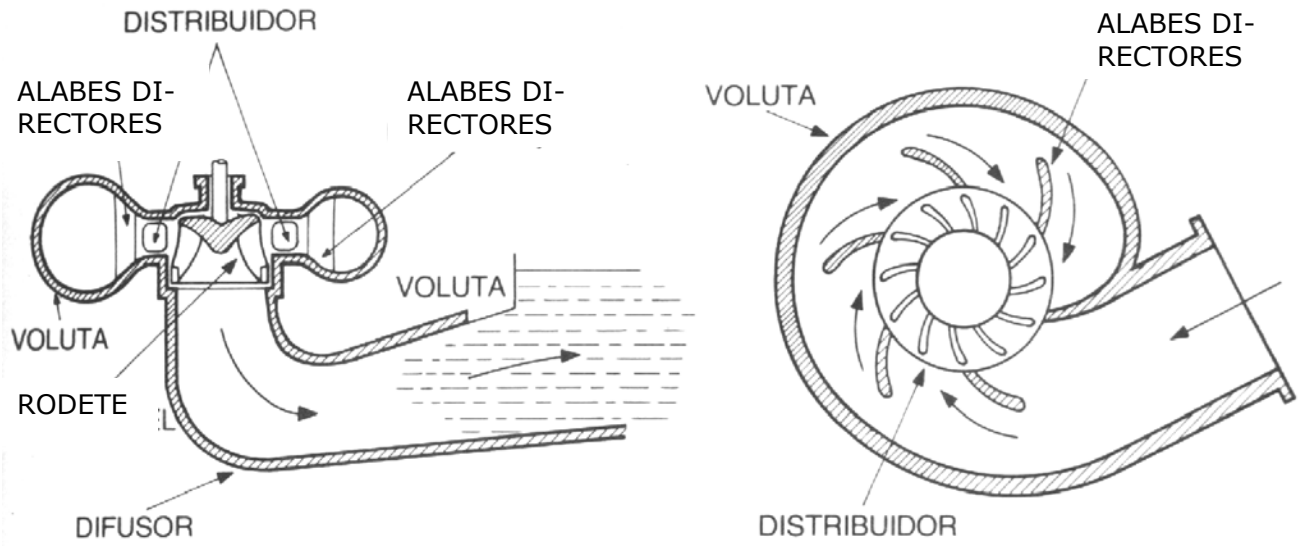


FIG. TURBINA FRANCIS

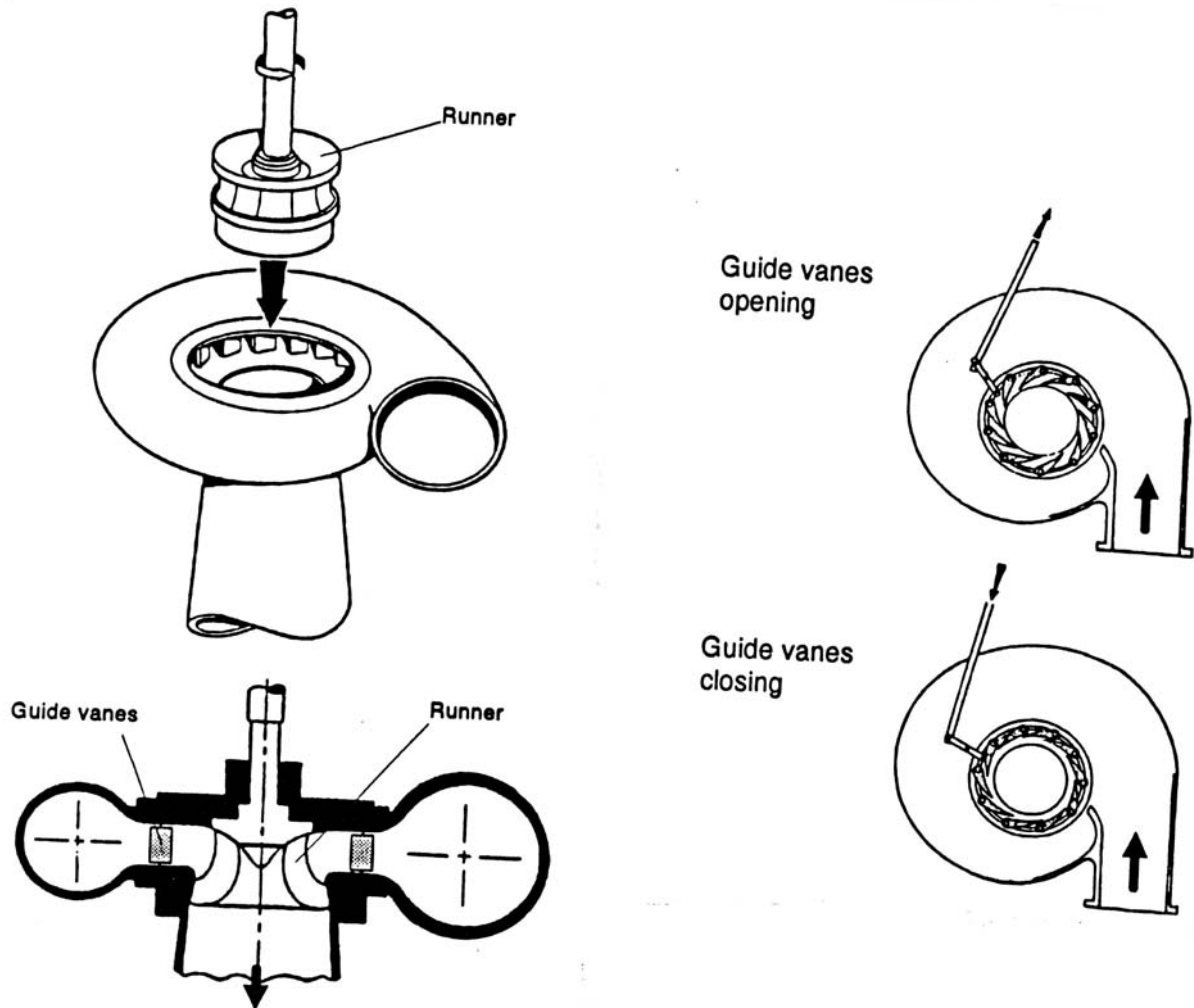


FIG. TURBINA FRANCIS Y SUS ELEMENTOS

Turbinas Hélice, Semikaplan y Kaplan, bulbo y tubulares

Una instalación con turbina hélice, se compone básicamente de una cámara de entrada que puede ser abierta o cerrada, un distribuidor fijo, un rodete con 4 ó 5 palas fijas en forma de hélice de barco y un tubo de aspiración. También hay otra variante de la hélice consistente en una turbina con distribuidor regulable y rodete de palas fijas.

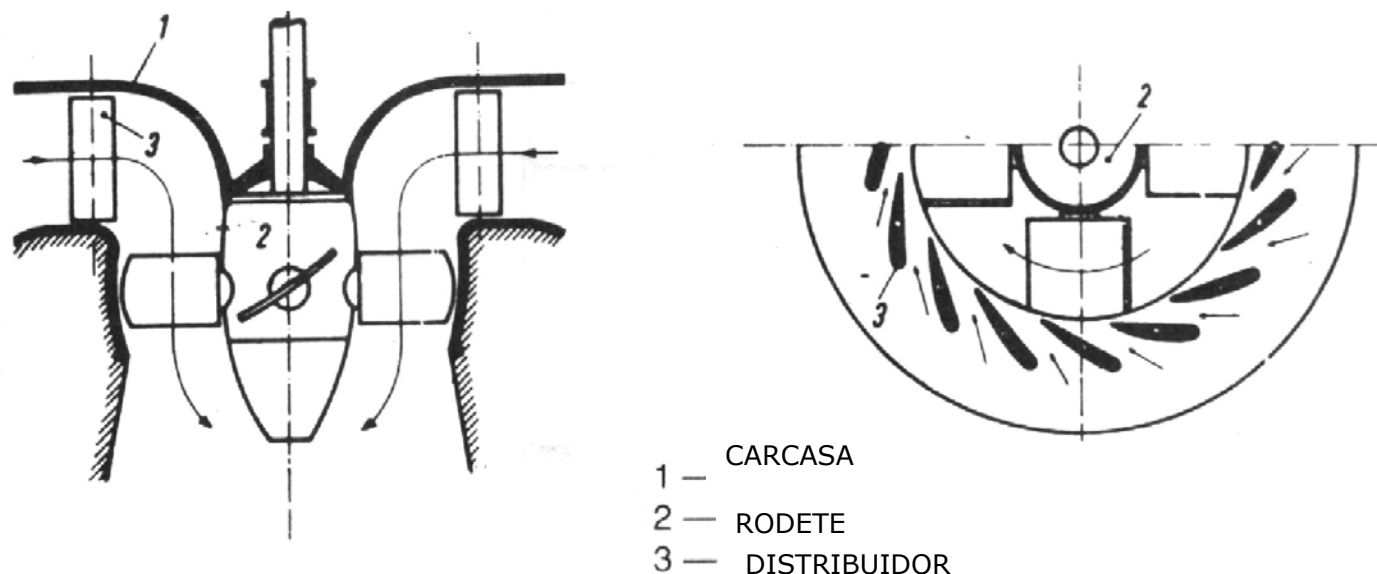


FIG. ELEMENTOS DE LA TURBINA KAPLAN.

Las turbinas Semikaplan y Kaplan, son variantes de la hélice con diferentes grados de regulación. Tanto la Kaplan como la Semikaplan poseen el rodete con palas ajustables que les proporciona posibilidad de funcionamiento en un rango mayor de caudales. La turbina Kaplan, además, tiene un distribuidor regulable, lo que le da un mayor rango de funcionamiento con mejores rendimientos, a costa de una mayor complejidad y costos más elevados.

El mecanismo de orientación de los álabes del rodete y el distribuidor, es controlado por el regulador de la turbina.

La utilización de un tipo u otro de turbina en un determinado aprovechamiento está condicionada por aspectos técnico-económicos:

- En una central de tipo fluyente, caracterizada por tener un salto prácticamente constante, y un caudal muy variable, es aconsejable la utilización de una turbina Kaplan o Semikaplan.
- En una central con regulación propia, que funciona con caudal casi constante entre unos niveles máximo y mínimo de embalse, se puede emplear una turbina Hélice o Hélice con distribuidor regulable a fin de disminuir la inversión.

En cada caso particular, será necesario evaluar el incremento de producción que se obtiene al instalar una turbina Kaplan y decidir si este incremento justifica o no la mayor inversión necesaria respecto a instalar una turbina Semikaplan o Hélice.

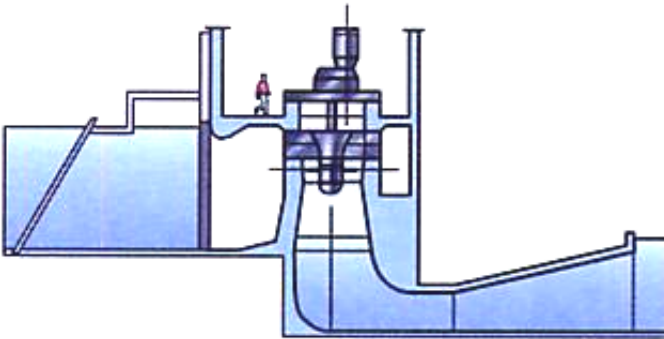
La instalación de este tipo de turbina es con eje vertical, en cámara abierta o cerrada, pero puede darse la necesidad de otro tipo de instalaciones con eje horizontal o ligeramente inclinado. Entre estos tipos están las turbinas tubulares y de bulbo.

Las Turbinas tubulares se denominan comúnmente en **S**. Su implantación puede ser de eje horizontal, inclinado o vertical y tiene un rendimiento ligeramente mayor a las Kaplan en cámara (entre el 1% o 2%).

Las turbinas bulbo llevan el generador inmerso en la conducción, protegido por una carcasa impermeable. El rendimiento es aproximadamente un 1% superior al de la turbina tubular, y, aunque la obra civil necesaria se reduce, la complejidad de los equipos es superior y dificulta su mantenimiento.

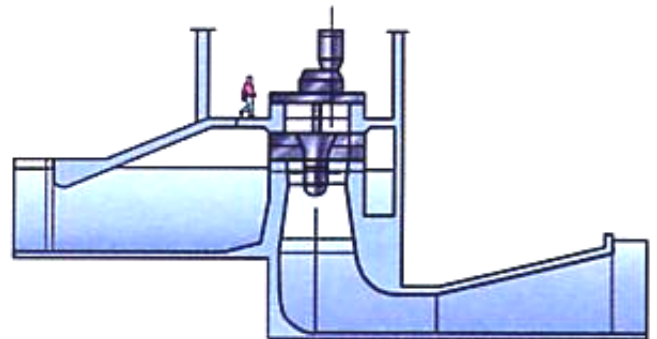
Kaplan

Eje vertical, cámara espiral

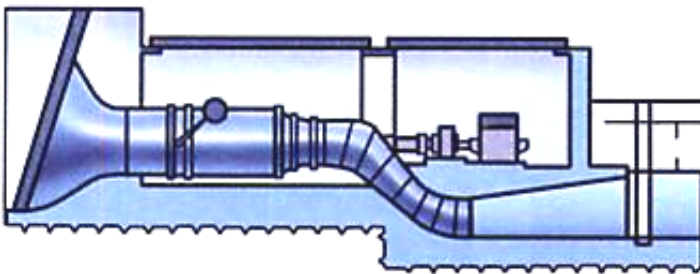


kaplan

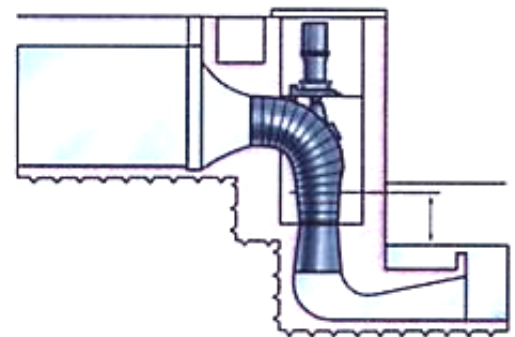
Eje vertical, cámara en sifón



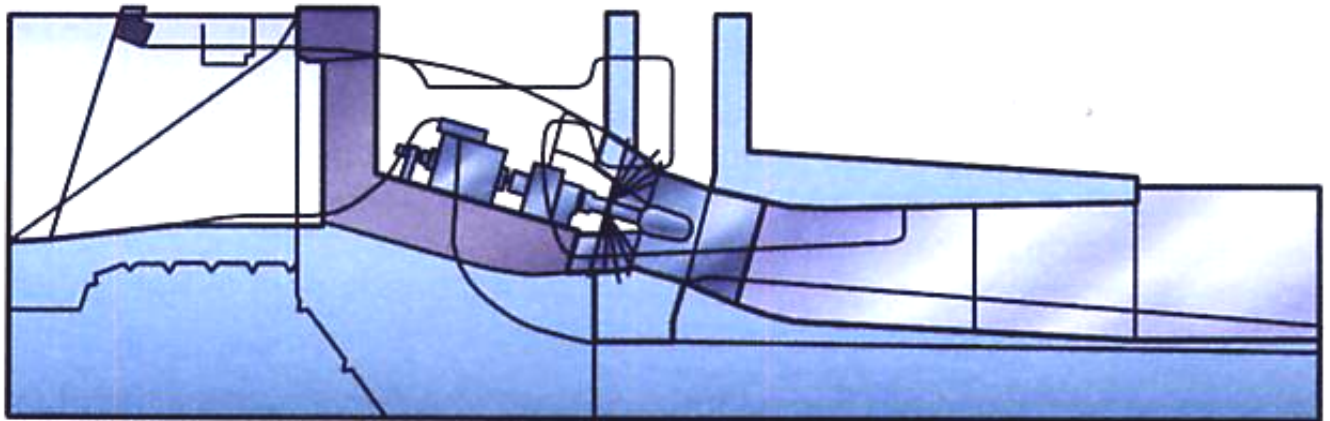
Tubular eje horizontal



Tubular eje vertical



Tipo Bulbo, eje inclinado



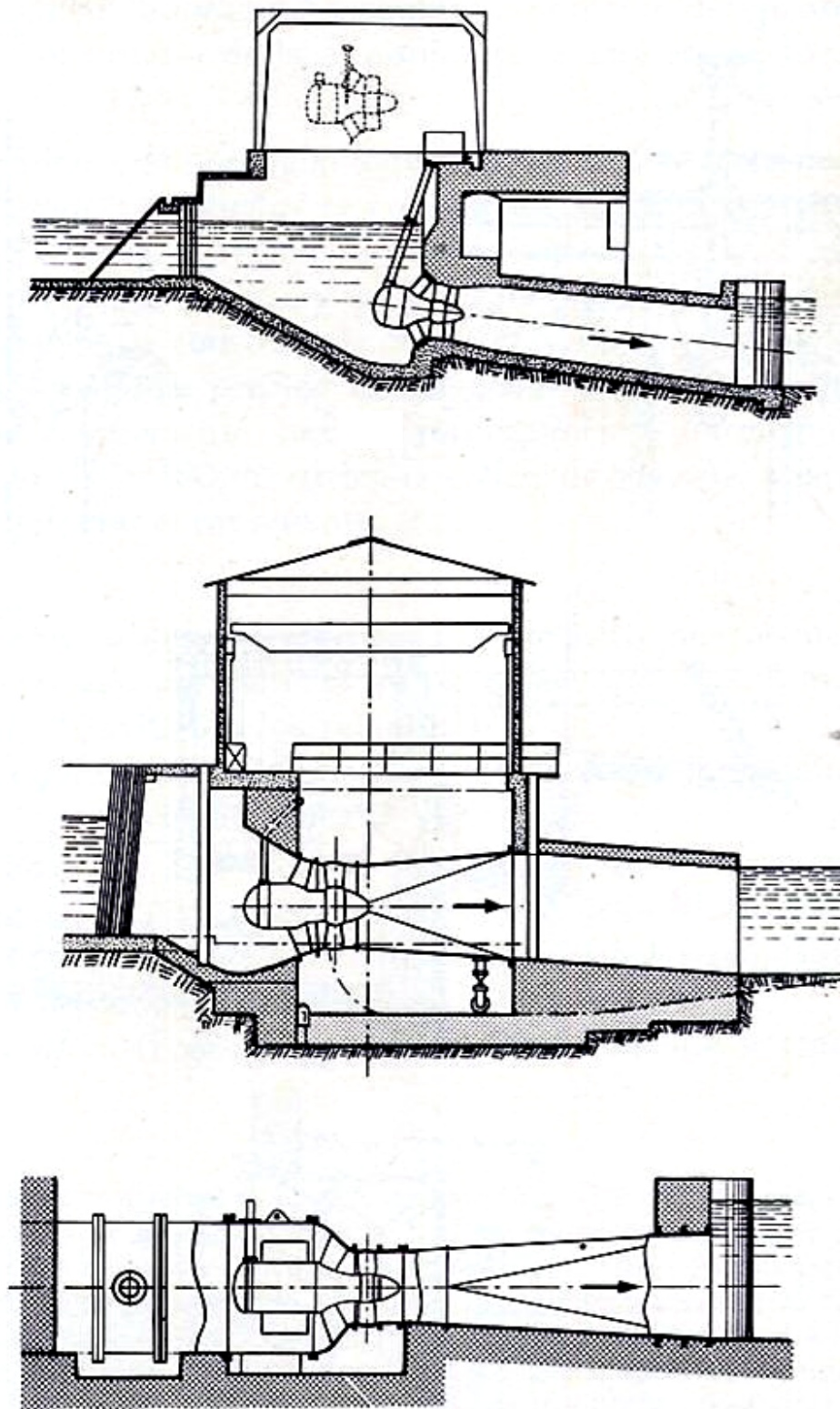
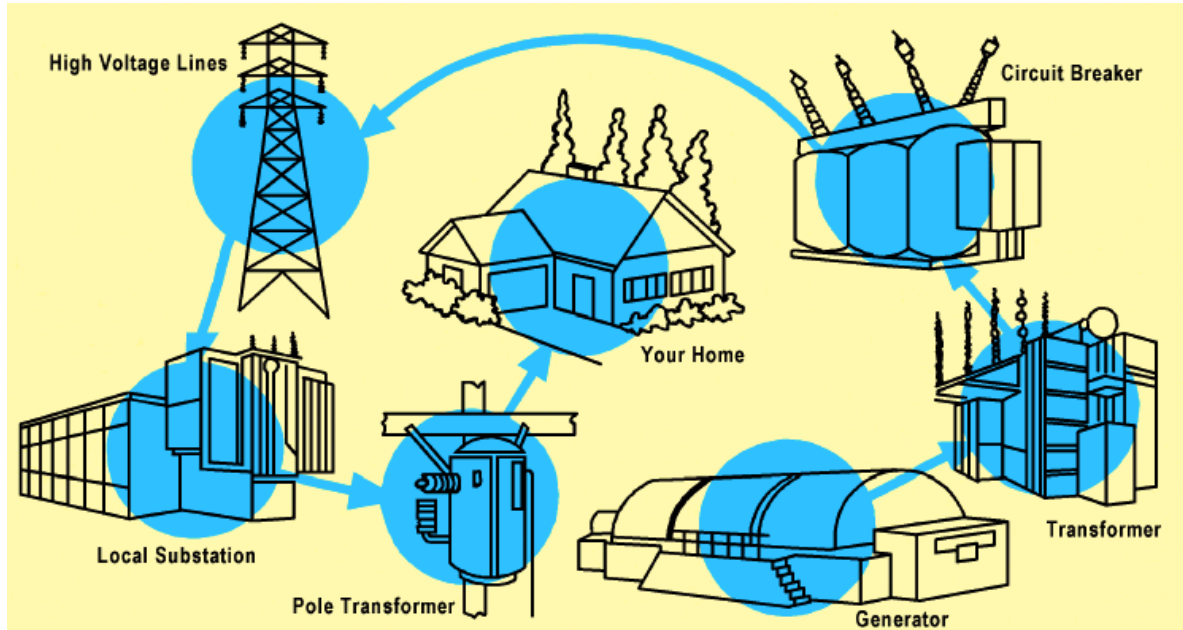


FIG. DIVERSAS INSTALACIONES DE TURBINAS BULBO

Generadores.

La energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas se produce en los aparatos llamados **generadores** o **alternadores**. El alternador, o grupo de alternadores acoplados al eje de la turbina que gira por la acción del agua genera una corriente alterna de alta intensidad y baja tensión, esta corriente posteriormente pasa a un transformador que la convierte en alta tensión y baja corriente, apta para su transporte a grande distancias con un mínimo de pérdidas. Más tarde, en los centros de consumo, un nuevo transformador la transforma en una corriente de baja tensión para su aplicación directa a los receptores domésticos e industriales.



Solidario con el eje de la turbina y del alternador, gira un generador de corriente continua llamado excitatriz, que se utiliza para excitar magnéticamente los polos del estator del generador, creando un campo magnético que posibilita la generación de corriente alterna en el rotor.

El generador es una máquina, basada en la inducción electromagnética, que se encarga de transformar la energía mecánica de rotación, que proporciona la turbina, en energía eléctrica.

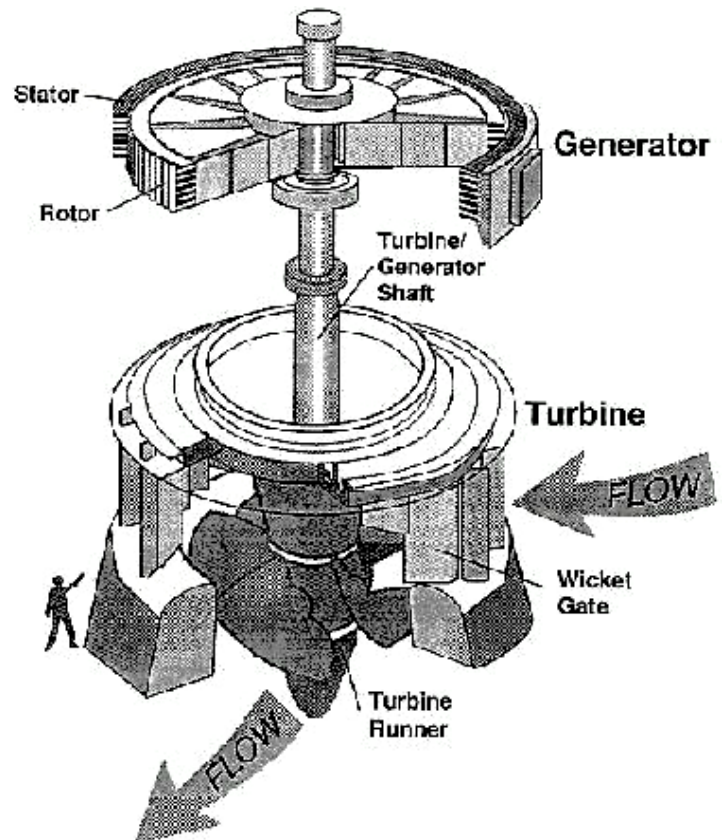
El principio de funcionamiento está basado en la ley de Faraday. Cuando un conductor eléctrico se mueve en un campo magnético, se produce una corriente eléctrica a través de él.

El generador (o alternador) está compuesto por dos partes fundamentales:

- El rotor (o inductor móvil), que se encarga de generar un campo magnético variable al girar arrastrado por la turbina.
- El estátor (o inducido fijo), sobre el que se genera la corriente eléctrica aprovechable.

En centrales menores de 1000 KW la tensión de trabajo del generador es de 380 o 500 voltios, y para potencias más elevadas la generación se produce en media tensión (3000, 5000 o 6000 voltios).

El generador puede ser de dos tipos: Síncrono o asíncrono.



Generador Síncrono.

En este tipo de generadores, la conversión de energía mecánica en eléctrica se produce a una velocidad constante llamada velocidad de sincronismo, que viene dada por la expresión:

$$N_s = \frac{60}{P} f$$

Donde:

N_s = Velocidad de sincronismo expresada en r.p.m.

f = Frecuencia, en Hz (60 Hz en El Salvador.)

p = Número de pares de polos del generador.

El campo magnético es creado por las bobinas arrolladas en los polos del rotor, para lo cual, por dichas bobinas debe circular una corriente eléctrica continua. Para producir esta corriente continua, pueden emplearse diferentes sistemas de excitación:

Autoexcitación estática. La corriente proviene de la propia energía eléctrica generada, previamente transformada de alterna en continua.

Excitación con diodos giratorios. Se crea una corriente alterna invertida, con polos en el estator y se rectifica por un sistema de diodos, situado en el eje común.

Excitación auxiliar. La corriente necesaria se genera mediante una dinamo auxiliar regulada por un reostato.

Generador Asíncrono.

Dada la simplicidad, robustez y bajo costo de los clásicos motores eléctricos, éstos han comenzado a usarse como generadores eléctricos. Para ello es necesario que el par mecánico comunicado al rotor produzca una velocidad de giro superior a la de sincronismo. Este exceso de velocidad produce un campo giratorio excitador. Interesa que la diferencia sea pequeña para reducir las pérdidas en el cobre del rotor.

Es necesaria la colocación de una batería de condensadores que compense la energía reactiva generada.

La corriente para la creación del campo magnético se toma de la red, a la que se debe estar conectado.

El empleo de este tipo de generadores no precisa regulador de velocidad en la turbina. Para arrancar el grupo se abre el distribuidor de la turbina hasta que se llega a una velocidad próxima a la de sincronismo y en este momento se conecta a la red por medio de un interruptor automático.

Equipo eléctrico general.

En una central hidroeléctrica, es necesario un equipamiento eléctrico que tiene por objeto la transformación de tensión, la medición de los diferentes parámetros de la corriente eléctrica en la central, la conexión a la línea de salida y la distribución de la energía.

Un elemento fundamental lo constituye el transformador de tensión. Dependiendo de la tensión de trabajo del generador, la transformación puede ser baja/media o media/alta tensión.

El objetivo es elevar la tensión al nivel de la línea existente para hacer posible un transporte sin pérdidas excesivas.

El transformador debe estar refrigerado, esta operación puede hacerse por convección natural o bien por circuito cerrado de aceite o silicona. Es habitual instalarlo en el interior del edificio de la central, aunque en ocasiones, por reducir la obra civil, los transformadores grandes se instalan a la intemperie.

Entre los equipos eléctricos necesarios se encuentran:

- Los disyuntores y seccionadores, utilizados para la conexión y desconexión a la red.
- Transformadores de medida, tanto de tensión como de intensidad, que proporcionan los valores instantáneos de estas magnitudes en diversas partes de la instalación.
- Transformadores de equipos auxiliares, que suministran la tensión adecuada para el buen funcionamiento de estos equipos.
- Pararrayos o autoválvulas, que actúan como descargadores a tierra de las sobreintensidades producidas.

En general, estos equipos se disponen en cuadros eléctricos situados en el interior del edificio de la central.

Otro punto a tener en cuenta es la línea eléctrica necesaria para transportar la energía producida hasta los centros de consumo o hasta la red de distribución. El costo de la línea puede superar los dos millones de pesetas por kilómetro, lo que puede influir en la viabilidad económica del proyecto, dependiendo de su longitud.

Las características de la red que es necesario conocer son: la frecuencia y la tensión. La primera es un dato de partida conocido (60 Hz), y la segunda puede oscilar desde 3 a 66 kilovoltios. La tensión nominal de la red existente tiene gran importancia ya que implica una transformación al mismo nivel, lo que puede suponer un

elevado costo si se tuviera condicionado a conectar a una línea de alta tensión.

Elementos de regulación, control y protección.

En todo aprovechamiento hidroeléctrico, es necesario la instalación de diversos mecanismos que regulen y controlen el buen funcionamiento de la central, así como dispositivos de protección, tanto de la central como de la línea, ante los posibles fallos que puedan producirse.

Reguladores automáticos de las turbinas

Cuando se produce una variación de carga en la turbina, se decir, cuando se modifica el par resistente que actúa sobre la misma, según se trate de aumento o disminución de dicho par, la turbina reducirá o aumentará el número de revoluciones con que estuviese en funcionamiento antes de producirse la variación de carga. Es necesario por consiguiente, adaptar el par motor al resistente, y esto se lleva a cabo regulando convenientemente la entrada de agua, para que aumentando o disminuyendo el caudal (puesto que la altura del salto no se habrá modificado), se disponga en cada momento de la potencia requerida y con ello se obtendrá, salvo ligera variación, el número de revoluciones de funcionamiento normal de la turbina. En una palabra, la misión del regulador automático consiste en conseguir el equilibrio, en todo momento, de los trabajos motor y resistente para mantener sensiblemente igual y con todas las cargas el número de revoluciones de la turbina que conviene a su funcionamiento.

En las centrales pequeñas y en servicios poco importantes, es posible efectuar esta regulación manualmente; pero cuando se trata de instalaciones expuestas a variaciones de carga de consideración, se precisa recurrir a la regulación automática.

Se ha dicho y con plena razón, que el regulador es el alma de la turbina, y ciertamente el papel que aquel desempeña es de excepcional importancia.

Los principales bucles de control y sistemas de supervisión y mando en una central hidroeléctrica de pequeña potencia son:

Para control de la turbina:

- Regulador de velocidad, para centrales con grupos síncronos.
- Reguladores de nivel para centrales con grupos asíncronos conectados a la red.
- Regulador de potencia generada, para centrales en red instalada.
- Regulador de caudal turbinado.

Para control del generador:

- Regulador de tensión para grupos síncronos.
- Equipo de sincronización, en caso de grupos síncronos funcionando conectados a la red.
- Batería de condensadores y relé taquimétrico, en caso de grupos asíncronos funcionando conectados a la red.

Para control de la turbina y del generador:

La instrumentalización necesaria para realizar este cometido, depende del tipo de generador utilizado, y del funcionamiento previsto. Se pueden considerar los siguientes casos:

1. Central con generador síncrono funcionando conectado a la red.

El control de la turbina no necesita un regulador de velocidad, puesto que la frecuencia está mantenida por la red, sin embargo es muy conveniente su instalación. El mando del distribuidor se realiza por medio de un servo-oleohidráulico, y las órdenes de apertura y cierre proceden del regulador de nivel.

El control del generador es un regulación del factor de potencia, ya que al estar conectado a la red, está fija la tensión, y la variación de la excitación modifica la potencia reactiva suministrada por el grupo.

El equipo automático de sincronización estará provisto de ajuste de velocidad y tensión del grupo, por medio de un relé de sincronismo.

2. Central con generador síncrono funcionando aislado.

El control de la turbina debe asegurar el mantenimiento de la frecuencia de la red en cualquier condición de carga, necesitando por tanto un sistema de regulación de velocidad y de potencia.

El control del generador, necesita un regulador de tensión que actúe sobre la excitación del alternador, a fin de mantener la tensión dentro de los límites admisibles.

3. Central con generador asíncrono funcionando conectada a la red.

El control de la turbina no necesita un regulador de velocidad, puesto que la frecuencia está mantenida por la red. El mando del distribuidor se realiza por medio de un servo-oleohidráulico, y las órdenes de apertura y cierre proceden del regulador de nivel.

El control del generador se consigue mediante una batería de condensadores estáticos controlados de forma continua por medio de tiristores.

Para la conexión del grupo a la red, deberá llevar un detector de velocidad que proporcione una señal cuando el grupo llegue a la velocidad de sincronismo, para ello se utiliza un relé taquimétrico que puede ser mecánico o eléctrico.

Las protecciones para las diferentes sistemas actúan cuando se produce un hecho anormal en el funcionamiento y pueden producir una alarma, la parada del algún grupo o la parada total de la central, dependiendo de cual sea el hecho acaecido.

Los principales hechos que pueden hacer actuar las protecciones, son los siguientes:

1. Protecciones mecánicas.

- Embalamiento de turbina y generador.
- Temperatura de eje y cojinetes.
- Nivel y circulación del fluido de refrigeración.
- Nivel mínimo hidráulico.
- Temperatura de aceite del multiplicador de velocidad.
- Desconexión de la bomba del aceite de regulación.

2. Protecciones eléctricas del generador y transformador.

- Intensidad máxima,
- Retorno de potencia (máxima admitida 5% de la nominal).
- Calentamiento del generador y/o del transformador.
- Derivación en el estator.
- Producción de gases en el transformador (Buchholz).
- Nivel de tensión (entre el 85 y el 100% de la tensión nominal).
- Nivel de frecuencia (entre 47.5 y 51 Hz.)

3. Protecciones de la línea de media tensión.

- Derivación de una fase a tierra.
- Cortocircuito o inversión de fases.
- Sobreintensidad.

Equipos auxiliares.

En una central hidroeléctrica, aparte de los equipos principales anteriormente descritos, deben existir una serie de equipos auxiliares necesarios para el correcto funcionamiento de las instalaciones.

El consumo eléctrico de estos equipos auxiliares oscila alrededor del 2% de la producción de la central.

Los equipos más comunes, que se pueden considerar como auxiliares dentro de la central, son:

- Ventilación.
- Alumbrado normal y de emergencia.
- Equipo de corriente continua empleado para alimentar las bobinas de desconexión del disyuntor y otras bobinas de relés y conectores.
- Bombas para el drenaje de posibles fugas o achique en caso de inundación.

- Batería de condensadores, en caso de que exista grupo asíncrono, para mejorar el factor de potencia.
- Puente grúa, aunque en algunos casos puede ser suficiente una grúa portátil durante el montaje y operaciones de mantenimiento.
- Red de tierra, para limitar la tensión con respecto al terreno.
- Limpiarejas.
- Protección contra incendios.
- Agua de refrigeración.

Automatización.

La automatización de una central tiene como objetivos: reducir los costos de operación y mantenimiento, aumentar la seguridad de los equipos y optimizar el aprovechamiento energético de la instalación.

El grado de automatización depende de varios factores, principalmente de: la ubicación de la central, el tipo de central, posibilidades de regulación, costo de personal y presupuesto.

Para una central ubicada cerca de un núcleo de población, con un acceso fácil y bajo costo de personal, una automatización mínima a base de relés convencionales sería suficiente; mientras que para una central aislada con un difícil acceso, altos costos de personal, se justificaría una instalación más completa para el sistema de automatización y telemando.

La automatización puede ser total, es decir, arranque, regulación y parada, o simplemente de parada y alarma, cuando actúa alguna de las protecciones de la central.

Hay diversos equipos mecánicos, como son limpiarejas y compuertas, cuyo funcionamiento también puede automatizarse.

La tecnología empleada puede ser convencional, es decir, mediante relés electromecánicos o estáticos o con técnicas informáticas basadas en microprocesadores con sus correspondientes programaciones que gestionarán todas las funciones de la central.

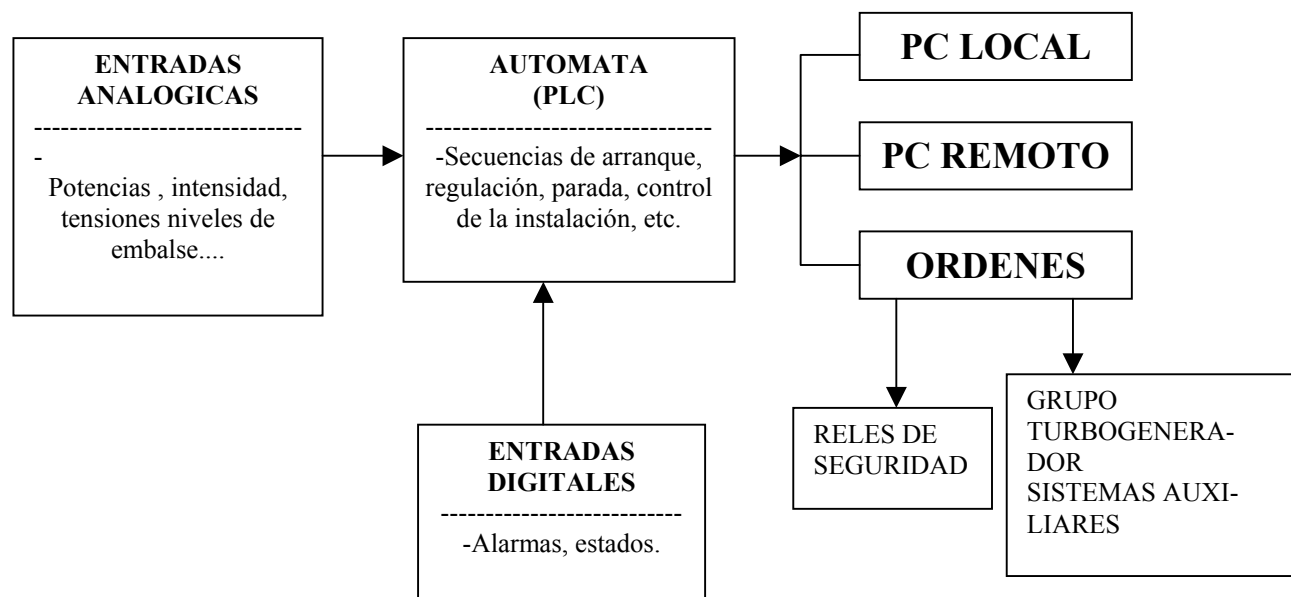


FIG. ESQUEMA GENERAL DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA PCH