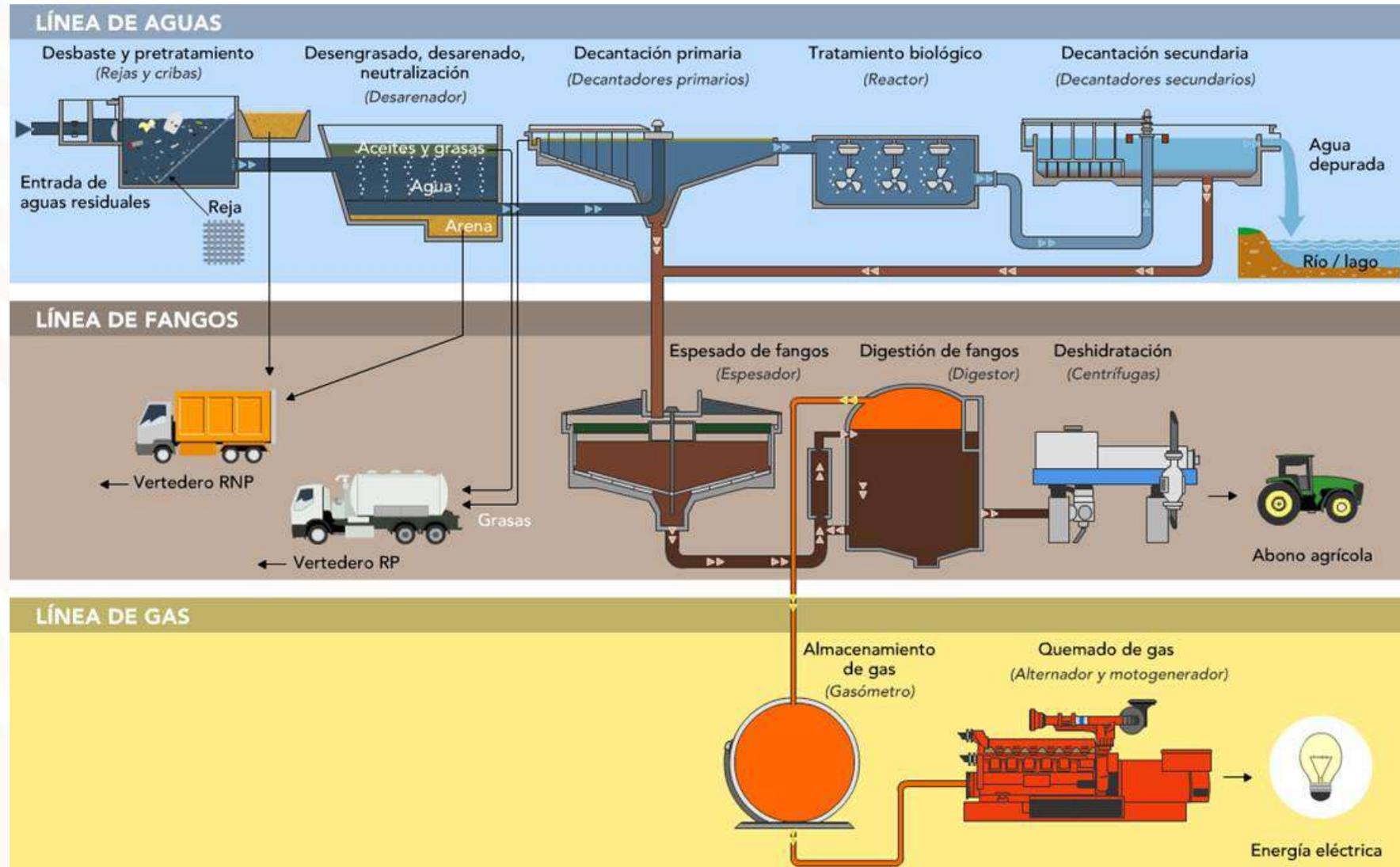


4. Biogás a partir de lodos residuales

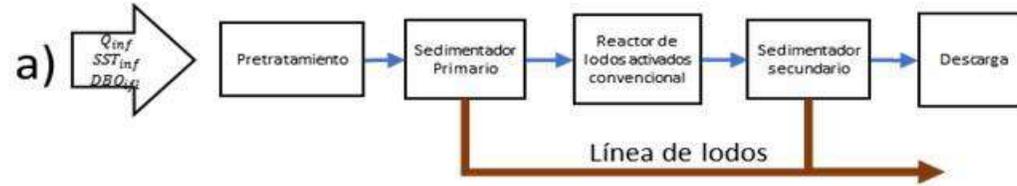
Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales

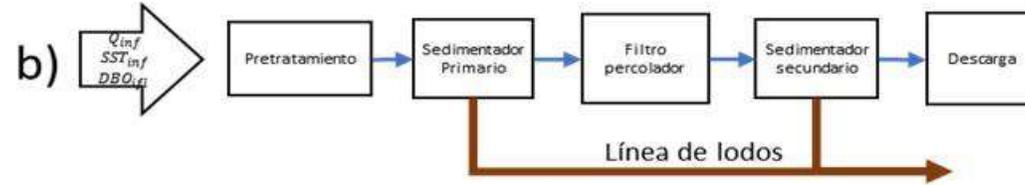


Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



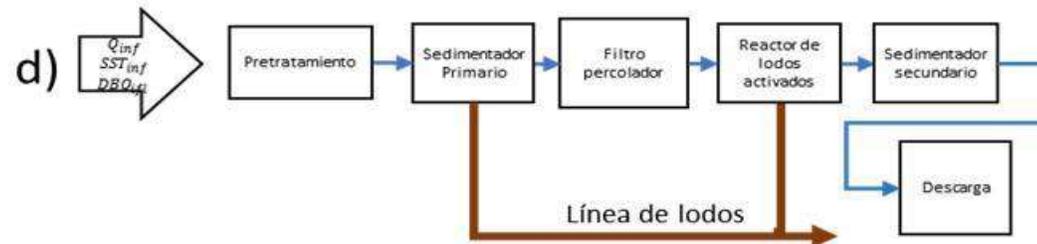
Convencional



Filtro Percolador



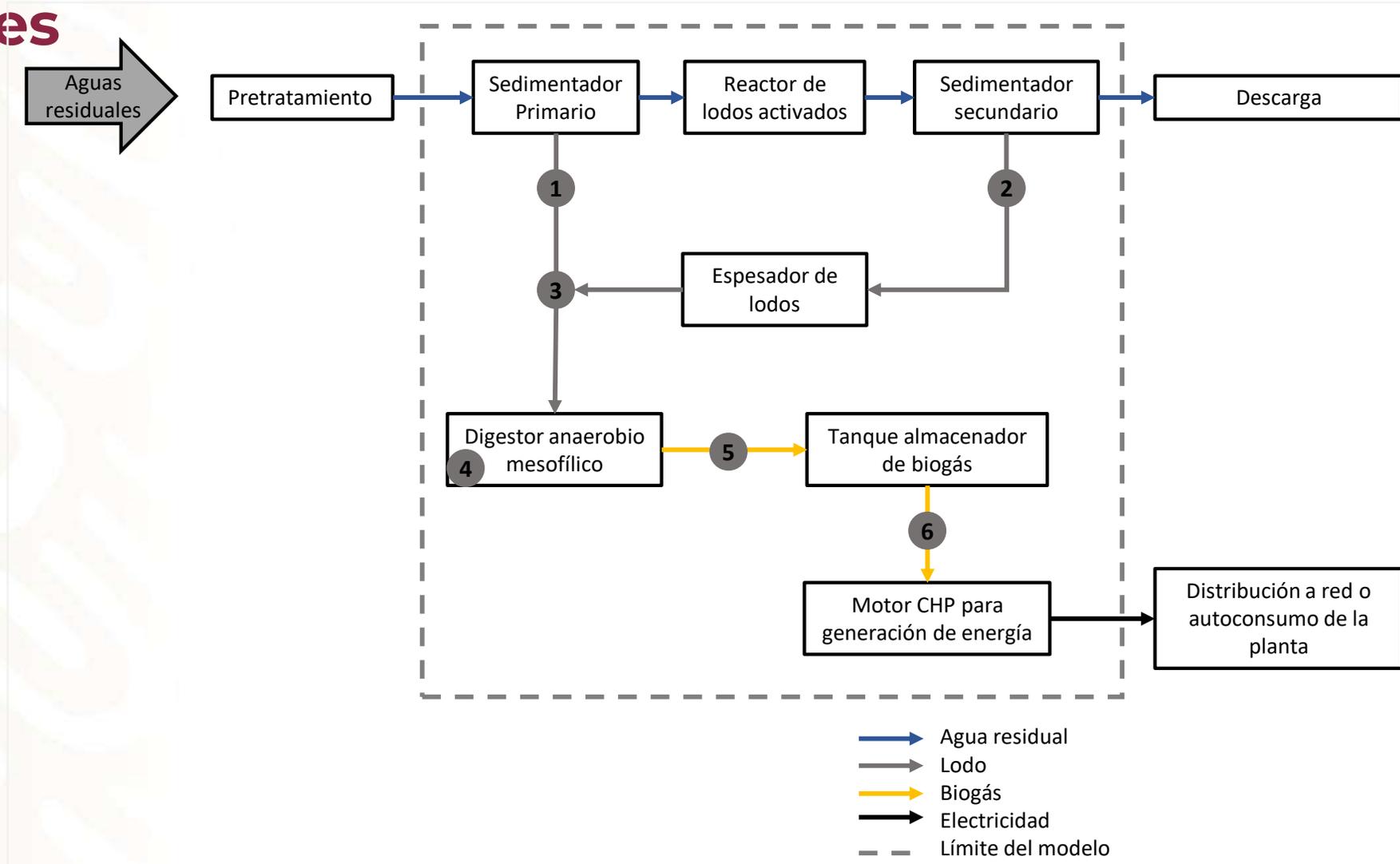
Aeración extendida
Zanja Oxidación



Dual

Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



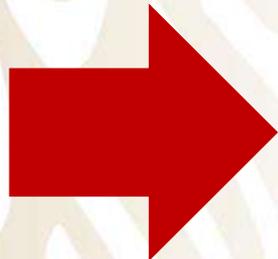
Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Producción de biogás:

- directamente relacionada con la remoción de materia orgánica biodegradable (DBO o DQO)
- directamente relacionada con la cantidad de sólidos volátiles destruidos o removidos, y comúnmente se expresa como m^3 de biogás/kg DQO removido o m^3 de biogás/kg SSV removidos.



Para que pueda emplearse como sustrato en la digestión anaerobia, el lodo residual debe presentar elevadas concentraciones de **materia orgánica biodegradable**.

Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Producción de biogás:

El consumo o destrucción de DQO en el reactor anaerobio se relaciona directamente con la producción de metano.

La DQO del metano es equivalente a la cantidad de oxígeno que requiere el metano para convertirse en CO_2 y H_2O

El CH_4 producido de DQO, en condiciones anaerobias a 35°C es:

= **0.35 litros de CH_4 /g DQO**

Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Valores típicos de producción de biogás en digestores de lodos

0.5 - 0.75 m³ CH₄/kg·SSV alimentados

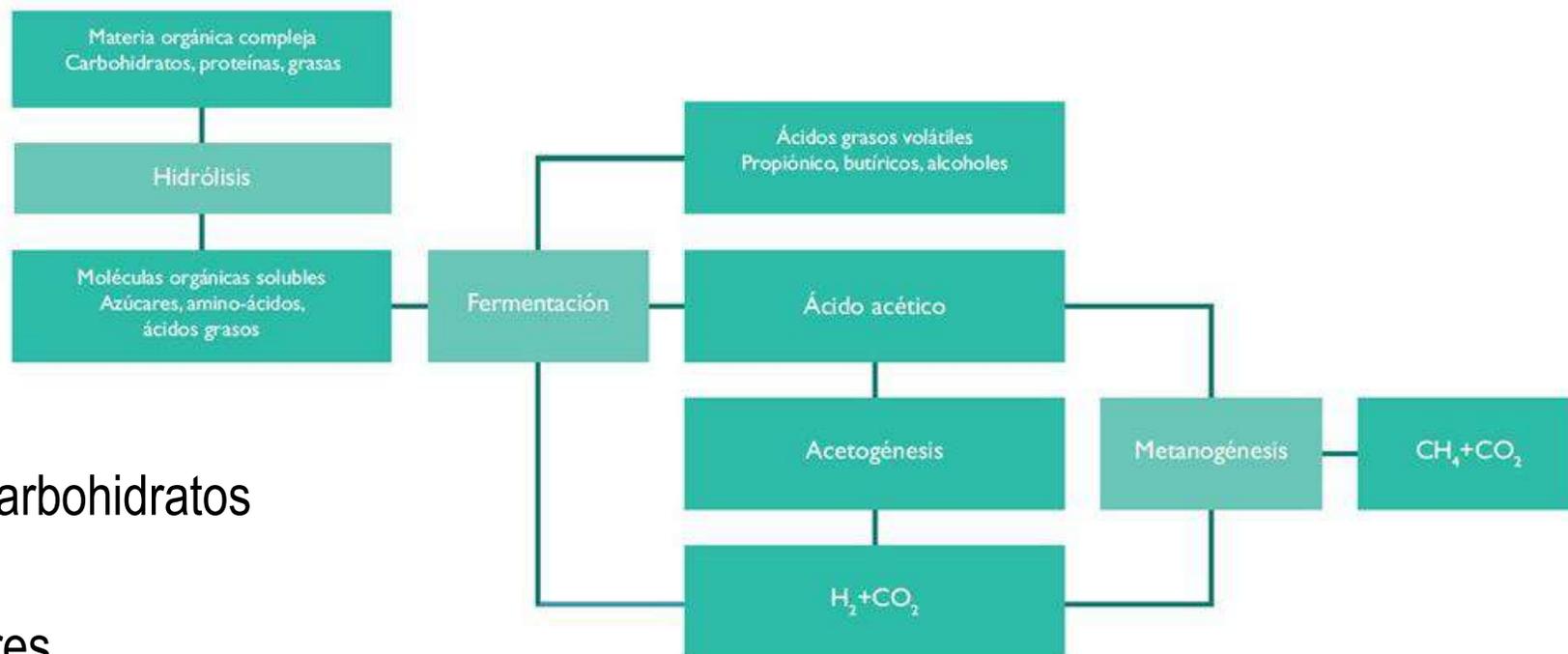
0.75 - 1.12 m³ CH₄/kg·SSV eliminados

Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Etapas de la digestión anaerobia



1. Hidrólisis de biopolímeros (proteínas, carbohidratos y lípidos).
2. Fermentación de aminoácidos y azúcares.
3. Oxidación β -anaerobia de ácidos grasos de cadena larga y alcoholes.
4. Oxidación anaerobia de productos intermedios (excepto acetato).
5. Conversión de acetato en metano.
6. Conversión de hidrógeno en metano.

Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Producción biogás

- Estabilización de lodos → degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular.
- La materia orgánica se convierte, principalmente, en **metano (CH₄)** y **dióxido de carbono (CO₂)**.
- El proceso se desarrolla en un reactor completamente cerrado (15 – 60 d)
- Bajo costo de operación
- Mayor costo de inversión
- Requiere de operadores especializados del proceso
- Gas producido: 65 - 70% de CH₄ y 25 - 30% de CO₂, en mucho menor cantidad N, H, H₂S y otros.
- Poder calórico gas de digestión $\approx 22\ 400\ \text{kJ/m}^3$

Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Uso del biogás

Mayores aplicaciones: **generación energía eléctrica y calor.**

Los gases de los digestores se utilizan para la generación de calor y fuerza, sinónimo de cogeneración.

El quemado de biogás puede utilizarse como combustible en motores que generan energía mecánica o eléctrica, calderas para generar vapor, para proporcionar iluminación, como gas de cocina y en otros usos

Su eficiencia depende del contenido de CH_4

- Para combustión en motores debe estar prácticamente puro: CO_2 ocuparía espacio de almacenamiento y energía para su compresión.
- H_2S causaría problemas de corrosión.

Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Almacenamiento del biogás:

Tanques de presión baja (campana flotante)

Tanques de presión media cilíndricos

Tanques a alta presión

Gas licuado

Conforme aumenta la presión de almacenamiento los requerimientos de pureza se incrementan

Fuentes Alternas de Energía

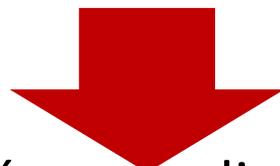
Biogás a partir de Lodos Residuales



Tratamiento del biogás

Compuestos que generalmente deben removerse del biogás :

- vapor de agua
- sulfuro de hidrógeno
- dióxido de carbono
- otros compuestos volátiles: halógenos, nitrógeno y mercaptanos



Lavado y secado del biogás para eliminar (disminuir) H_2S y CO_2

Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Tratamiento para mejorar la calidad del biogás

Principales etapas :

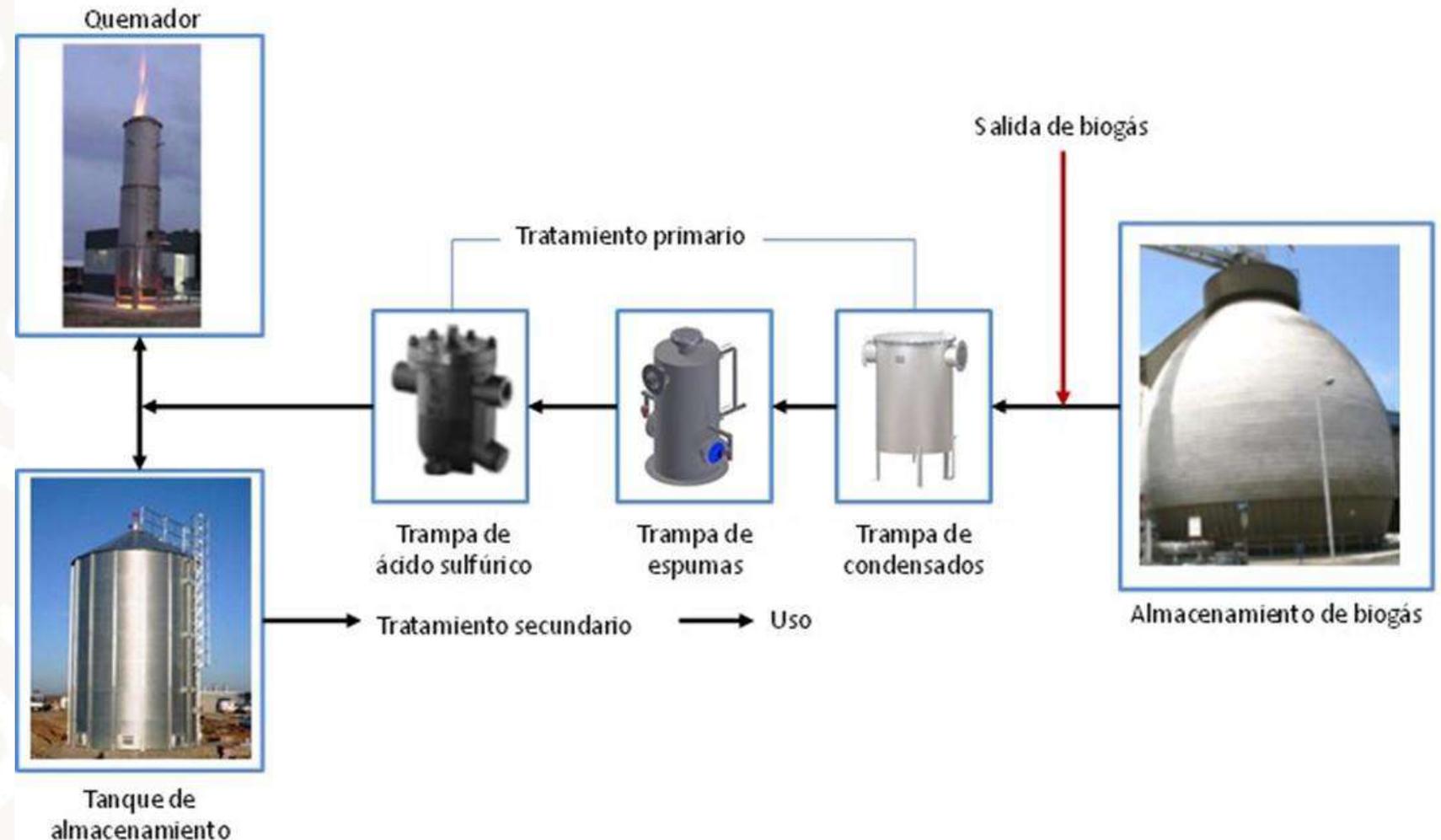
- Remoción gruesa del sulfuro de hidrógeno
- Remoción de concentraciones traza de sulfuro de hidrógeno
- Separación de dióxido de carbono y otros componentes del biogás
- Remoción de la humedad en el biogás, etapa que se realiza antes de la separación del dióxido de carbono, cuando la tecnología de remoción de CO₂ utiliza un proceso seco
- Remoción de siloxanos para evitar las incrustaciones de sílice

Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Tren de tratamiento de biogás



Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Tratamiento	Contaminantes	Tecnología utilizada
Primario 1a etapa de reducción de contaminantes (operaciones físicas)	Agua	Condensación Absorción en líquidos Adsorción física en sólidos Adsorción química en sólidos
	Remoción de espumas	Diferentes dispositivos separadores y rompedores de espuma
	Remoción de partículas	Filtración sobre arena o cerámica
Secundario Tratamientos físicos, químicos y biológicos	Separación parcial de sulfuro de hidrógeno	Absorción (lavado con agua, lavado caústico) Adsorción (Carbón activado, zeolitas) Físicos (Condensación)
	Eliminación de trazas de sulfuro de hidrógeno	Precipitación química (FeCl ₃ , otros) Oxidación química (O ₃ y KMnO ₄ , otros) Oxidación biológica (Biofiltración, biolavadores, biopercoladores)
	Remoción CO ₂	Absorción (modulación de presión) Absorción (Lavado con agua a presión, física y química) Permeación con membranas de baja o alta presión Criogénesis
	Remoción de siloxanos	Absorción con Selexol Adsorción con Carbón activado Enfriamiento
	Remoción de oxígeno, nitrógeno y compuestos orgánicos halogenados	Lavado con agua presurizada Lavado físico con solventes Absorción y adsorción química

Fuentes Alternas de Energía

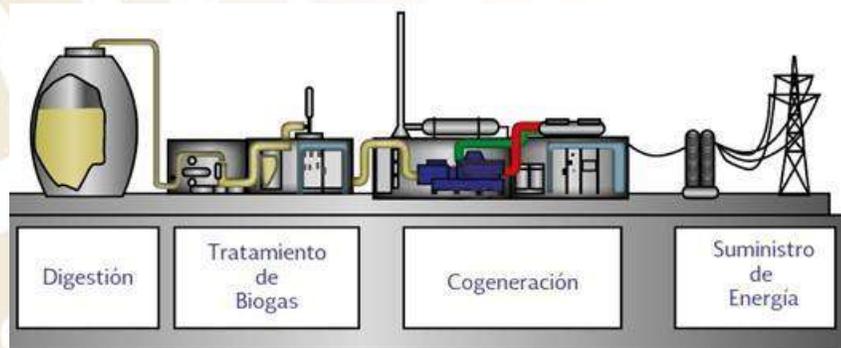
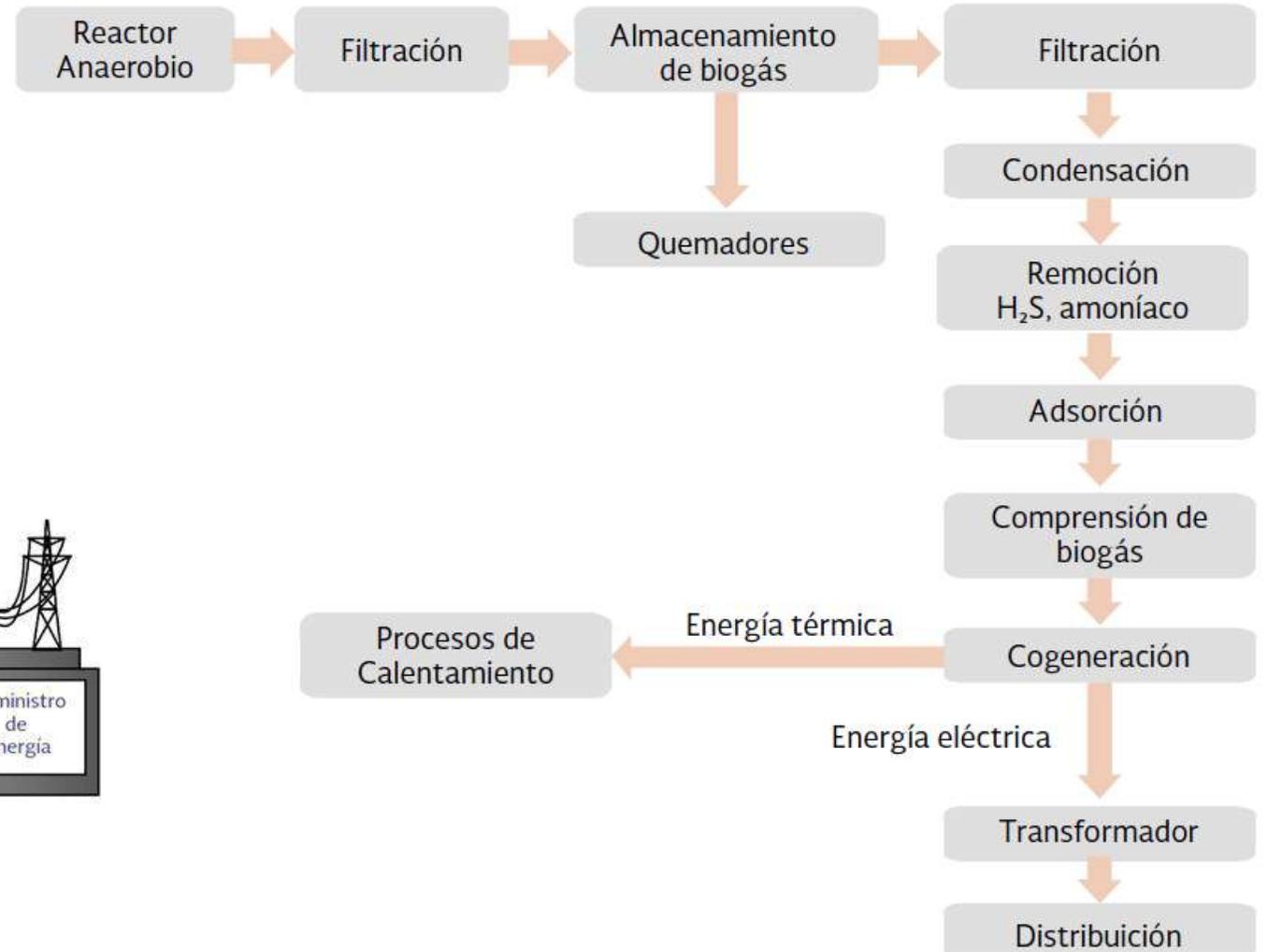
Biogás a partir de Lodos Residuales



Después de un tratamiento adecuado, el biogás se puede utilizar y transformar en energía térmica, eléctrica y mecánica por medio de un motogenerador a gas y/o una caldera; o utilizarse directamente como combustible o inyectarse a la red de gas natural.

Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Fuentes Alternas de Energía

Biogás a partir de Lodos Residuales



Formas de aprovechar el biogás

a) Generación de energía eléctrica

- Uso en la PTAR o para el alumbrado público. Entre los generadores de fuerza se encuentran las turbinas y microturbinas de gas, los motores diésel, y las turbinas de vapor.

b) Generación combinada de calor y fuerza (Cogeneración)

- Los sistemas de cogeneración son los más utilizados en las plantas de biogás. En estas unidades se produce corriente eléctrica y se desarrolla un porcentaje más o menos alto de calor, dependiendo de la fuerza del generador utilizado.
- La eficiencia total, es decir, la energía eléctrica y térmica en las máquinas de cogeneración modernas fluctúa entre el **80 y 85%**. Sin embargo, la eficiencia eléctrica es todavía baja (40%). De 1 m³ de biogás se producen solamente 2.4 kWh de corriente eléctrica

5. Centrales Microhidroeléctricas

Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Energía Hidráulica

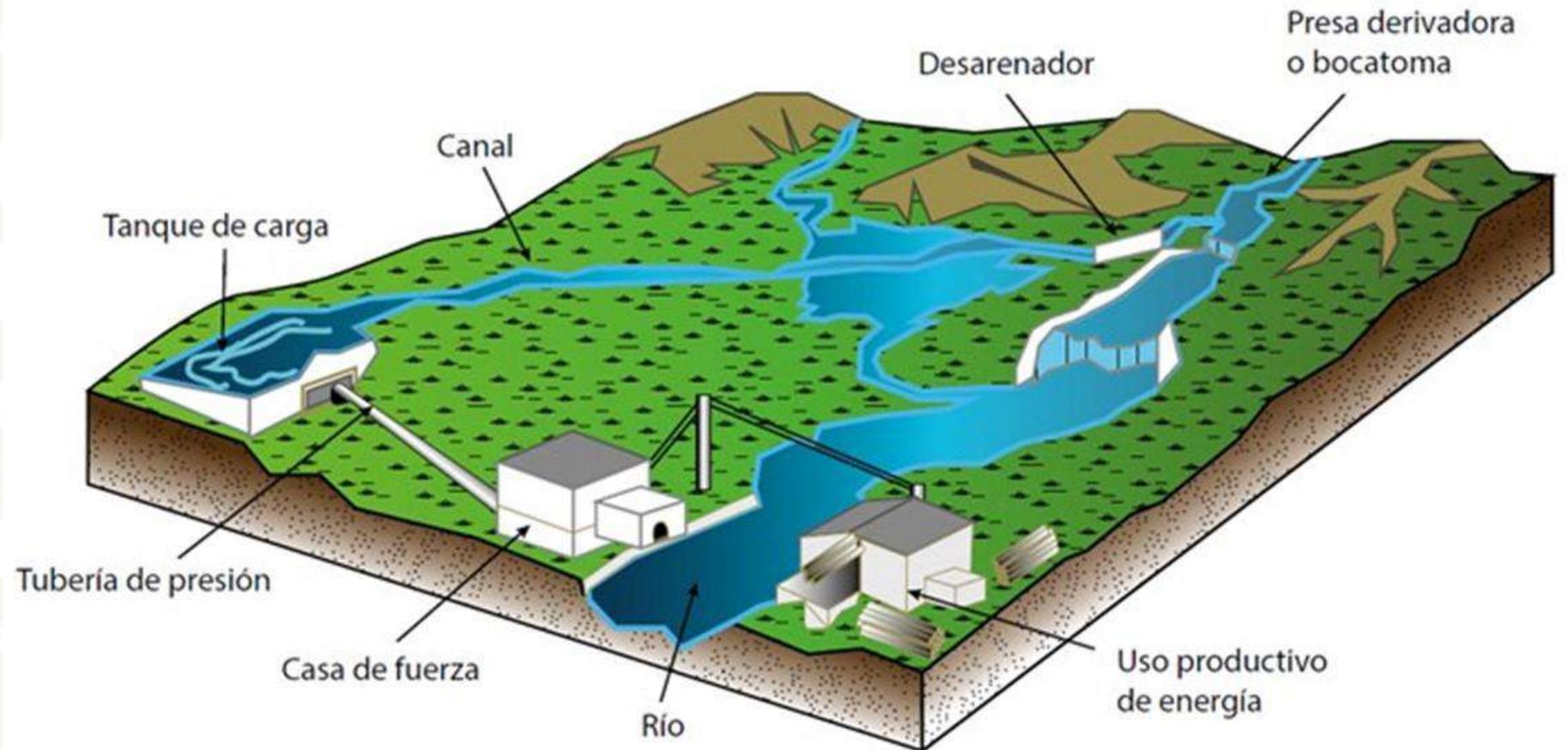
Se denomina energía hidráulica a aquella que se obtiene del aprovechamiento de las energías cinética y potencial de la corriente del agua o saltos de agua



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Aprovechamiento hidroeléctrico

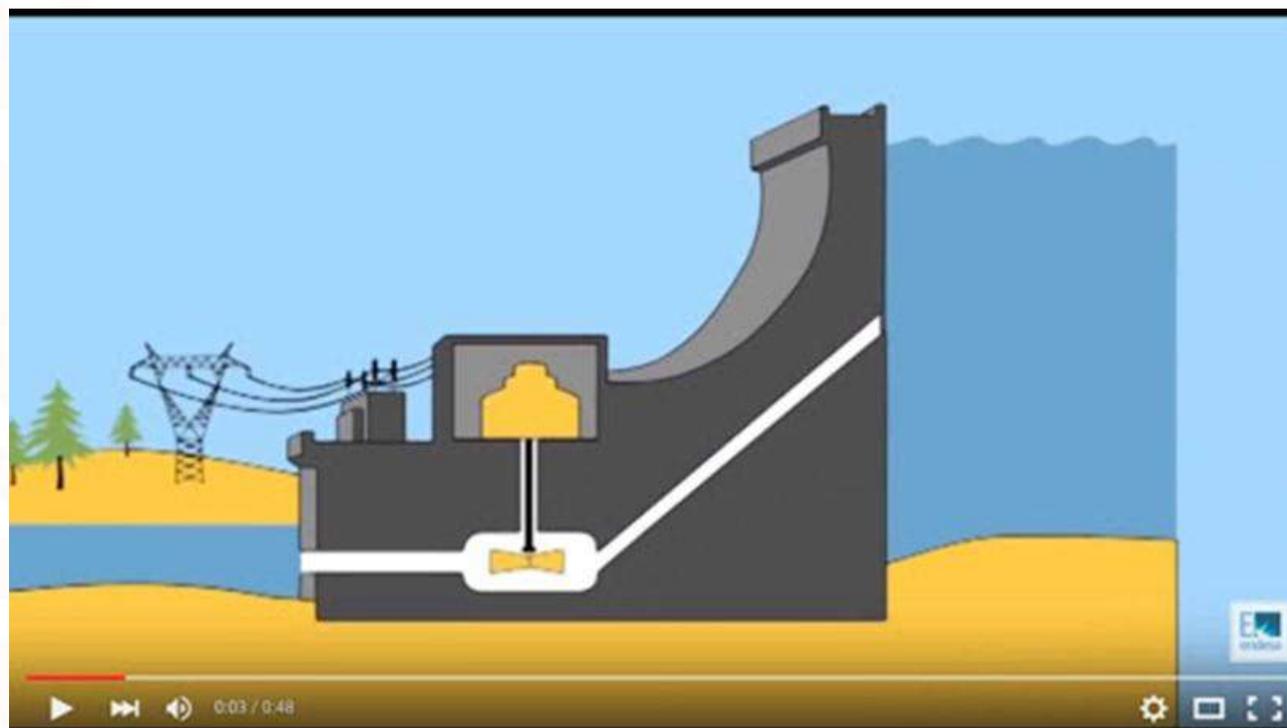


Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Central hidroeléctrica

Es una central de generación de energía eléctrica, que transforma la energía hidráulica en energía eléctrica



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



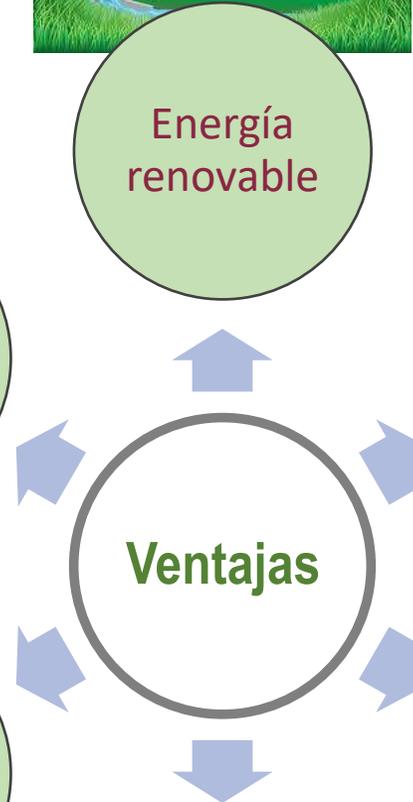
ESCUELA
DEL AGUA



La turbina es una máquina segura, eficiente y sencilla



Larga vida de las obras de ingeniería



Energía renovable

No requiere combustible

Ventajas

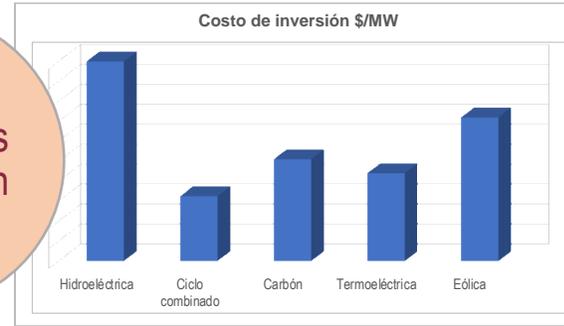
Puede combinarse con otros beneficios

Bajos costos de mantenimiento y explotación

- Riego
- Control de avenidas
- Suministro de agua
- Navegación
- Turismo



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Altos costos de inversión

Barreras y desventajas

Empazamiento alejado de los centros de consumo

Disponibilidad fluctuante entre estaciones y años

Largo tiempo de construcción



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas

Clasificación de las centrales hidroeléctricas

Sistema de aprovechamiento

- De agua fluyente
- De embalse
 - A pie de presa
 - Por derivación de las aguas
- Centrales de bombeo o reversibles

Tipo de turbina

- De acción
- De reacción

Potencia

- Gran potencia (más de 10 MW)
- Mini-hidroeléctricas (entre 1 y 10 MW)
- Micro-hidroeléctricas (menos de 1 MW)

Tipo de presa

- Presa de gravedad
- Presa de vuelta
- Presa de contrafuertes

Fuentes Alternas de Energía

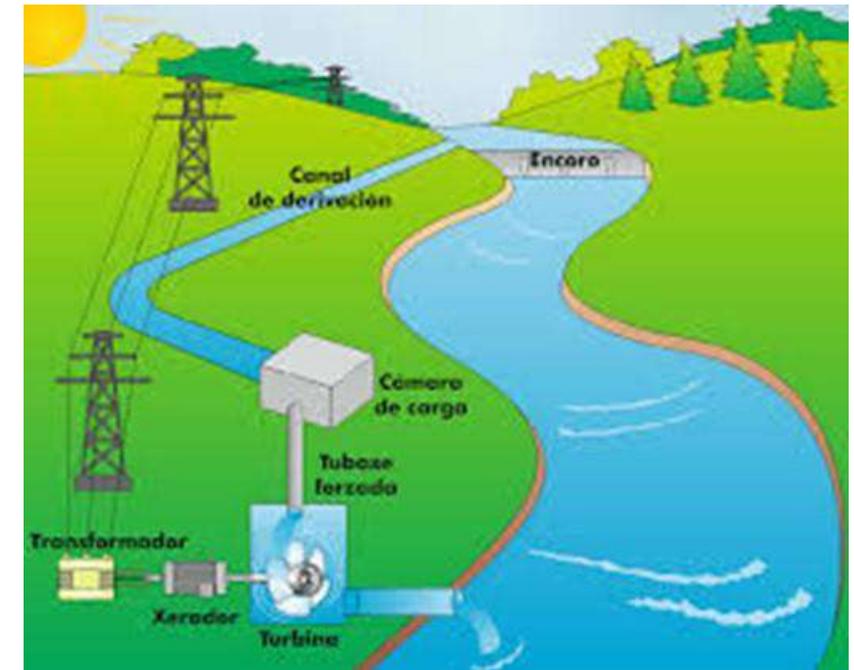
Centrales Microhidroeléctricas



Centrales de agua fluyente. No tiene embalse.

El terreno no presenta mucho desnivel. Es necesario que el caudal del río sea lo suficientemente constante como para asegurar una potencia determinada durante todo el año.

En la temporada de precipitaciones abundantes, desarrollan su máxima potencia y dejan pasar agua excedente. En cambio, durante la época seca, la potencia disminuye en función del caudal, llegando a ser casi nulo en algunos ríos en verano.

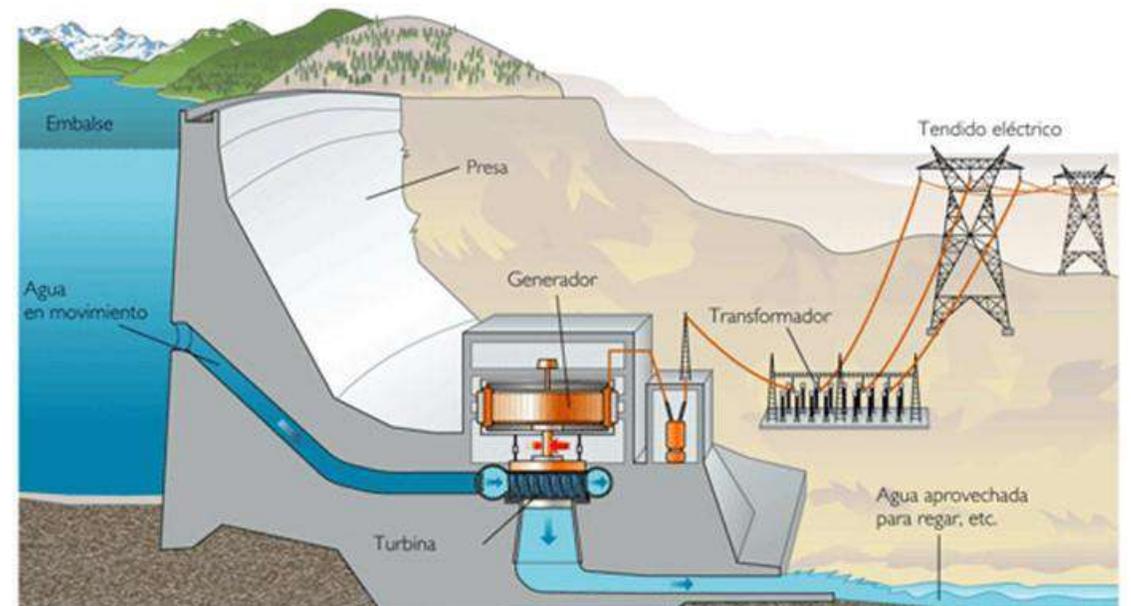


Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Centrales de embalses. Cuentan con una o más presas que forman lagos artificiales donde se almacena un volumen considerable de agua por encima de las turbinas. El embalse puede producir energía eléctrica durante todo el año, aunque el río se seque completamente durante algunos meses.

Estas centrales exigen, generalmente, una inversión de capital más grande que la de agua fluyente. Existen dos variantes de este tipo de centrales:

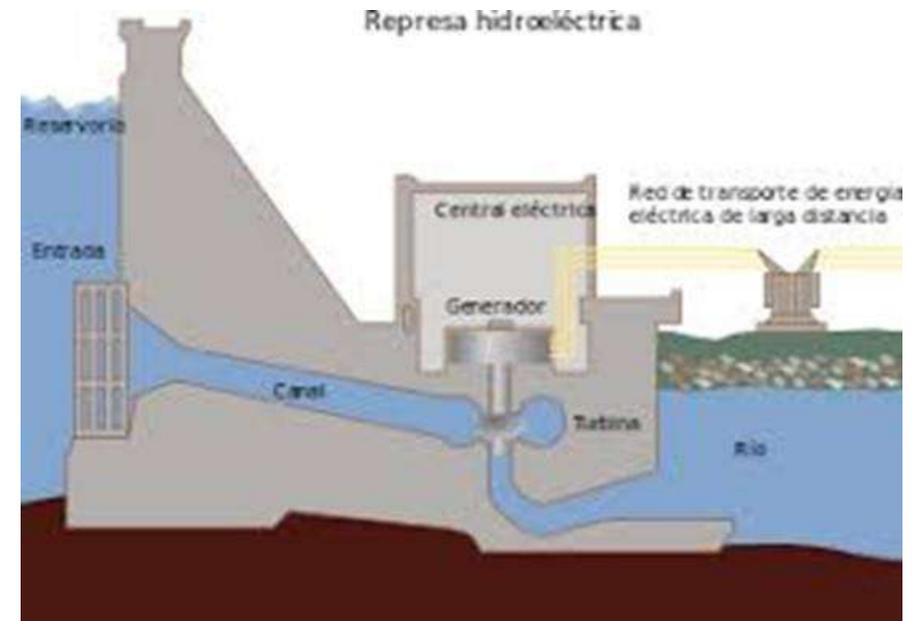
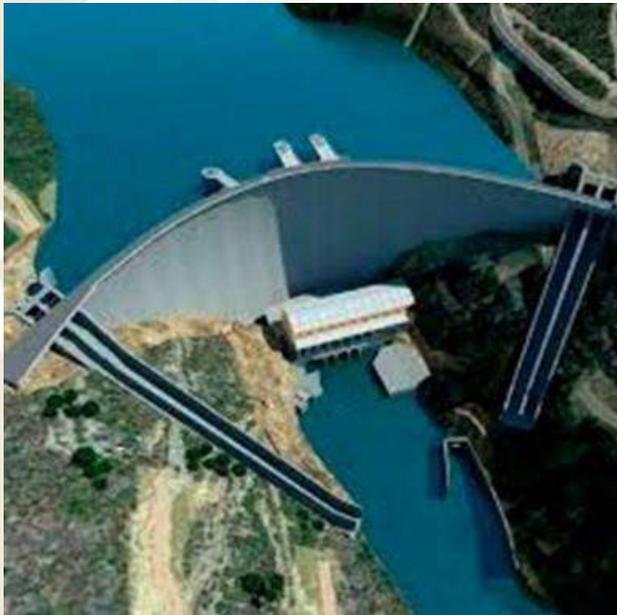


Fuentes Alternas de Energía

Centrales Microhidroeléctricas



Centrales a pie de presa. En un tramo de río con un desnivel apreciable se construye una presa de una altura determinada. La sala de turbinas se sitúa después de la presa.

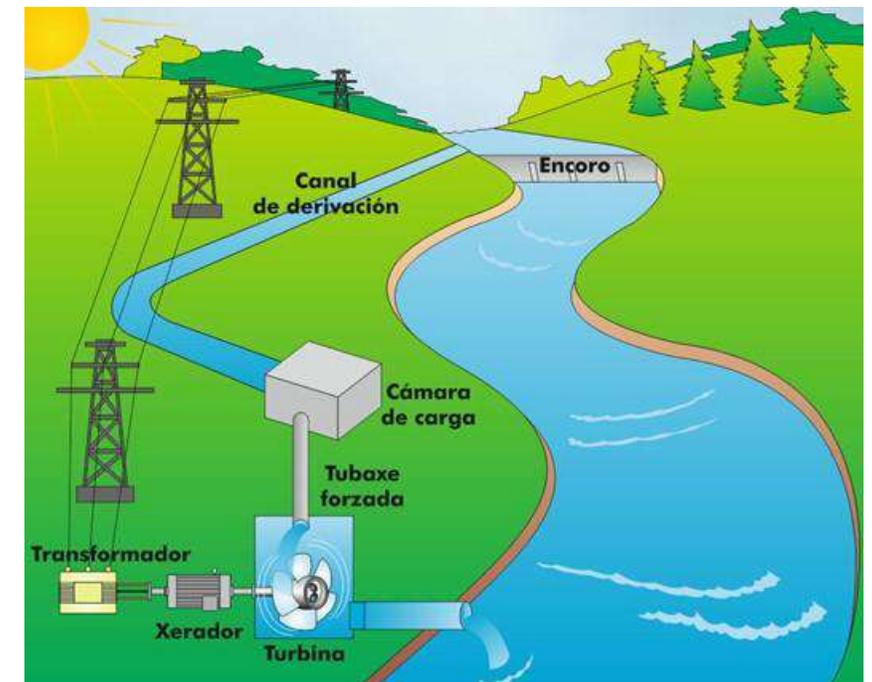


Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Centrales por derivación de las aguas. Las aguas del río se desvían mediante una pequeña presa y se conducen mediante un canal con una pérdida de desnivel tan pequeña como sea posible. Después, llegan hasta un pequeño depósito llamado cámara de carga o de presión.

De esta sala arranca una tubería forzada que va a parar a la sala de turbinas. Posteriormente, el agua se devuelve río abajo, mediante un canal de descarga. Los desniveles de este tipo de centrales son más grandes que en las centrales a pie de presa.



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas

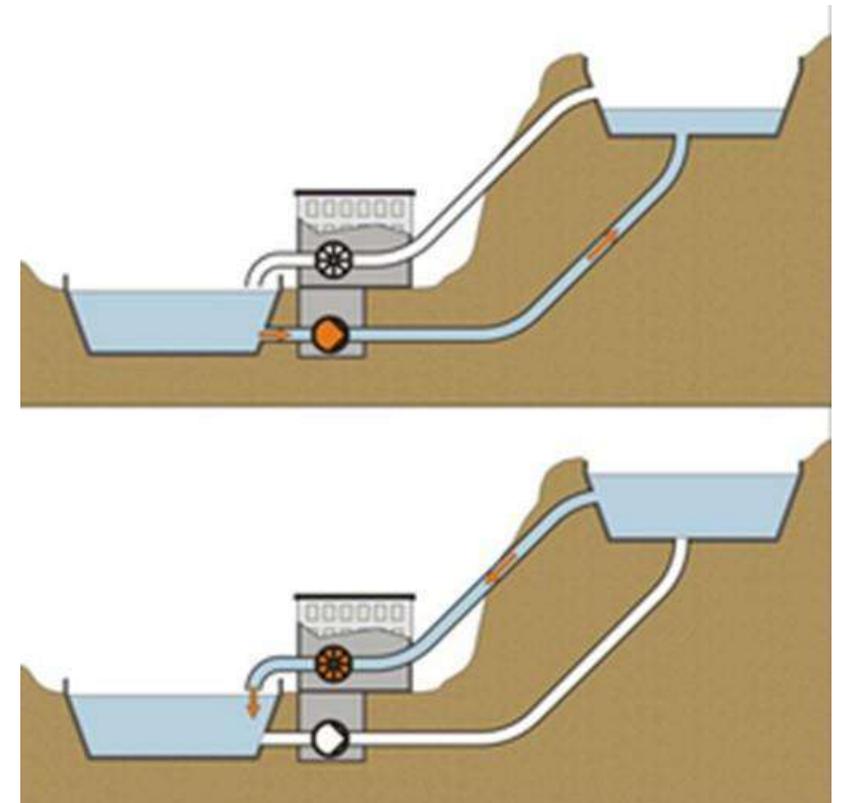


Centrales de bombeo o reversibles. Disponen de dos embalses situados a niveles diferentes.

Cuando la demanda diaria de energía eléctrica es máxima, estas centrales trabajan como una central hidroeléctrica convencional: el agua cae desde el embalse superior haciendo girar las turbinas y después queda almacenada en el embalse inferior.

Durante las horas del día de menor demanda, el agua se bombea al embalse superior para que vuelva a hacer el ciclo productivo.

Este tipo de central utilizan los recursos hídricos de una forma más racional.



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Componentes principales de las centrales hidroeléctricas

- La Presa
- Rebosaderos
- Destruedores de energía
- Línea de conducción
- Sala de máquinas
- Turbina
- Generador

Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Componentes principales de las centrales hidroeléctricas

- **La Presa**
 - Rebosaderos
 - Destrucción de energía
 - Línea de conducción
 - Sala de máquinas
 - Turbina
 - Generador



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Componentes principales de las centrales hidroeléctricas

- La presa
- **Rebosaderos**
- Destrotores de energía
- Línea de conducción
- Sala de máquinas
- Turbina
- Generador



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Componentes principales de las centrales hidroeléctricas

- La presa
- Rebosaderos
- **Destrucción de energía**
- Línea de conducción
- Sala de máquinas
- Turbina
- Generador



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Componentes principales de las centrales hidroeléctricas

- La presa
- Rebosaderos
- Destruedores de energía
- **Línea de conducción**
- Sala de máquinas
- Turbina
- Generador



Fuentes Alternas de Energía

Centrales Microhidroeléctricas



Componentes principales de las centrales hidroeléctricas

- La presa
- Rebosaderos
- Destruccionadores de energía
- Línea de conducción



- **Sala de máquinas**

- Turbina
- Generador



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Componentes principales de las centrales hidroeléctricas

- La presa
- Rebosaderos
- Destruedores de energía
- Línea de conducción
- Sala de máquinas
- **Turbina**
- Generador

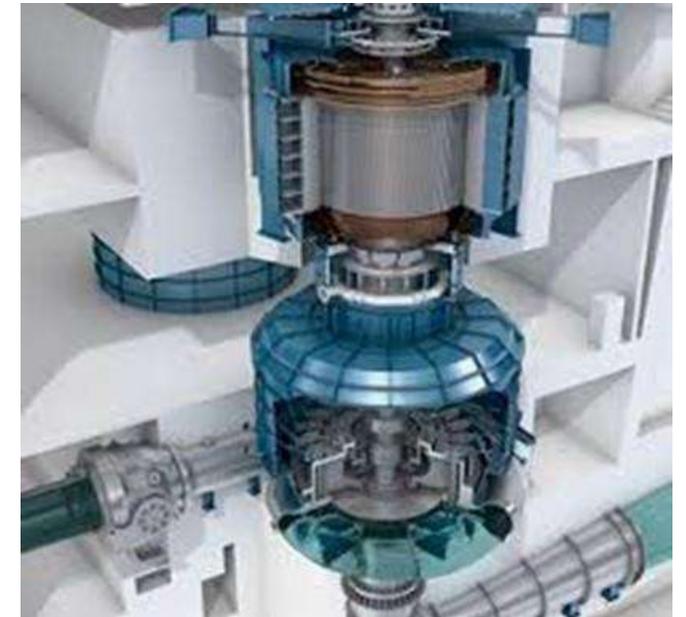


Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Componentes principales de las centrales hidroeléctricas

- La presa
- Rebosaderos
- Destruedores de energía
- Línea de conducción
- Sala de máquinas
- Turbina
- **Generador**



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Clasificación de las turbinas hidráulicas

Función que desempeña

- Motrices
- Generatrices
- Reversibles
- Grupo de transmisión

Número de revoluciones específicas

- Turbinas lentas
- Turbinas normales
- Turbinas rápidas
- Turbinas extra-rápidas

Posición del eje

- Horizontales
- Verticales

Modo de admisión del agua

- Admisión parcial
- Admisión total

Manera de actuar de los chorros de agua

- Acción
- Reacción

La dirección del agua

- Radiales
- Axiales
- Radiales-Axiales
- Tangenciales

Características de la cámara

- Cámara cerrada
- Cámara abierta

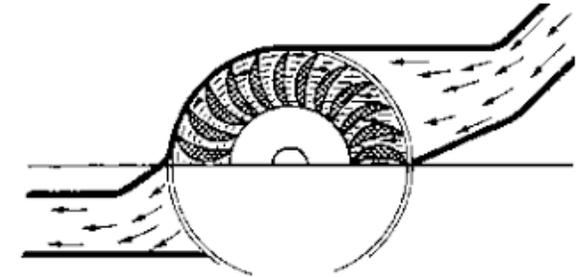
Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Turbinas motrices, que recogen la energía cedida por el fluido que las atraviesa, y la transforman en mecánica.

Turbinas generatrices, que aumentan la energía del fluido que las atraviesa bajo forma potencial, (aumento de presión), o cinética; la energía mecánica que consumen es suministrada por un motor, pudiendo ser: Bombas de álabes, entre las que se encuentran las bombas centrífugas y axiales Hélices marinas,

Turbinas reversibles, tanto generatrices como motrices, que ejecutan una serie de funciones que quedan aseguradas, mediante un rotor específico, siendo las más importantes: Grupos turbina-bomba, utilizados en centrales eléctricas de acumulación por bombeo Grupos Bulbo, utilizados en la explotación de pequeños saltos y centrales maremotrices

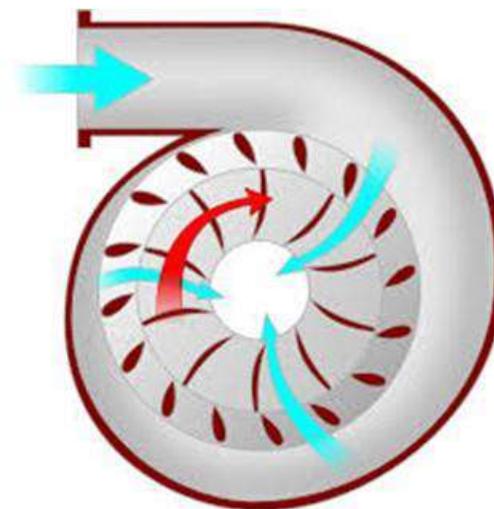


Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Las **turbinas Francis** son turbomáquinas a reacción y de flujo mixto que se pueden diseñar para un amplio rango de saltos y caudales, siendo capaces de operar en rangos de desnivel que van de los dos metros hasta varios cientos de metros.

Esto, junto con su alta eficiencia, ha hecho que este tipo de turbina sea la más ampliamente usada en el mundo para producción de energía eléctrica en centrales hidroeléctricas.



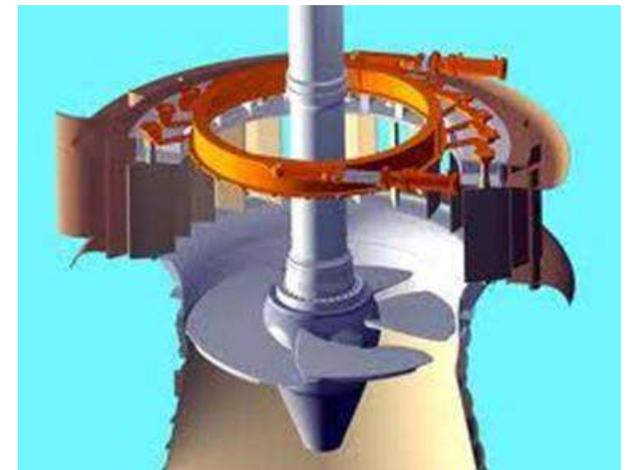
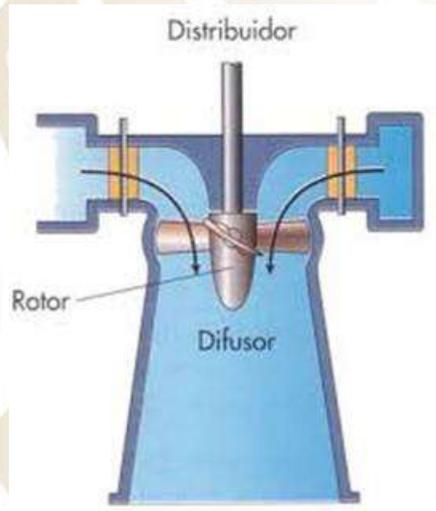
Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Las **turbinas Kaplan** son uno de los tipos más eficientes de turbinas de reacción de flujo axial, con un rodete que funciona de manera semejante a la hélice del motor de un barco. Se emplean en saltos de pequeña altura y grandes caudales.

Las amplias palas o álabes de la turbina son impulsadas por agua a alta presión liberada por una compuerta.

Los álabes del rodete en las turbinas Kaplan son siempre regulables y tienen la forma de una hélice, mientras que los álabes de los distribuidores pueden ser fijos o regulables.

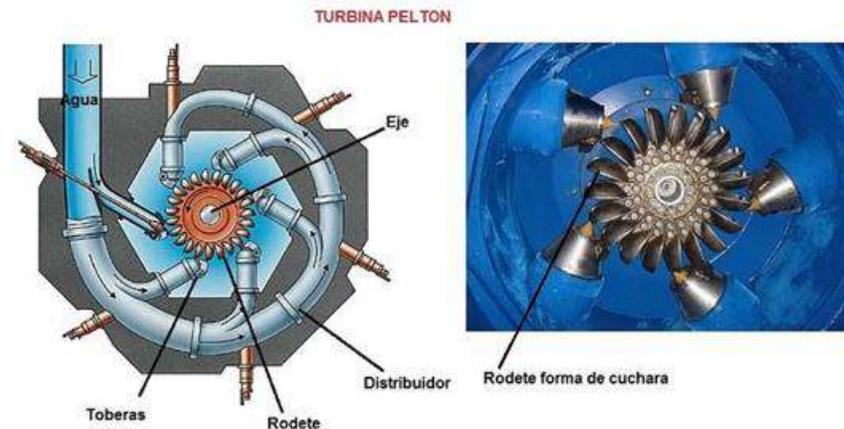
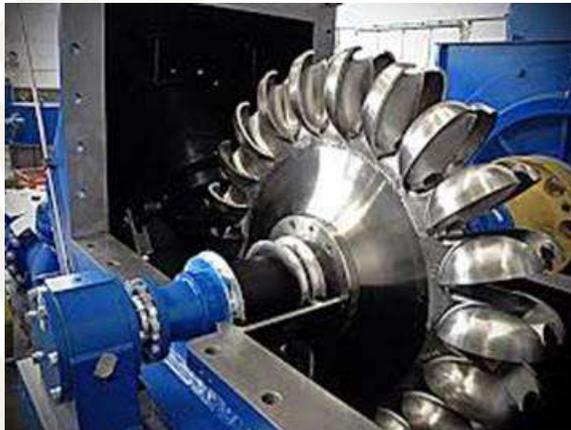


Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



La **turbina Pelton** es uno de los tipos más eficientes de turbina hidráulica. Es de flujo tangencial, admisión parcial y de acción. Consiste en una rueda (rodete o rotor) dotada de cucharas en su periferia, las cuales están especialmente realizadas para convertir la energía de un chorro de agua que incide sobre las cucharas.

Están diseñadas para explotar grandes saltos hidráulicos de bajo caudal. Las centrales hidroeléctricas dotadas de este tipo de turbina cuentan, en su mayoría, con una larga tubería llamada galería de presión para transportar el fluido desde grandes alturas, a veces de hasta más de 1500 metros.



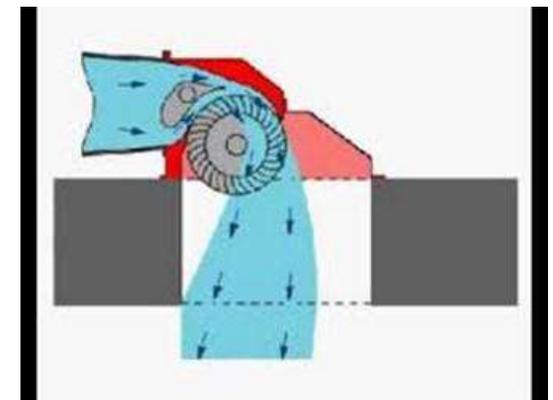
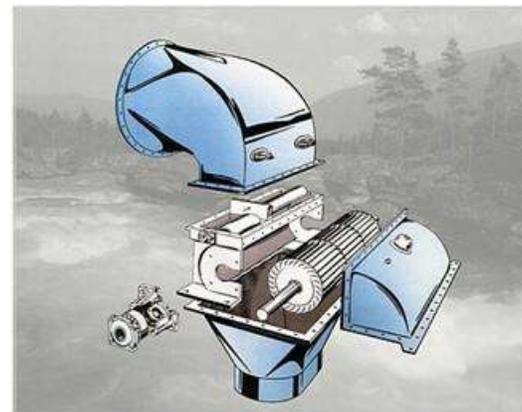
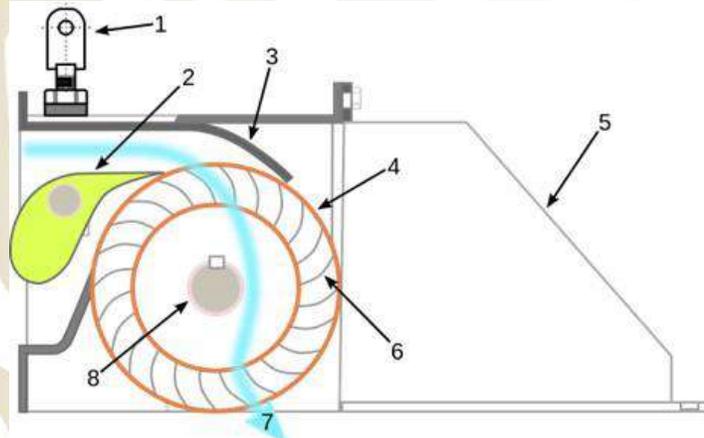
Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



La **turbina de flujo transversal** o turbina de flujo cruzado (también llamada por los nombres comerciales turbina Banki-Michell o Turbina Ossberger) es una máquina de acción, en la que el fluido atraviesa los álabes de forma diagonal.

El agua entra en el borde de la turbina saliendo por el interior. Tras atravesar el vano central sale por el lado opuesto. Al pasar dos veces se obtiene una eficiencia elevada para flujos variables.

La máquina es de baja velocidad, apta para bajas alturas pero elevados caudales. Gracias a su simplicidad constructiva, suelen ser máquinas de coste reducido. Todo ello lo hace apropiado para centrales de pequeño tamaño (mini y microhidráulica, centrales fluyentes).

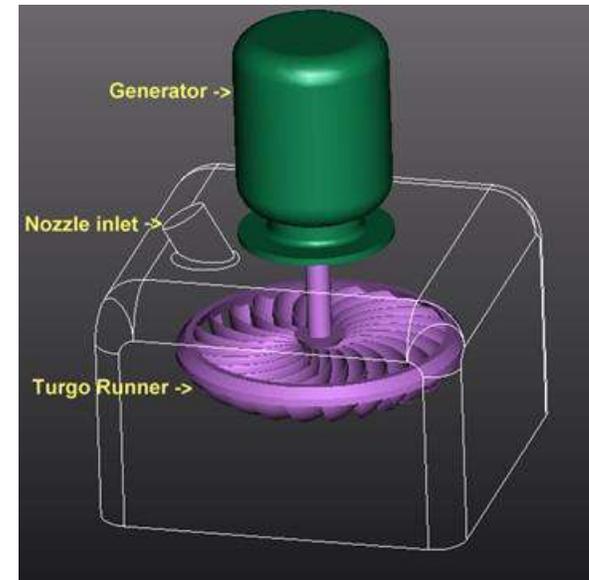


Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



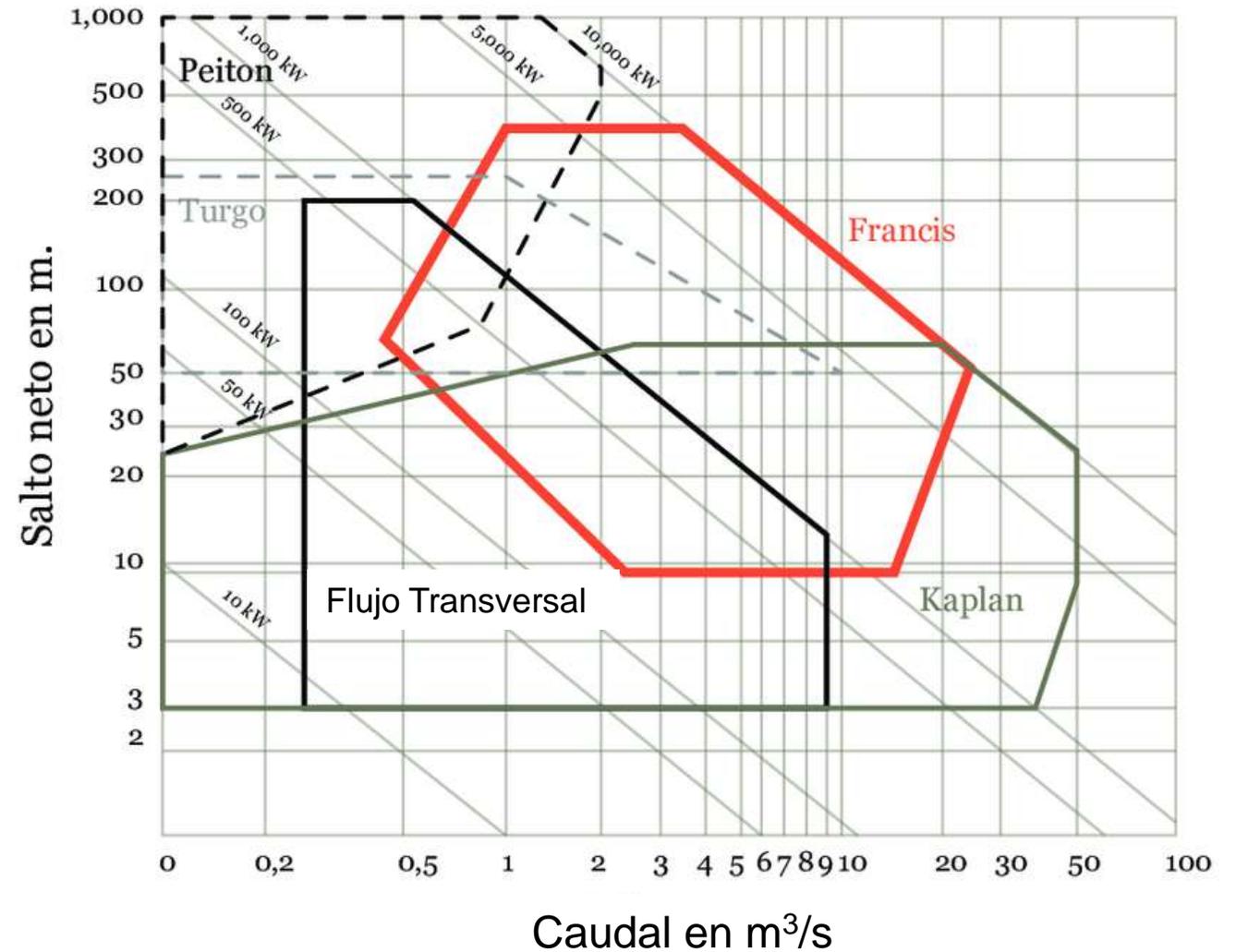
La **turbina Turgo** es de impulso diseñada para saltos de desnivel medio. Fue desarrollada a partir de una modificación a la turbina Pelton, con las siguientes ventajas:

- el rodete es más barato de fabricar que el de una Pelton,
- no necesita una carcasa hermética como la Francis,
- tiene una velocidad específica más elevada y puede manejar un mayor flujo para el mismo diámetro que la turbina Pelton, conllevando por tanto una reducción del coste.



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas

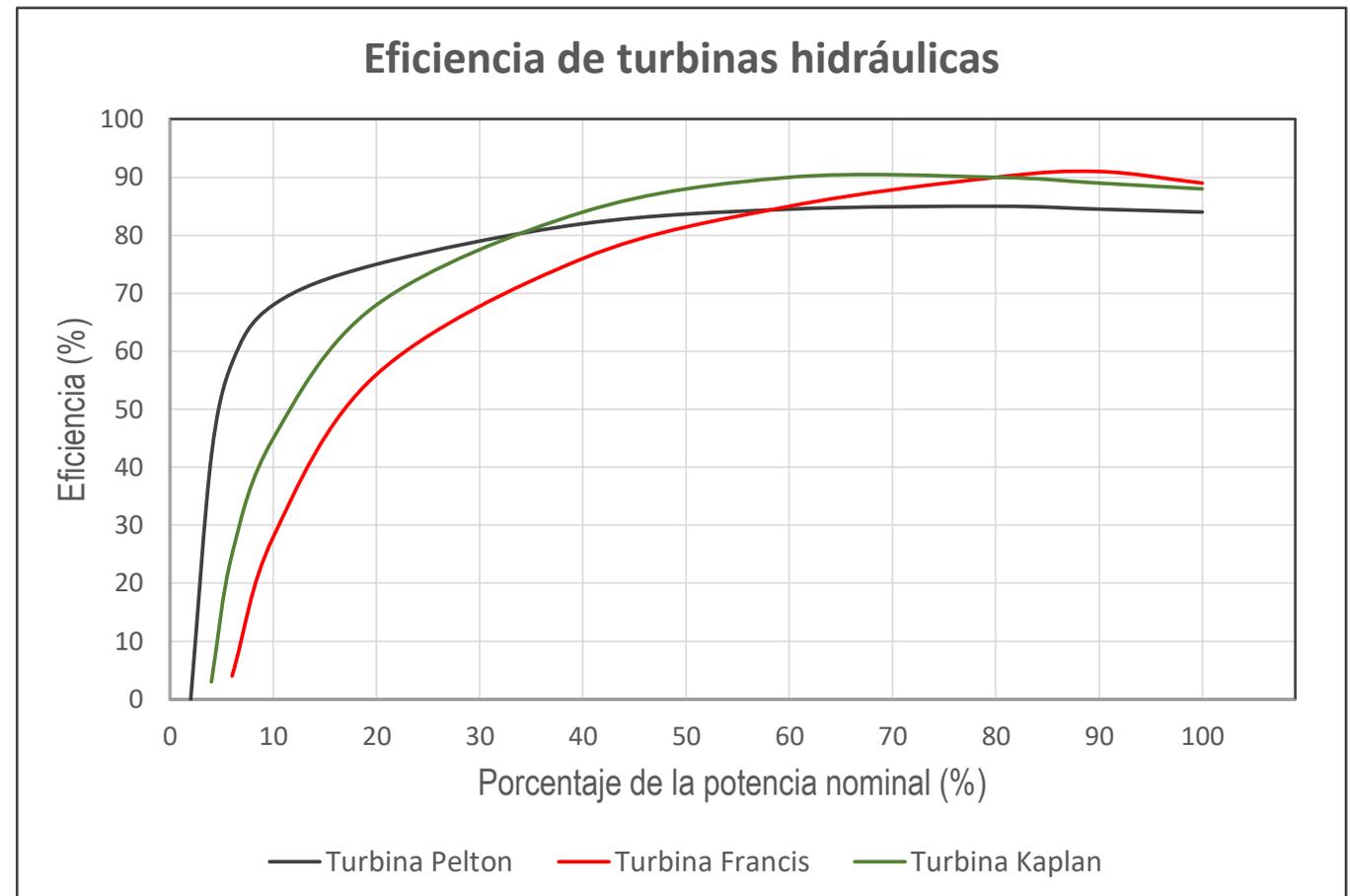
Rango de aplicación de los diferentes tipos de turbinas hidráulicas



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



**Comparativo de la
eficiencia entre
diferentes tipos de
turbinas hidráulicas**



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Cálculos

Altura neta:

$$H_n = H_b - H_p$$

Donde:

H_n es la altura neta (m)

H_b es la altura bruta (m). Es la altura existente entre el nivel de la presa y el nivel del río en la descarga

H_p son las pérdidas de carga en la conducción, desde la toma aguas arriba, hasta la turbina (m)

Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas

Cálculos

Potencia hidráulica:

$$Ph = Q \times Hn \times \rho \times g$$

Donde:

Ph es la potencia hidráulica (Watts)

Q es el caudal (m³/s)

Hn es la altura neta (m)

ρ es la densidad (kg/m³)

g es la aceleración de la gravedad (m²/s)



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Cálculos

Potencia eléctrica de salida:

$$P_e = P_h \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_{tr} \times (1 - P_{aux})$$

Donde:

P_e es la potencia eléctrica de salida (Watts)

P_h es la potencia hidráulica (Watts)

η_t es la eficiencia de la turbina

η_g es la eficiencia del generador

η_{tr} es la eficiencia del transformador

P_{aux} es la fracción de la potencia demandada por los servicios auxiliares del sistema (usualmente 5%).

Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas Cálculos



Energía eléctrica a generar:

$$E = \frac{Pe \times \#hOp}{1\ 000\ 000}$$

Donde:

E. es la energía eléctrica que se generará (MWh/año)

Pe es la potencia eléctrica de salida (Watts)

#hOp es el número de horas de operación (h/año)

Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas

Ejemplo de Cálculo:



Se trata de seleccionar el tipo de turbina y calcular la cantidad de energía eléctrica que se podría generar en un aprovechamiento micro-hidroeléctrico que operaría 8 600 h/año, con:

- Caudal promedio: $Q_{prom} = 8.2 \text{ m}^3/\text{s}$
- Caudal máximo: $Q_{m\acute{a}x} = 14.2 \text{ m}^3/\text{s}$
- Caudal mínimo: $Q_{min} = 3.1 \text{ m}^3/\text{s}$
- Altura del salto: $H = 33.16 \text{ m}$

Considere los siguientes datos:

- Pérdidas de carga en la conducción: 0.76 m
- Eficiencia de la turbina: 80%
- Eficiencia del generador: 96%
- Eficiencia del transformador: 98.5%
- Potencia a auxiliares: 5%

Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas

Ejemplo de Cálculo:

Cálculo de la altura neta

$$H_n = H_b - H_p = 33.16 - 0.76$$

$$H_n = 32.40 \text{ m}$$



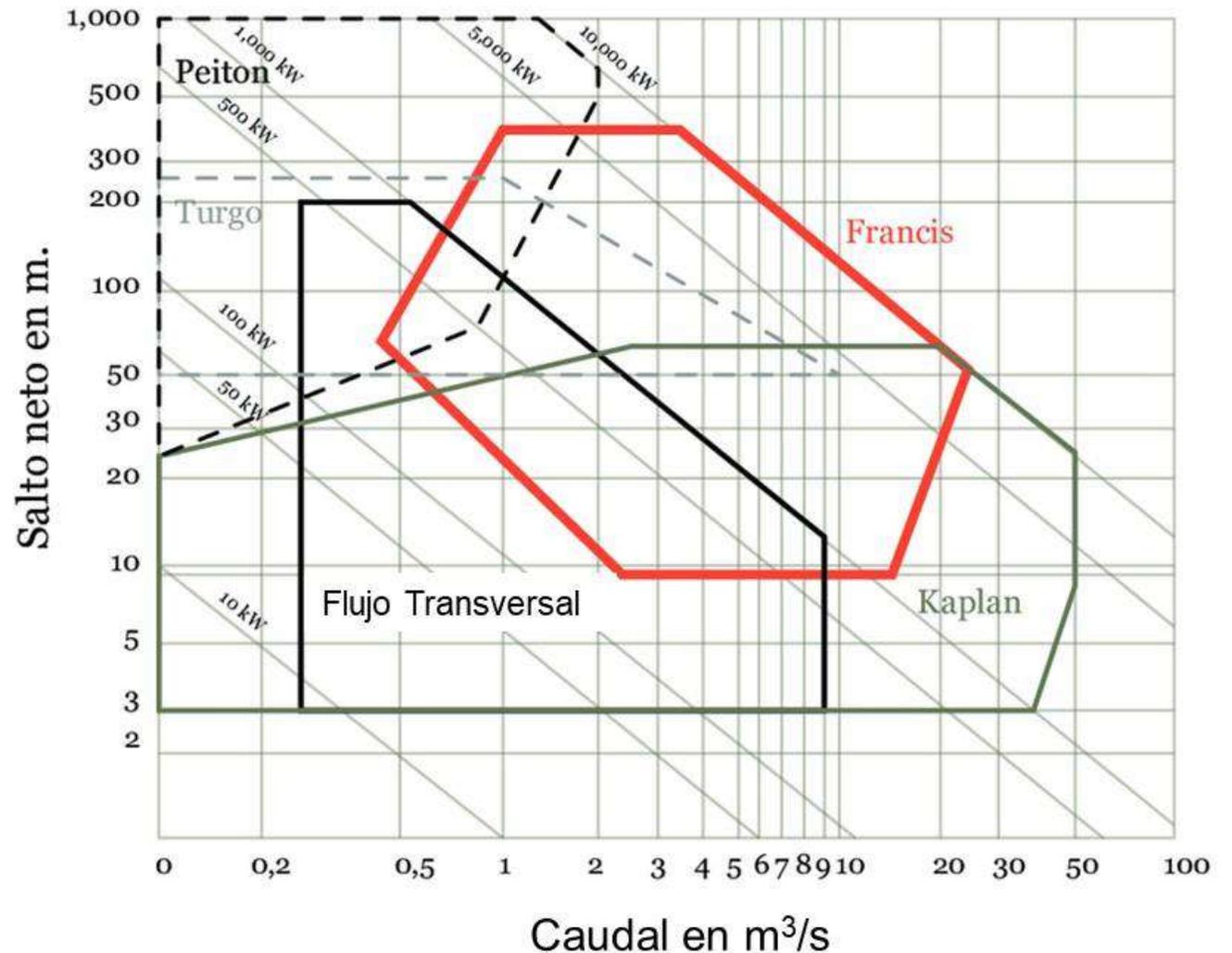
Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas

Ejemplo de Cálculo:

Selección del tipo de turbina

Para un caudal de 8.2 m³/s y una altura neta de 32.4 m, se podrían usar turbinas Kaplan o Francis.

Dado que la turbina Kaplan presenta mejores eficiencias ante variaciones de la potencia, se opta por seleccionar la turbina Kaplan.



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Ejemplo de Cálculo:

Cálculo de la potencia hidráulica

$$Ph = Q \times Hn \times \rho \times g$$

$$Ph = 8.1 \times 32.4 \times 1\,000 \times 9.81$$

$$Ph = 2\,547\,536.4 \text{ Watts}$$

Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



Ejemplo de Cálculo:

Cálculo de la potencia eléctrica

$$P_e = P_h \times \eta_t \times \eta_g \times \eta_{tr} \times (1 - P_{aux})$$

$$P_e = 2\,547\,536.4 \times 0.8 \times 0.96 \times 0.985 \times (1 - 0.05)$$

$$P_e = 1\,850\,206 \text{ Watts}$$

Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas

Ejemplo de Cálculo:

Cálculo de la energía eléctrica que se generará

$$E = \frac{Pe \times \#hOp}{1\ 000\ 000}$$

$$E = \frac{1\ 850\ 206 \times 8,600}{1\ 000\ 000}$$

$$E = 15,911.77\ MWh/año$$



6. Energía geotérmica

Fuentes Alternas de Energía Energía Geotérmica



Geotermia
“geos” - tierra
“thermos” - calor

Origen del calor

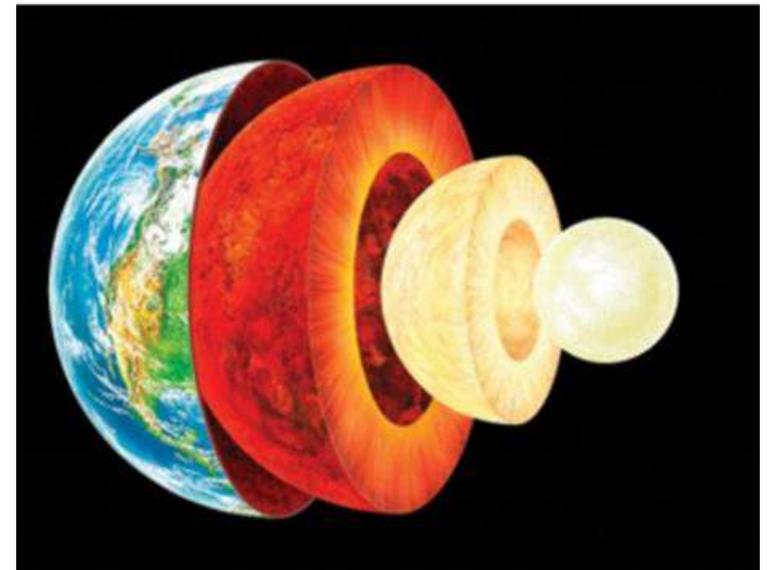
Calor residual de la formación del planeta (48%)

Energía calorífica del interior de la Tierra: 12.6×10^{12} EJ

Energía calorífica de la litósfera (-50 km prof): 5.4×10^9 EJ

Flujo de calor: 1 388 EJ/año

1 EJ = 1.0×10^{18} .



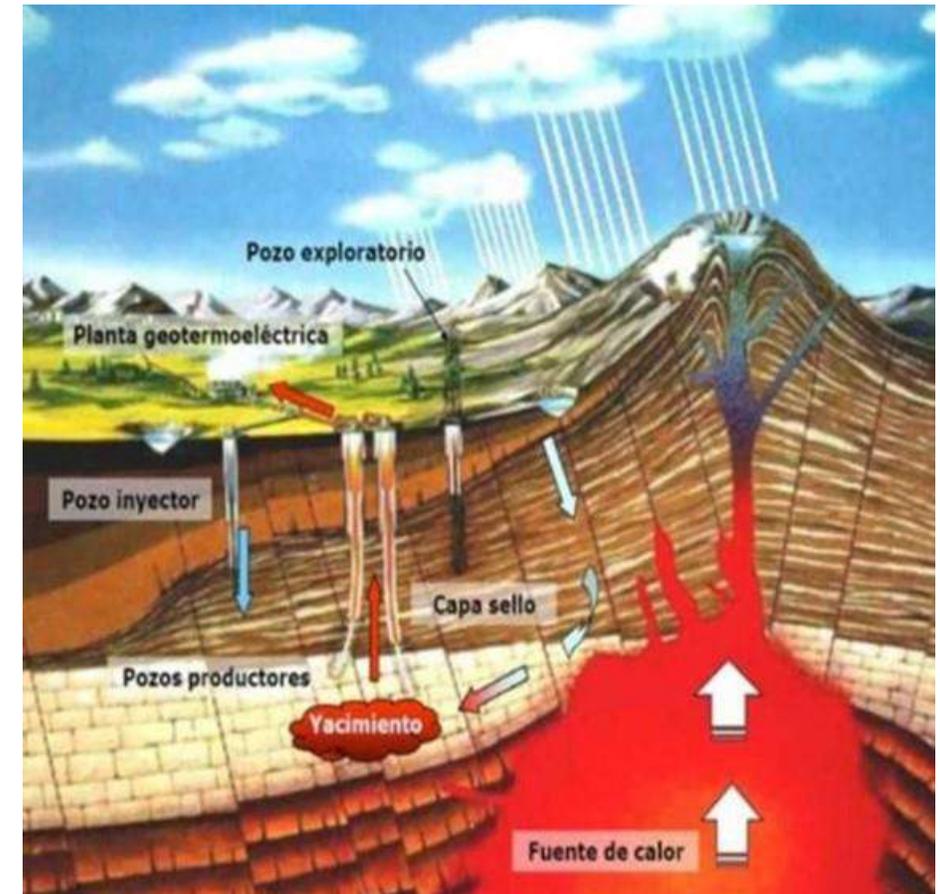
5.1. Introducción

Fuentes Alternas de Energía

Energía Geotérmica



- La energía geotérmica es una de las pocas fuentes de energía renovables capaz de producir electricidad de manera constante las 24 horas del día.
- En condiciones adecuadas, puede tener un costo competitivo en relación con el carbón o el gas natural.
- Por tratarse de una fuente de energía limpia, la energía geotérmica también puede tener un papel importante en la disminución de las emisiones de carbono del sector energético.



Fuentes Alternas de Energía

Energía Geotérmica



Clasificación de los yacimientos geotérmicos

Yacimientos de agua caliente		Yacimientos secos	Géiseres	
En forma de fuente	Subterráneos	De vapor		
Se aprovechan como baños termales. Dependiendo de la temperatura del agua puede usarse directamente o, enfriando el agua antes de utilizarla. Suelen tener caudales relativamente reducidos.	Sirven para aprovechar el calor del interior de la tierra. En la mayoría de los casos la explotación debe hacerse con dos pozos (o un número par de pozos), de modo que por uno se obtiene el agua caliente y por otro se vuelve a inyectar en el acuífero	El aprovechamiento es directo, pero tienen el problema de que es más complicado reinyectar el agua después de condensada, y en el camino habrán difundido en la atmósfera una parte de los gases que acompañan al vapor.	En este caso, hay una zona bajo la tierra, a profundidad no excesiva, con materiales o piedras calientes, en seco. Se inyecta agua por una perforación y se recupera ya caliente	Abertura de origen volcánico en la corteza de la Tierra de la cual brotan vapor, gases y agua muy caliente de manera intermitente y generalmente turbulenta.

Fuentes Alternas de Energía

Energía Geotérmica



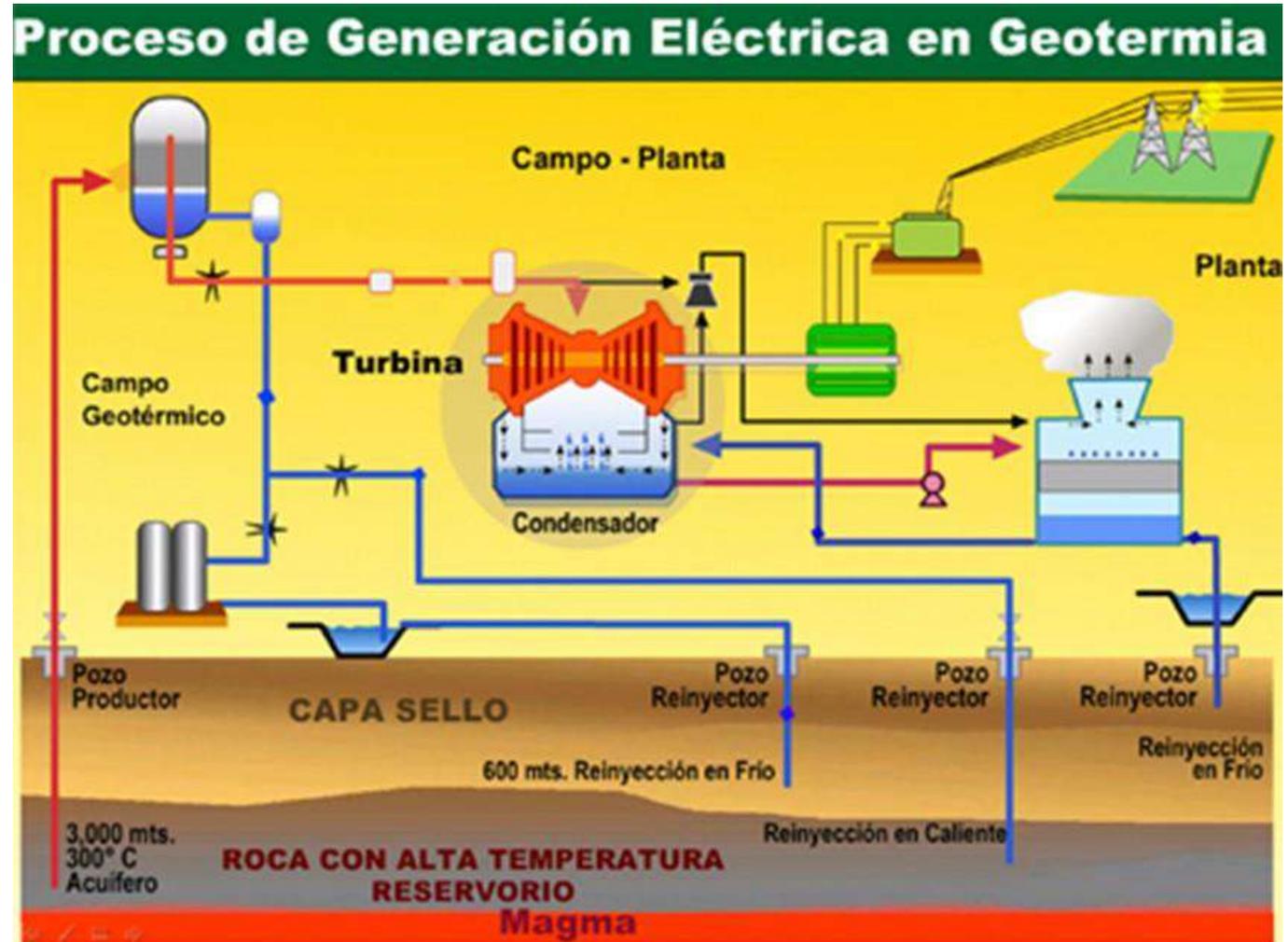
Clasificación de los yacimientos geotérmicos de agua caliente

Tipo	Rango de temp.	Características
Alta temperatura	150 - 400°C	Se produce vapor en la superficie y mediante una turbina se genera electricidad
Media temperatura	70 - 150°C	La conversión vapor-electricidad se realiza con menor rendimiento y debe explotarse por medio de un fluido volátil. El mejor aprovechamiento se hace mediante sistemas de reparto de calor para uso en calefacción y en refrigeración por absorción
Baja temperatura	50 - 70 °C	Su principal aplicación está en sistemas de reparto de calor.
Muy baja temperatura	< 50 °C	Esta energía se utiliza para necesidades domésticas, urbanas o agrícolas.

Fuentes Alternas de Energía

Energía Geotérmica

Aprovechamiento geotérmico con inyección directa del vapor geotérmico a la turbina

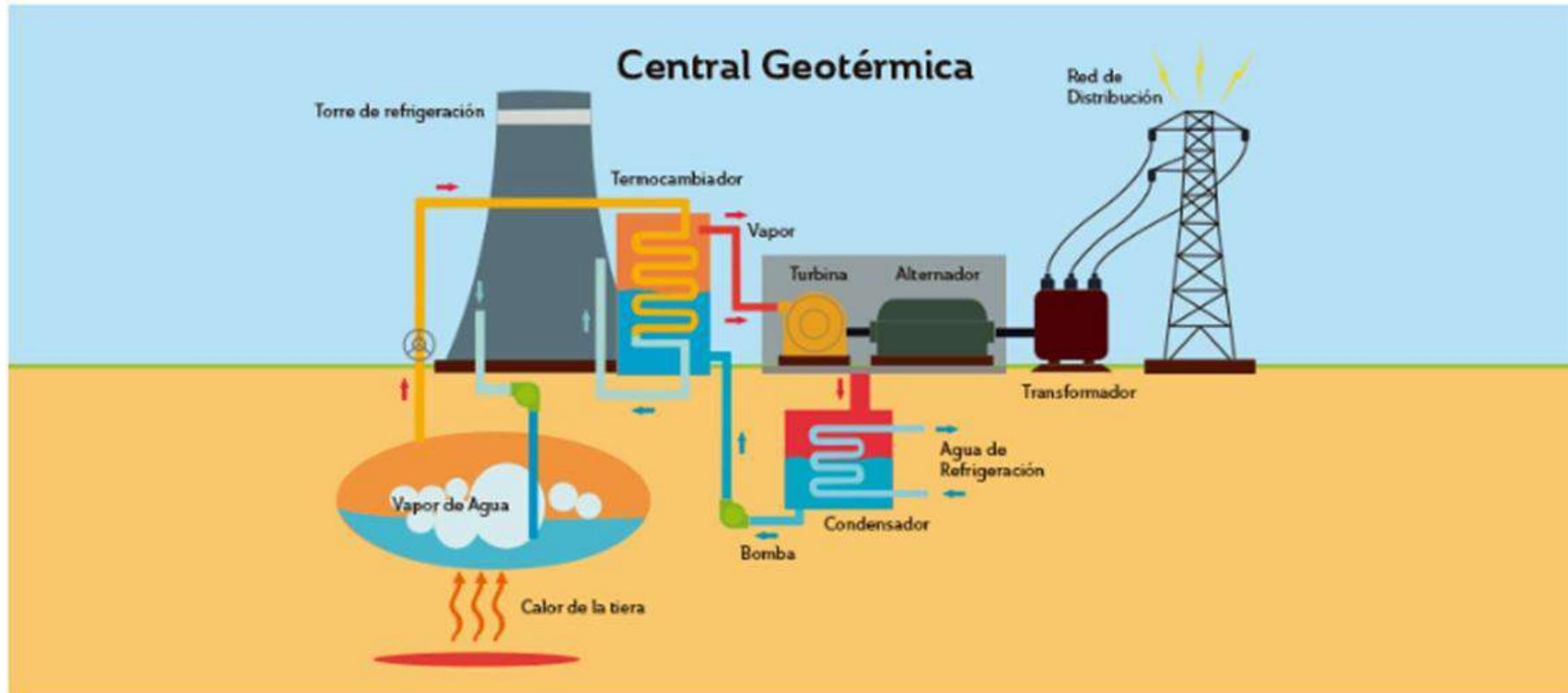


Fuentes Alternas de Energía

Energía Geotérmica



Aprovechamiento geotérmico con ciclo binario



Fuentes Alternas de Energía

Energía Geotérmica

Centrales geotermoeléctricas

A - Plantas a contrapresión

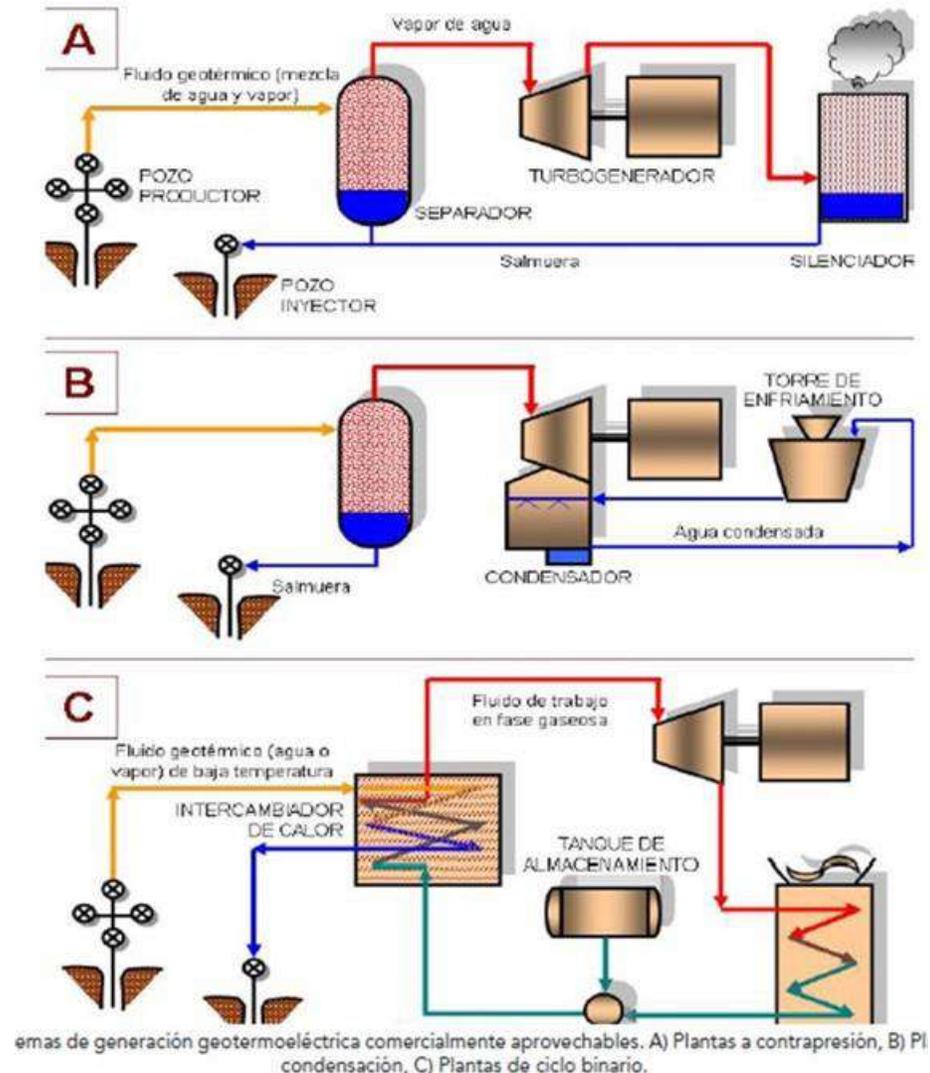
el vapor se descarga directamente a la atmósfera después de pasar por la turbina (12 tn vapor /1MWh generado)

B- Planta a condensación

el vapor, después de pasar por la turbina, pasa a un condensador que trabaja a una presión menor que la atmosférica (8 tn/ 1MWh generado)

C- Planta a ciclo binario

Utiliza un intercambiador de calor para que el fluido geotérmico caliente a un fluido de trabajo con punto de ebullición inferior al del agua. Este fluido pasa por la turbina siendo luego condensado y vuelto a pasar por el intercambiador



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



ESCUELA
DEL AGUA



No está sujeta
a precios
internacionales

Energía
renovable

No requiere
combustible



Ventajas

No genera
ruido



Sistema de
gran ahorro,
tanto
económico
como
energético.



Fuentes Alternas de Energía Centrales Microhidroeléctricas



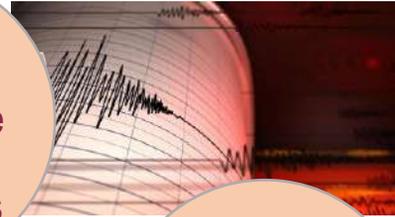
Contaminación del terreno



Altos costos de inversión

Barreras y desventajas

En yacimientos secos puede generar microsismos



En ciertos casos emite ácido sulfhídrico



Contaminación de agua con arsénico y amoníaco



Únicamente disponible en ciertos lugares

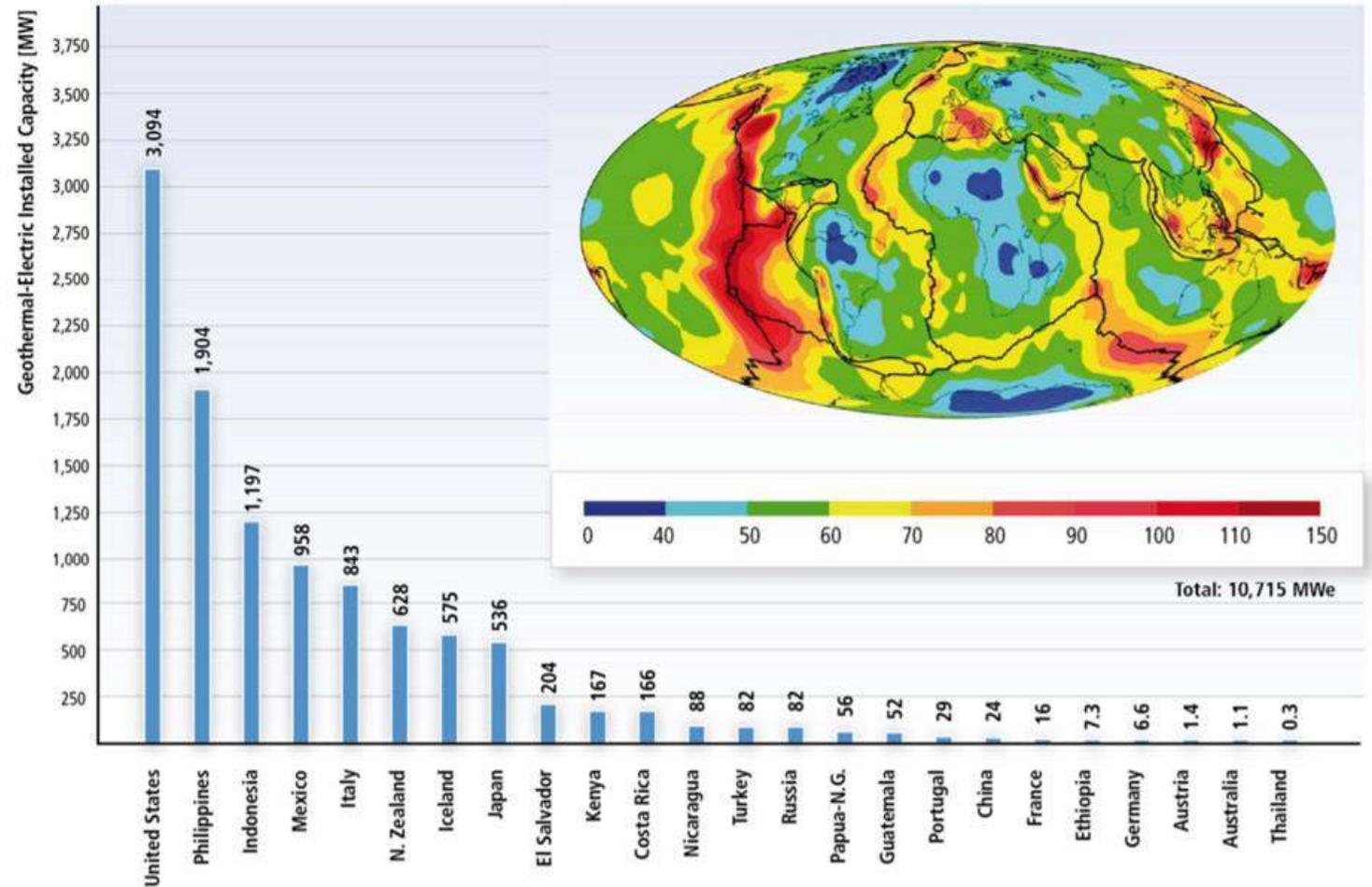


Fuentes Alternas de Energía

Energía Geotérmica



Potencia geotérmica mundial instalada, enero 2011



Fuentes Alternas de Energía

Energía Geotérmica



Fuentes Alternas de Energía Energía Geotérmica

Capacidad instalada en México



CFE Opera 4 campos geotérmicos

Grupo Dragón (privado) opera el campo Domo San Pedro, Nayarit

Capacidad instalada total \approx 932 Megawatts eléctricos (2016).

Campos del país	Capacidad instalada
Cerro Prieto, Baja California	570 MWe
Los Azufres, Michoacán	248 MWe
Los Humeros, Puebla	94 MWe
Las Tres Vírgenes, Baja California Sur	10 MWe
Domo San Pedro, Nayarit	10 MWe

Infraestructura: 230 pozos de producción (1500 - 3500 m profundidad)

Fuentes Alternas de Energía

Energía Geotérmica



Fuentes Alternas de Energía

Energía Geotérmica



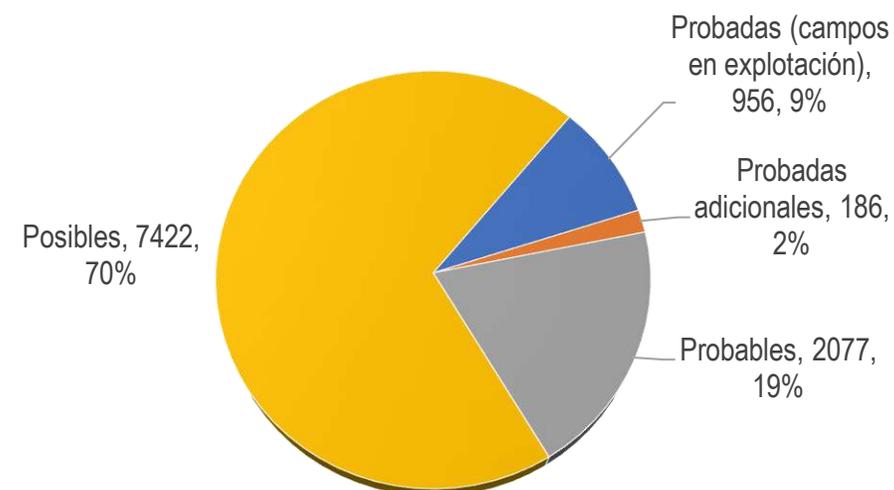
Potencial geotermoeléctrico en México (yacimientos de agua caliente)

Reservas Posibles de recursos de alta entalpía 5691 MWe, moderada entalpía 881 MWe y baja entalpía de 849 MWe : **Total de 7422 MWe.**

Reservas Probables de recursos de alta entalpía 1643 MWe, moderada entalpía de 220 MWe y baja entalpía de 212 MWe: **Total de 2077 MWe.**

Reservas Probadas se tomaron como la capacidad adicional que puede instalarse en cada uno de los campos geotérmicos conocidos (186 MWe) más lo instalado (956 MW): **Total 1,142 MW**

Reservas de energía geotérmica en México



Fuentes Alternas de Energía Energía Geotérmica



Potencial geotermoeléctrico en México (yacimientos secos)

Potencial geotermoeléctrico de México con recursos de roca seca caliente, susceptible de ser desarrollado, es del orden de los **24,700 MW** para una profundidad máxima de 3000 metros.

- 25 veces superior a la capacidad geotermoeléctrica instalada actual en el país,
- 48% de la capacidad eléctrica total instalada en México para el servicio público

7. Energía mareomotriz

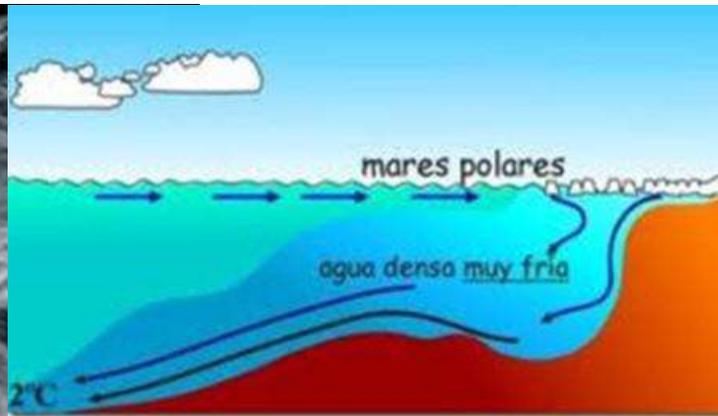
Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz



Origen de la energía del mar

Viento - cambios de temperatura y densidad - fuerza gravitacional



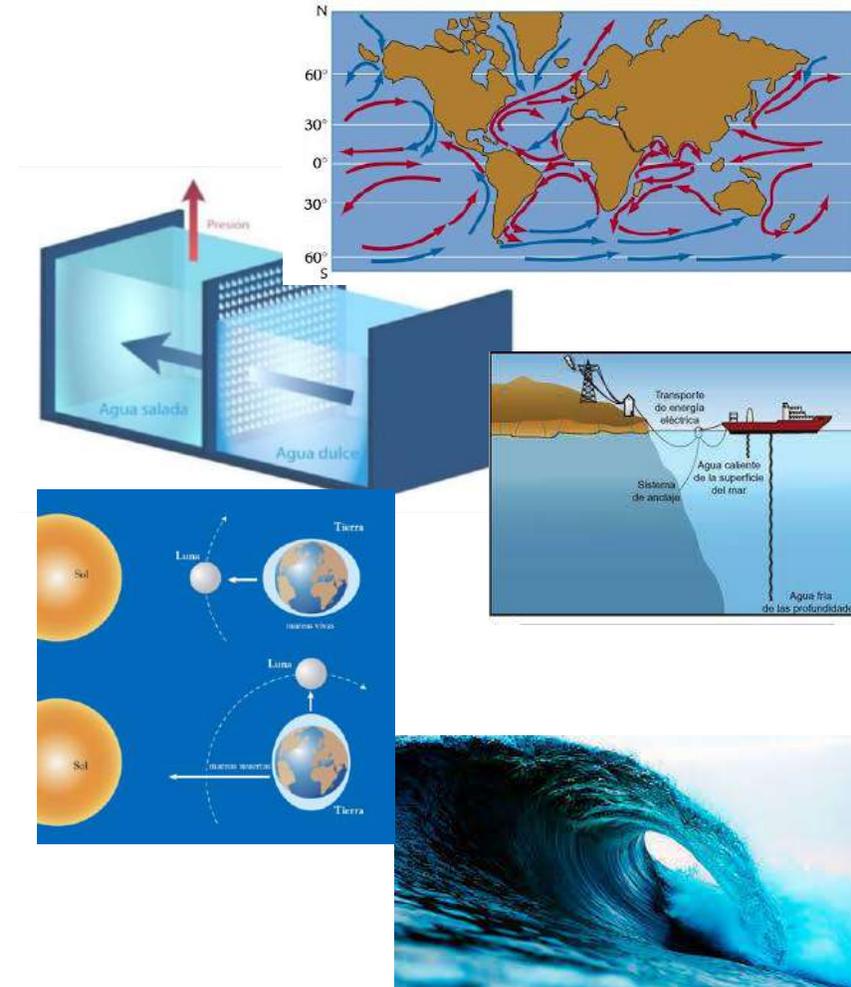
Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz



Clasificación de la energía del mar

Tipo	Características
Energía de las corrientes	Aprovecha la energía cinética contenida en las corrientes marinas
Energía azul	Aprovecha la diferencia de concentración de sal que existe entre el agua del mar y de los ríos
Energía maremotérmica	Aprovecha la diferencia de temperaturas que existen entre la superficie del mar y las aguas profundas
Energía mareomotriz	Aprovecha la energía de las mareas.
Energía undimotriz	Aprovecha la energía de las olas del mar.



Fuentes Alternas de Energía

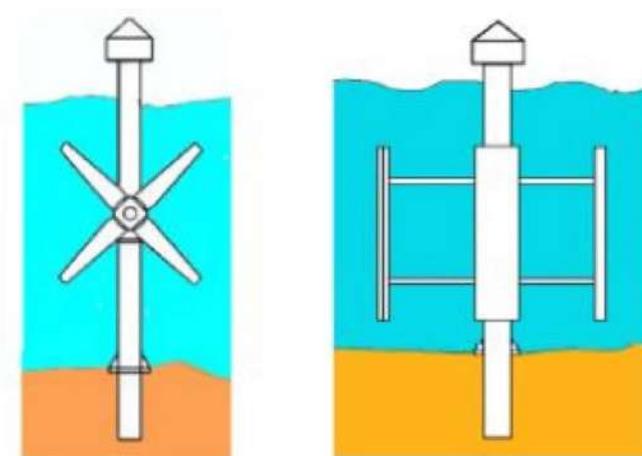
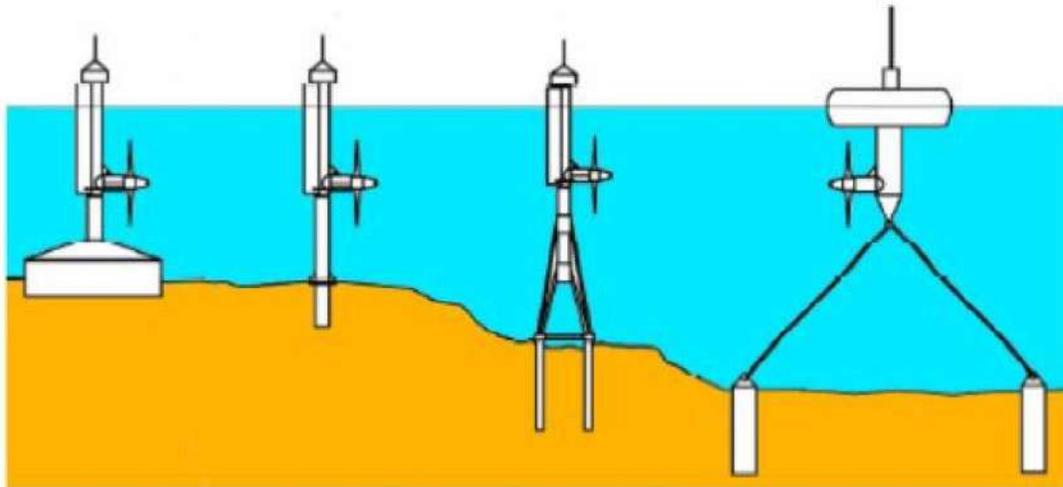
Energía Mareomotriz



Energía de las corrientes marinas

Ésta aprovecha la energía cinética contenida en las corrientes marinas para producir energía. Estos efectos pueden verse intensificados cuando la corriente atraviesa zonas estrechas limitadas por masas de terreno, con lo que se aumenta la velocidad.

Los emplazamientos con mayor potencial suelen encontrarse a un kilómetro de la costa, donde la profundidad varía entre 20 y 30 metros.

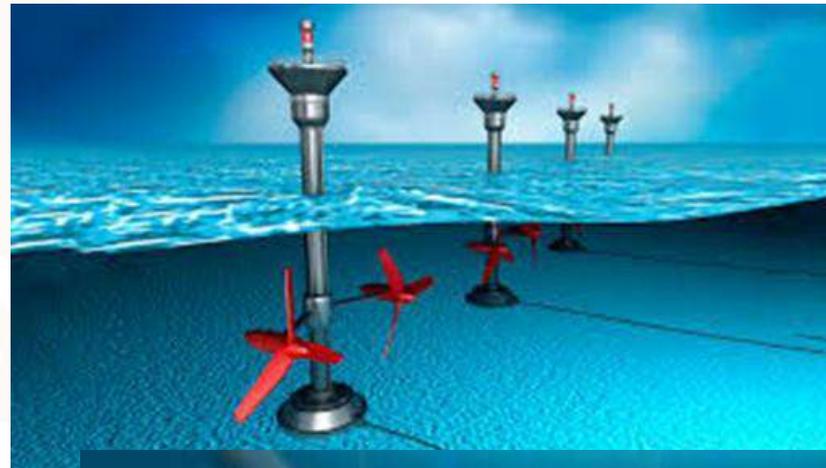


Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz



Energía de las corrientes marinas



Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz

Energía azul



Este tipo de energía también es conocida con el nombre de energía azul, y aprovecha la diferencia de concentración de sal que existe entre el agua del mar y de los ríos. La energía se obtiene mediante un proceso de ósmosis.



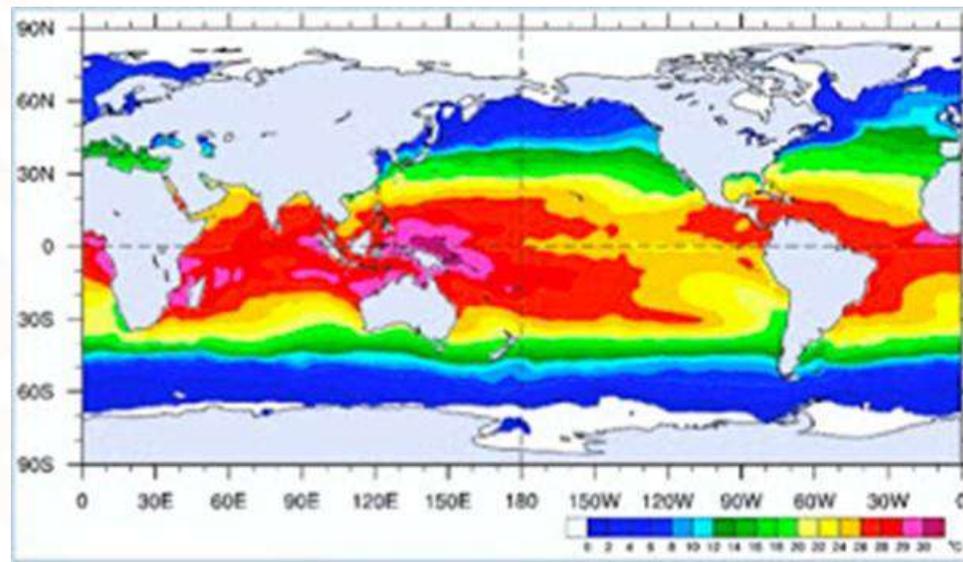
Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz Energía mareomotérmica



Los océanos son los mayores focos de acumulación de la energía solar, ya que su gran inercia térmica permite que las temperaturas sean más estables en ellos.

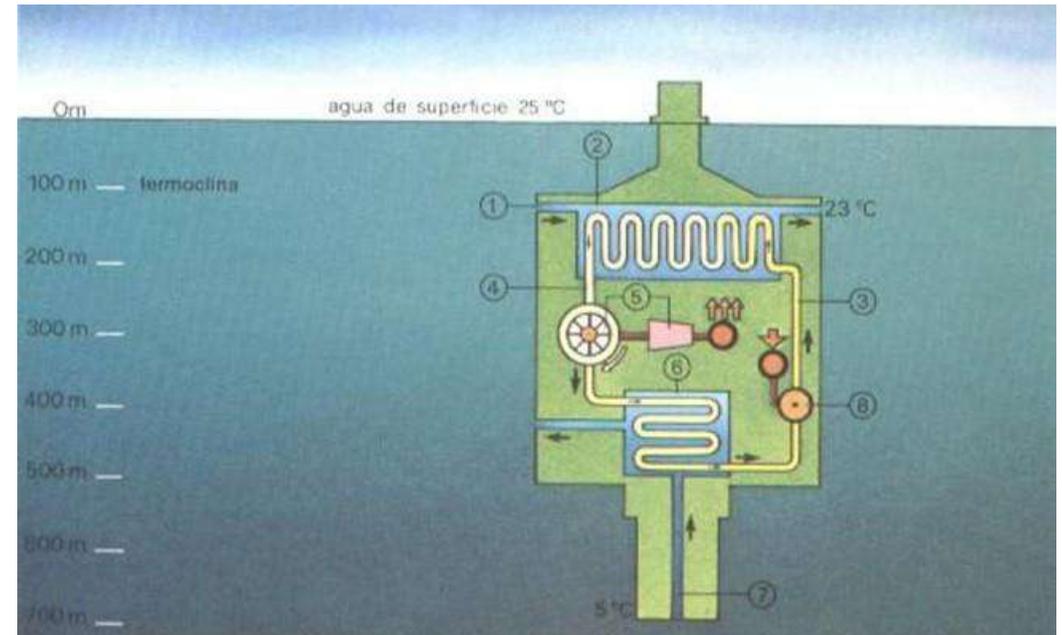
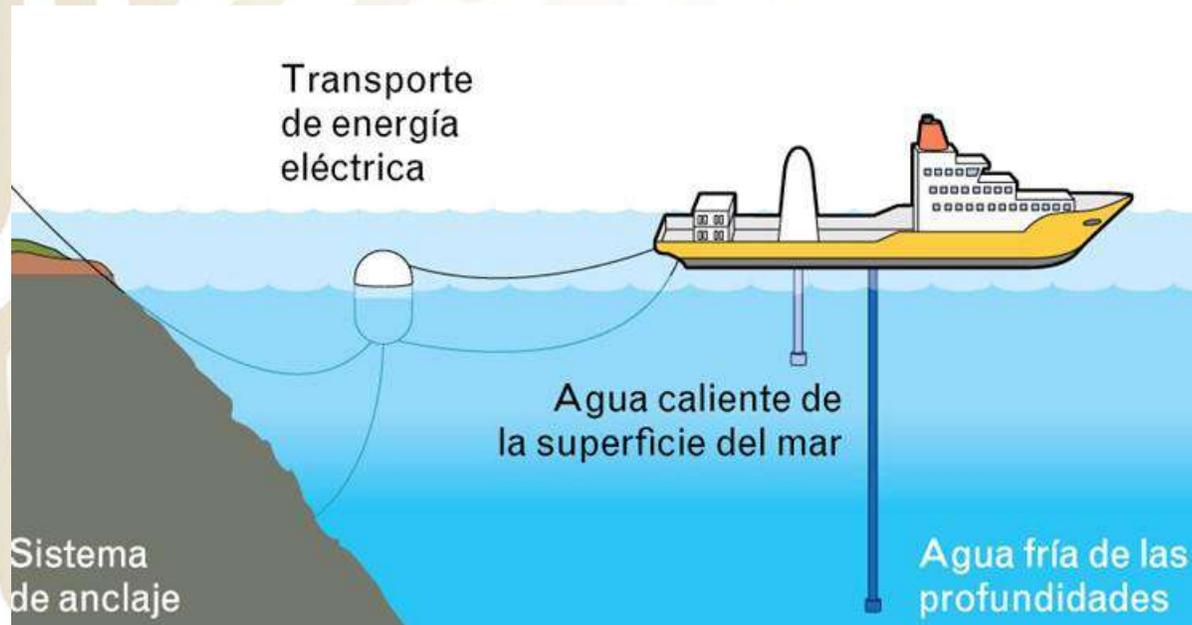
La diferencia de temperatura que existe entre el agua superficial y el fondo del mar es consecuencia del grado de penetración del calor solar, esto se conoce con el nombre de gradiente térmico. Para poder obtener energía mareomotérmica es necesario que el gradiente térmico sea de al menos 20 grados.



Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz

Energía mareomotérmica



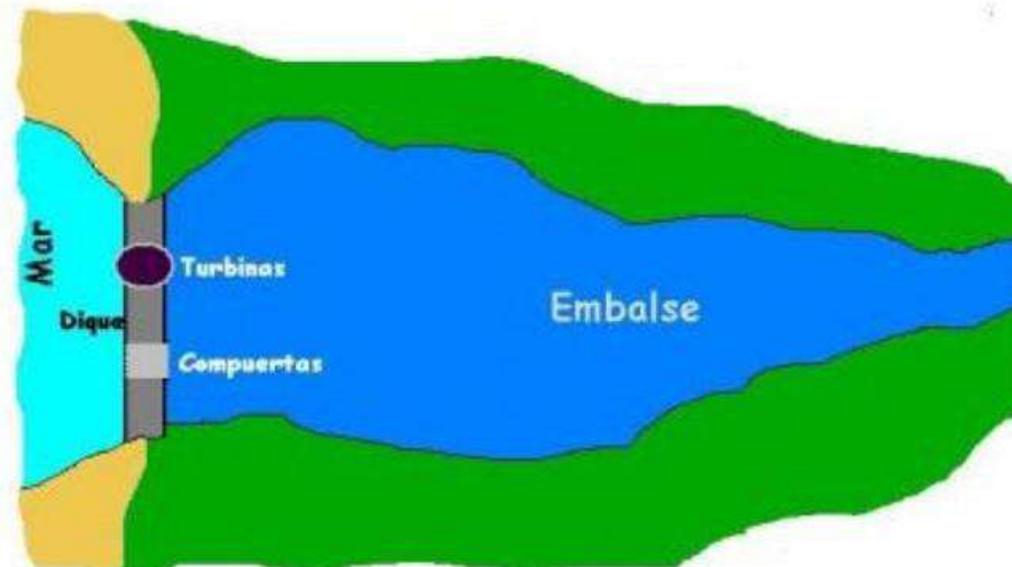
Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz



Energía mareomotriz

En una central mareomotriz existe un embalse y un dique con compuertas. Cuando la marea sube se abren las compuertas y comienza a entrar el agua, llenándose el embalse. Cuando baja la marea las compuertas se cierran, hasta que se ha alcanzado una diferencia de nivel adecuada entre el embalse y el mar, entonces el agua atraviesa unas turbinas que generan la electricidad.



Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz



Energía mareomotriz

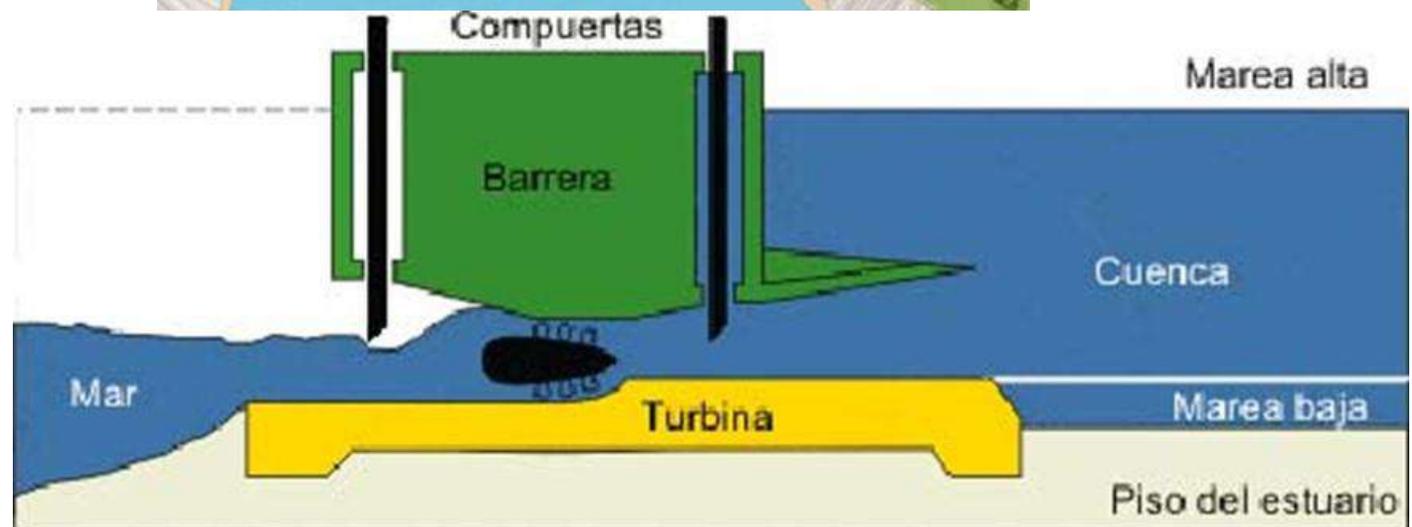
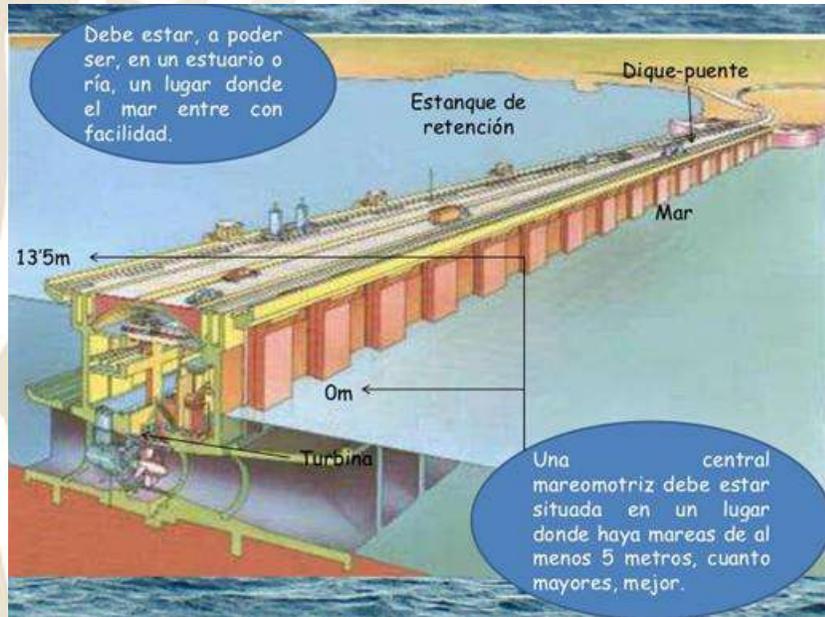
Existen varios ciclos de funcionamiento para estas centrales:

- Ciclo simple, embalse único, generando el bajamar únicamente.
- Ciclo doble efecto, genera en ambas mareas ya que posee turbinas reversibles.
- Ciclo de acumulación por bombeo, almacenamiento por bombeo.
- Ciclo múltiple, emplean varios embalses, lo que permite una generación de energía más continua.

Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz

Energía mareomotriz



Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz



Energía mareomotriz



Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz

Energía mareomotriz

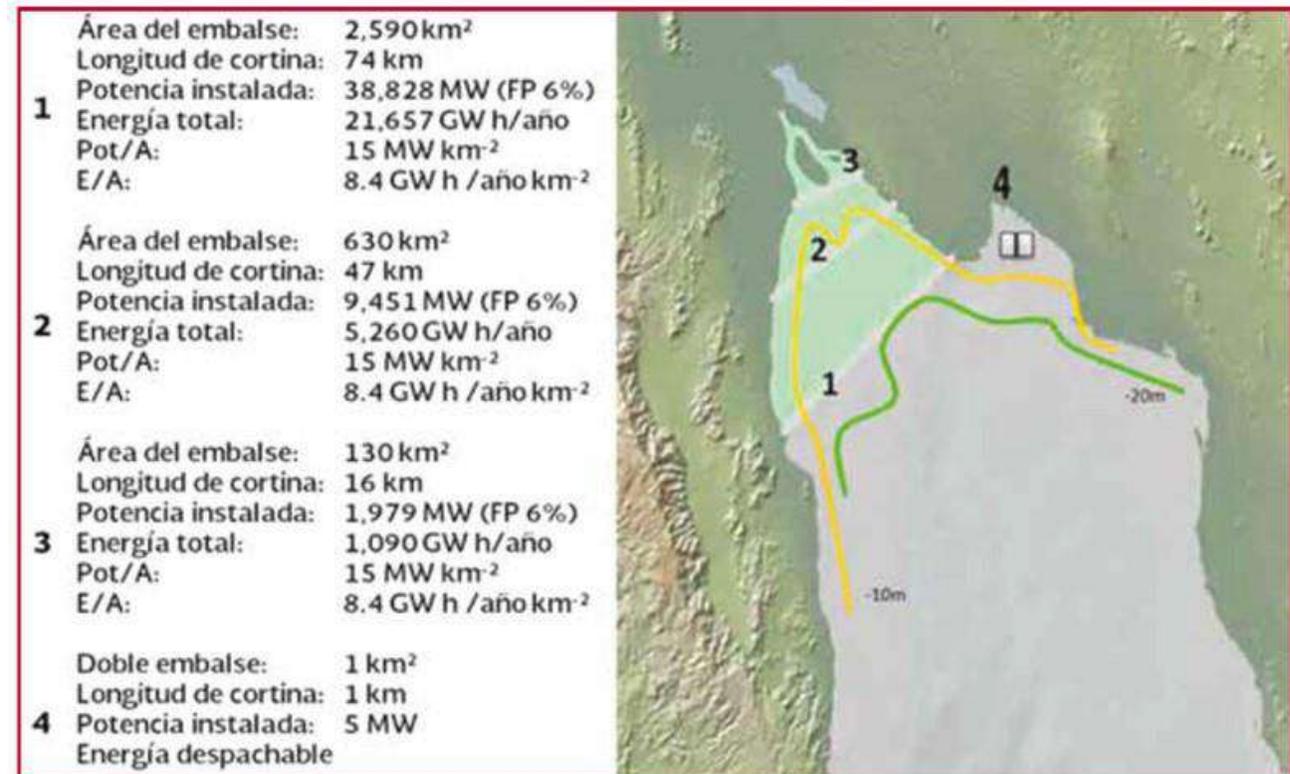
La energía oceánica cuenta con un gran potencial a nivel mundial.

Aprovechamientos factibles:

1. zona norte del mar de Cortés (Puerto Peñasco, Sonora)
2. zona norte de la península de Baja California.



Estimación teórica del potencial energético del alto Golfo de California,



Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz

Energía undimotriz

La energía undimotriz o energía de las olas, es la energía que permite la obtención de electricidad a partir de energía mecánica generada por el movimiento de las olas. Es una de las fuentes de energía renovable más estudiadas actualmente.



Fuentes Alternas de Energía Energía Mareomotriz



Energía undimotriz

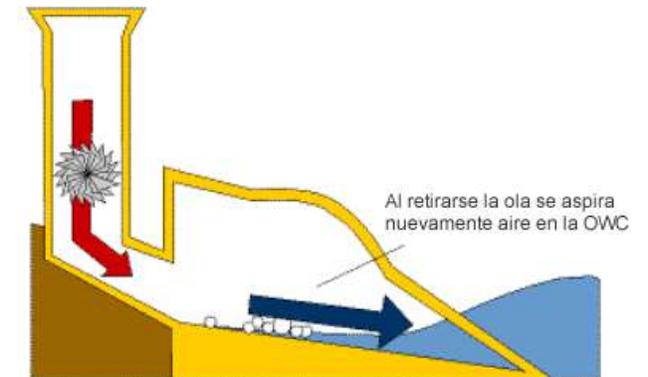
La tecnología para aprovechar este tipo de energía se encuentra en estado de evolución continua. Los métodos de generación existentes pueden clasificarse en:

- Según su **ubicación**: dispositivos en costa, cercanos a la costa o lejanos a la costa.
- Según el **principio de captación**: diferencias de presión en un fluido, cuerpos flotantes activados por olas o sistemas de rebosamiento y/o impacto.
- Según su **comportamiento dinámico**: activos y pasivos.
- Según su **tamaño y orientación**: absorbedores puntuales, totalizadores o terminadores, atenuadores

Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz

Energía undimotriz



Fuentes Alternas de Energía

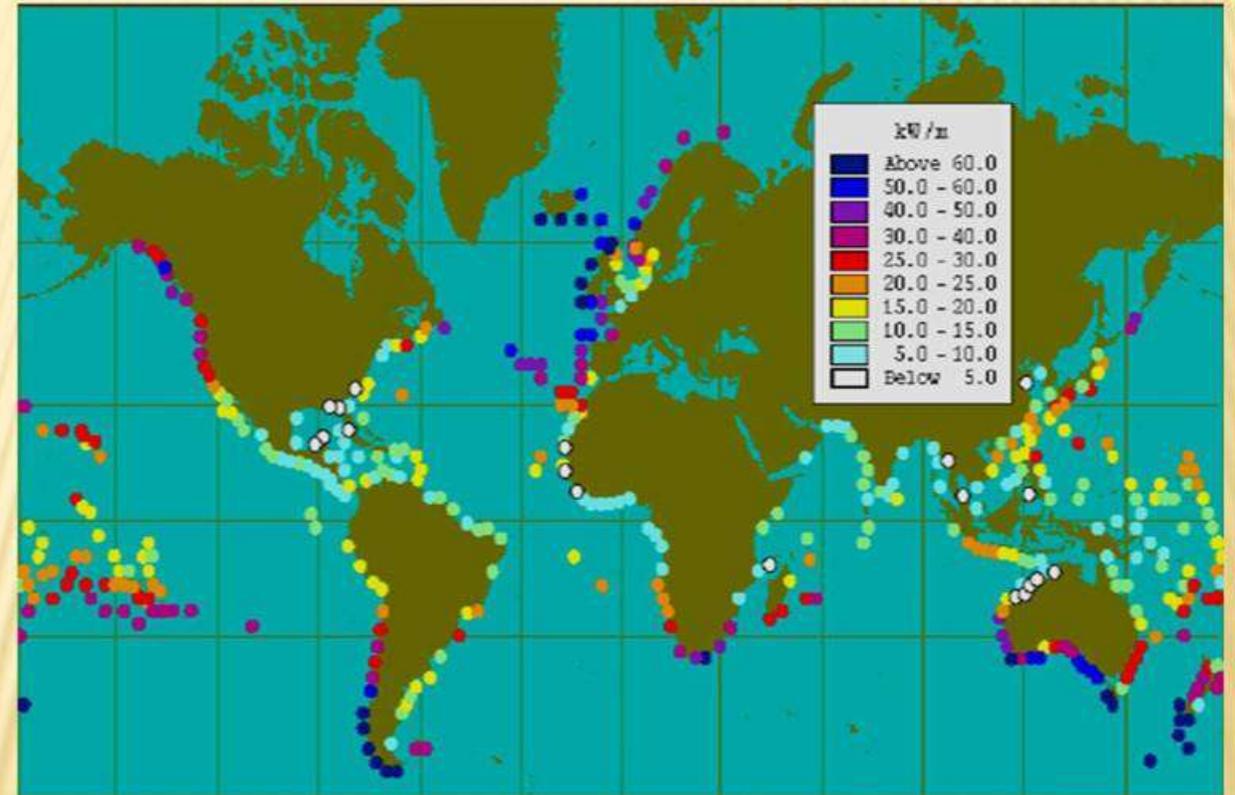
Energía Mareomotriz



Energía undimotriz

The strongest winds blow between 30° and 60° in latitude.

Western coastlines at these latitudes experience the most powerful waves.



Global Wave Energy Resource Distribution
(measuring the amount of power in kW contained in each linear meter of wave front)

Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz



ESCUELA
DEL AGUA



Impacto visual
mínimo



No requiere
combustible y
no genera
GEI



No genera
ruido



Suministro
seguro y
predecible



Energía
renovable

Ventajas

Fuentes Alternas de Energía

Energía Mareomotriz



Alteración de los procesos de migración de la fauna acuática y las aves



Impacto visual sobre el paisaje costero



Posible efecto negativo sobre flora y fauna

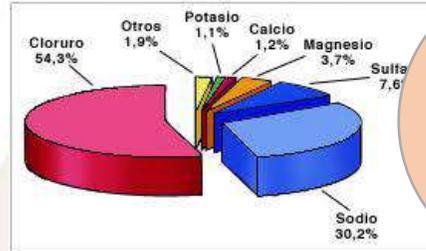


Barreras y desventajas

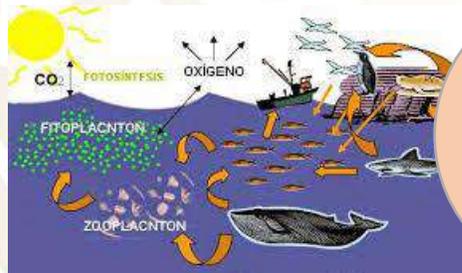
Traslado de energía muy costos



Puede modificar las características del agua (concentración salinidad y nutrientes)



Variación de la velocidad del agua con alteración de la distribución natural del fito y zooplancton



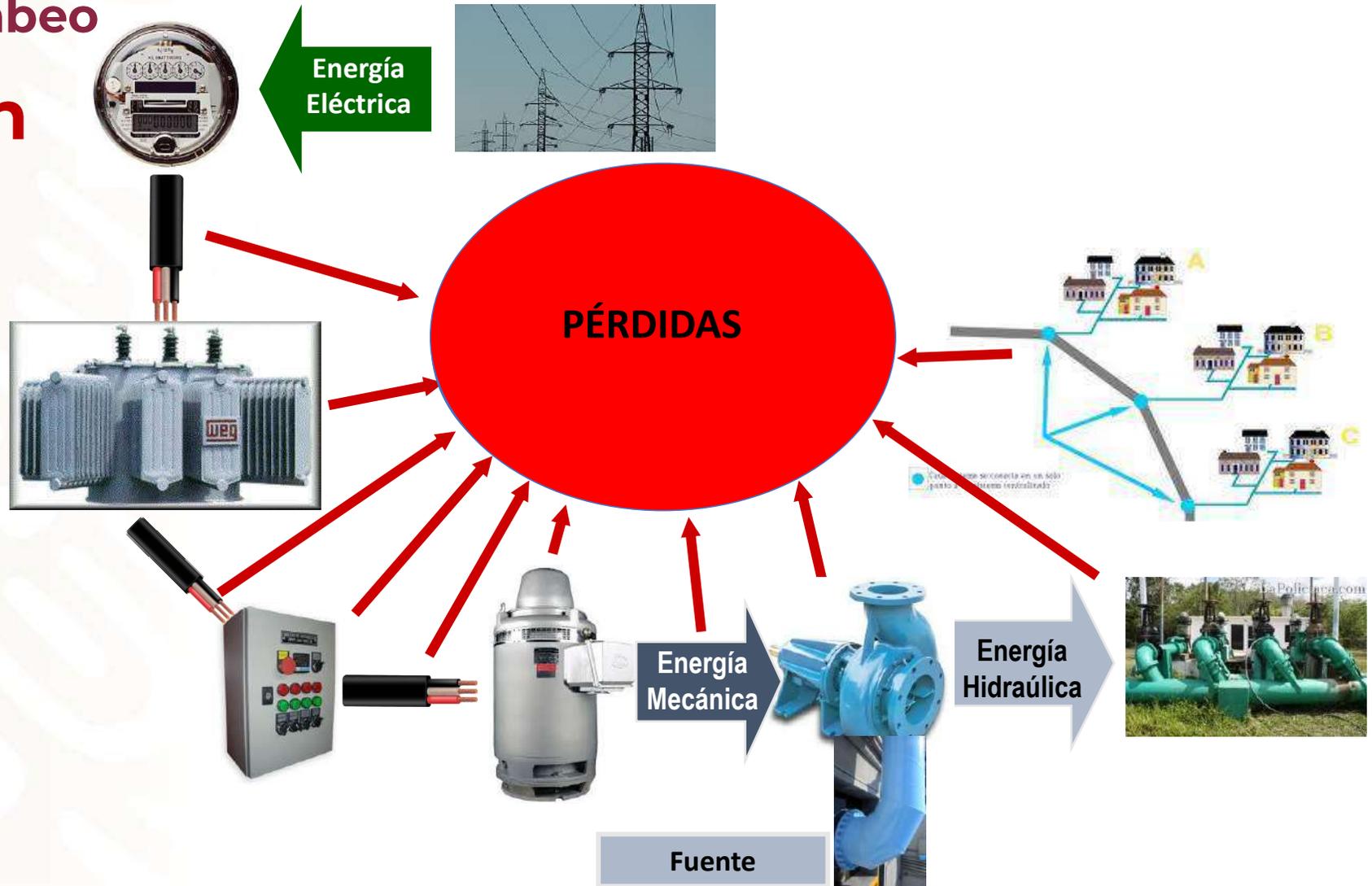
8. Eficiencia energética en sistemas de bombeo

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Introducción

Flujo de energía en el sistema de bombeo



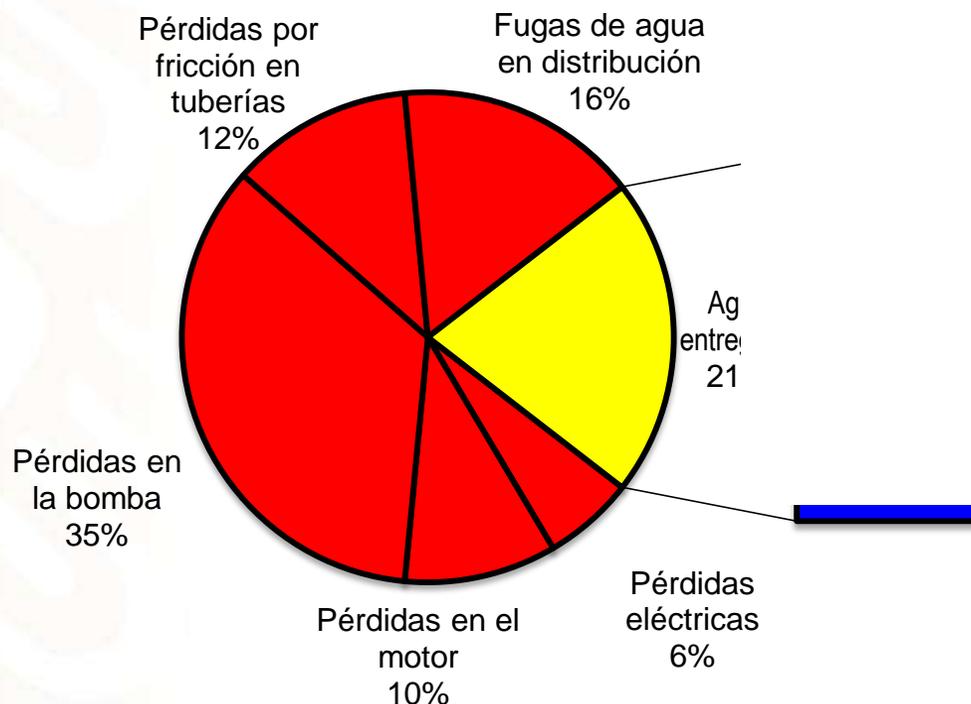
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Introducción



Flujo de energía en el sistema de bombeo



El 86% de la energía se perdió

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo



Introducción

Un ***sistema de bombeo*** es el conjunto de elementos necesarios para desplazar un fluido de un punto a otro. Lo que incluye:

- Sub-sistema de suministro energético
- Sub-sistema de transformación de la energía suministrada en energía hidráulica
- Sub-sistema de conducción hidráulica
- Sub-sistema de control del suministro energético
- Sub-sistema de control del fluido.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Introducción

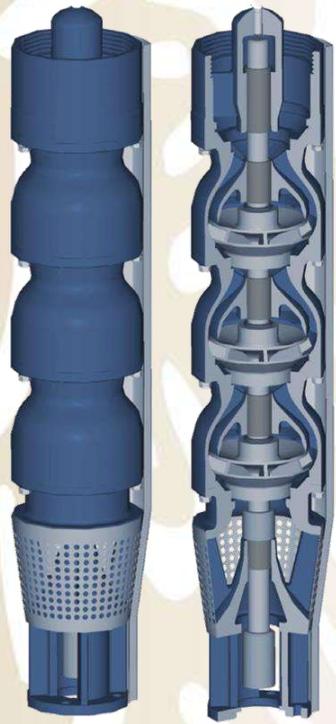


La bomba es el corazón del sistema de bombeo, de su dimensionamiento y sus características específicas, dependerá el trabajo a realizar, así como las características del resto de los elementos del sistema de bombeo.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Introducción



De igual manera, el trabajo de bombeo, el consumo de energía y su costo, dependerán no solo de la bomba, sino también del resto de los componentes del sistema.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo



Introducción

Por ejemplo: una tubería con un diámetro pequeño demandará más trabajo de la bomba que una tubería de mayor diámetro,



A menor diámetro, más pérdidas y por lo tanto mayor carga para la bomba



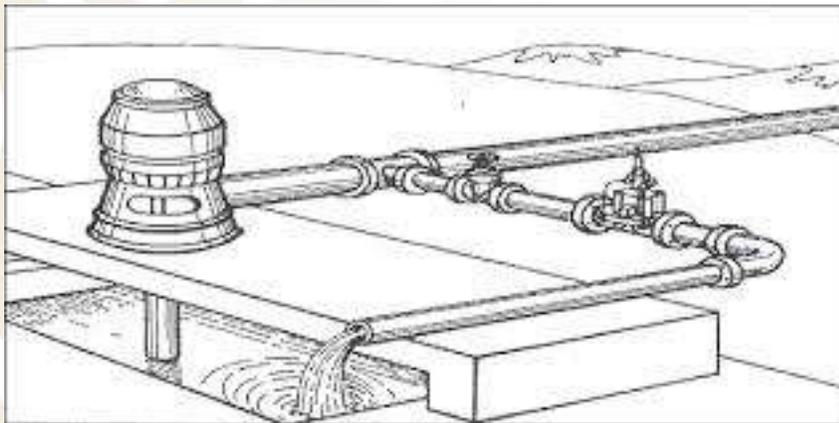
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo



Introducción

Sistemas de control deficientes como por ejemplo válvulas que restrinjan el caudal y válvulas recirculadoras, producen mayores consumos de energía que el uso de sistemas de control más versátiles como los variadores de velocidad.



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo



Introducción

Es por ello que para lograr un sistema de bombeo verdaderamente eficiente es necesario optimizar cada una de sus componentes y tomar en cuenta todos los parámetros involucrados en el proceso.

3. Eficiencia energética en el sistema eléctrico

3.1. Calibre óptimo del conductor eléctrico

3.2. Eficiencia energética en transformadores

3.3. Eficiencia energética en motores eléctricos

3.4. Optimización del factor de potencia

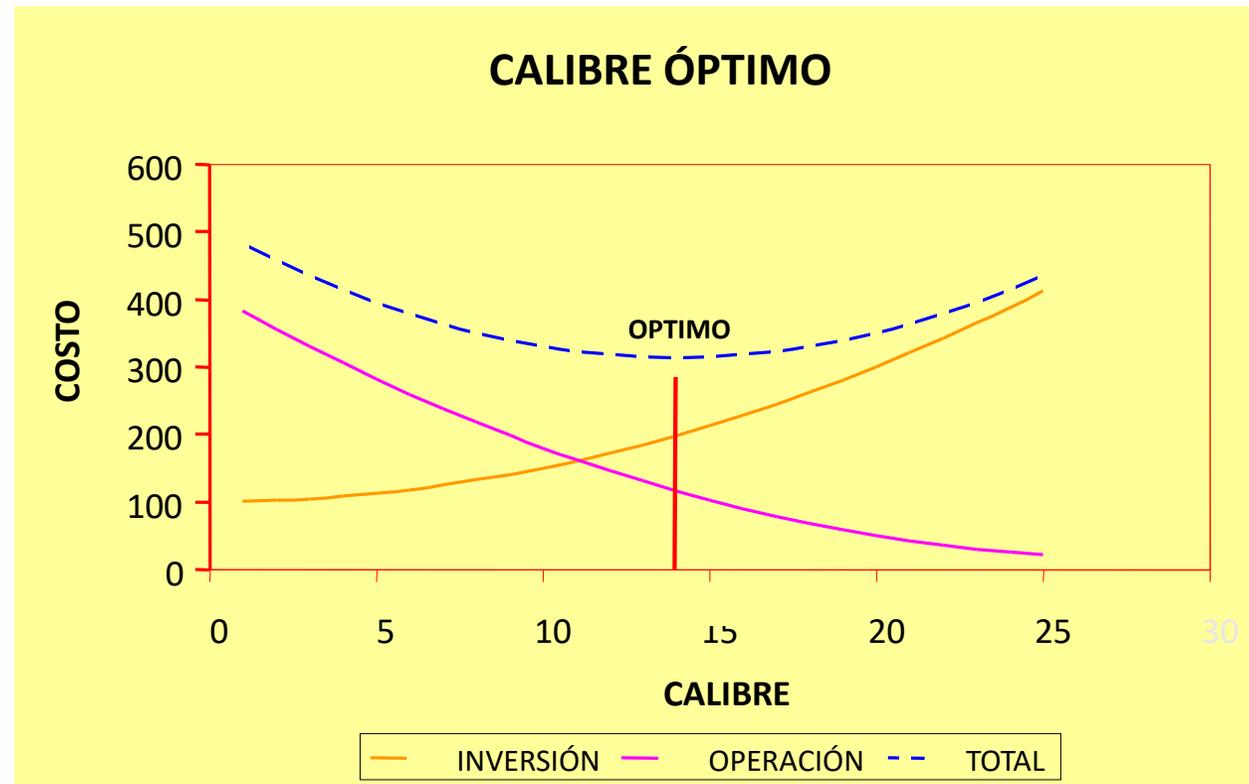
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Selección del calibre óptimo del conductor



El calibre óptimo es aquel que minimiza el costo total (inversión + operación) del conductor a lo largo del ciclo de vida del mismo.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



CASO: Selección del calibre óptimo del conductor.

Se trata de seleccionar el calibre óptimo del conductor eléctrico, para alimentar a un equipo de bombeo que demanda 150 Amperes a 440 V.

La distancia a cablear son 130m, con 4 hilos.

La Norma indica que se debe usar un conductor calibre mínimo de: 2/0.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Calibre	Resistencia			ΔV	
	Ohms/km	L (km)	Ohms	Volts	%
2/0	0.2610	0.13	0.03393	5.09	1.16%
3/0	0.2070	0.13	0.02691	4.04	0.92%
4/0	0.1640	0.13	0.02132	3.20	0.73%
250	0.1390	0.13	0.01807	2.71	0.62%
300	0.1157	0.13	0.01504	2.26	0.51%
350	0.0991	0.13	0.01288	1.93	0.44%
400	0.0867	0.13	0.01127	1.69	0.38%
500	0.0695	0.13	0.00904	1.36	0.31%
600	0.0578	0.13	0.00751	1.13	0.26%
750	0.0463	0.13	0.00602	0.90	0.21%

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Calibre	Pérdidas				
	W/fase	kW total	kWh/año	\$/año	VPN (\$) *
2/0	763.4	2.29	20,063	28,087.93	\$275,771.46
3/0	605.5	1.82	15,912	22,276.64	\$218,715.30
4/0	479.7	1.44	12,607	17,649.12	\$173,281.69
250	406.6	1.22	10,685	14,958.71	\$146,866.79
300	338.4	1.02	8,894	12,451.24	\$122,248.12
350	289.9	0.87	7,618	10,664.81	\$104,708.63
400	253.6	0.76	6,665	9,330.36	\$91,606.84
500	203.3	0.61	5,342	7,479.35	\$73,433.40
600	169.1	0.51	4,443	6,220.24	\$61,071.23
750	135.4	0.41	3,559	4,982.65	\$48,920.38

* $i = 8\%$

$n = 20$ años

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Calibre	Precio Unit	Inversión	Costo Total (Inv. + Oper.)
1/0	\$105.50	\$54,857.40	\$402,477.37
2/0	\$130.65	\$67,938.00	\$343,709.46
3/0	\$164.88	\$85,737.08	\$304,452.38
4/0	\$204.95	\$106,571.40	\$279,853.09
250	\$246.90	\$128,385.92	\$275,252.71
300	\$289.58	\$150,579.00	\$272,827.12
350	\$338.59	\$176,064.20	\$280,772.83
400	\$393.41	\$204,571.12	\$296,177.96
500	\$462.38	\$240,439.68	\$313,873.08
600	\$556.27	\$289,260.40	\$350,331.63
750	\$678.46	\$352,797.64	\$401,718.02

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Áreas de mejora de la eficiencia energética en transformadores:

- Operación en la zona de máxima eficiencia.
- Eficiente remoción de calor.



Fuentes Alternas de Energía

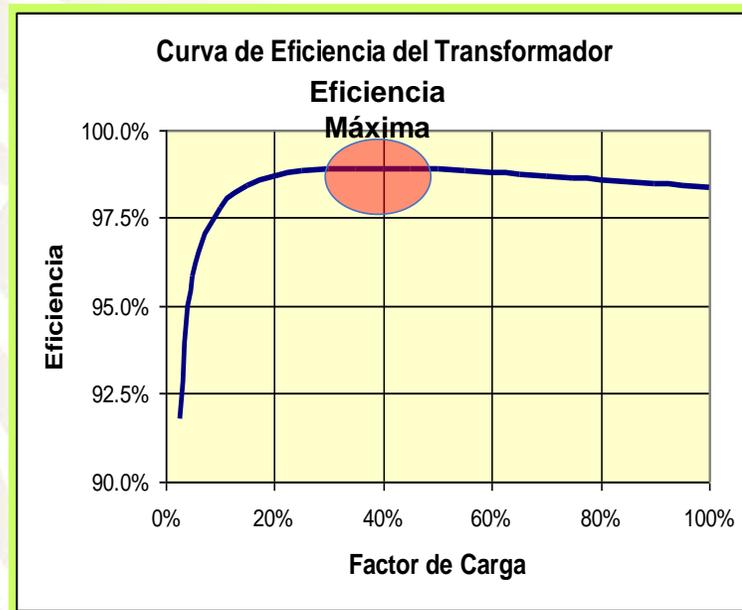
Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Operación en la zona de máxima eficiencia.

$$P_t = P_n + (P_c * C^2)$$

$$Efic = kW_d / (kW_d + P_t)$$



Pérdidas en un transformador		
Potencia Nominal (kVA)	Pérdidas en el hierro (W)	Pérdidas en el Cobre a Potencia Nominal (W)
25	195	670
50	345	810
75	400	1080
100	435	1085
125	480	2350
160	490	2600
200	570	3400
250	675	4230
315	750	5250
400	900	6200
500	1000	8050
630	1250	9000
800	1690	10800
1000	1800	12600
1250	2010	16800
1600	2500	19000
2000	2750	23900
2500	3480	29600
3150	3500	30500
4000	4300	34000
5000	5000	39500
6300	6300	45000
8000	7000	57000
10000	7600	68500

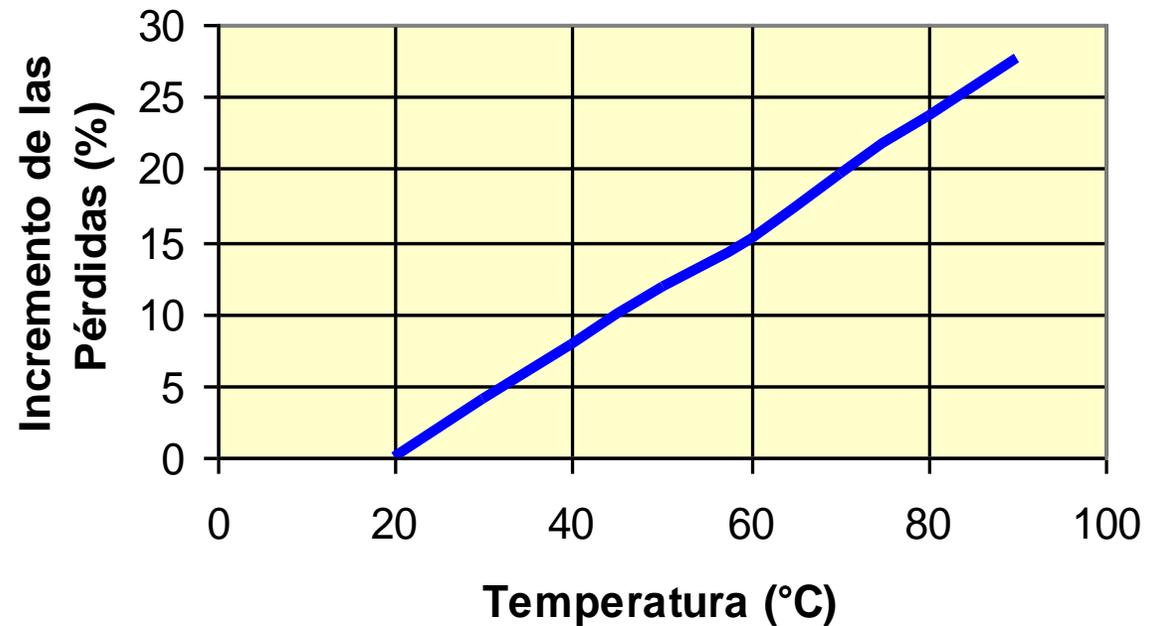
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



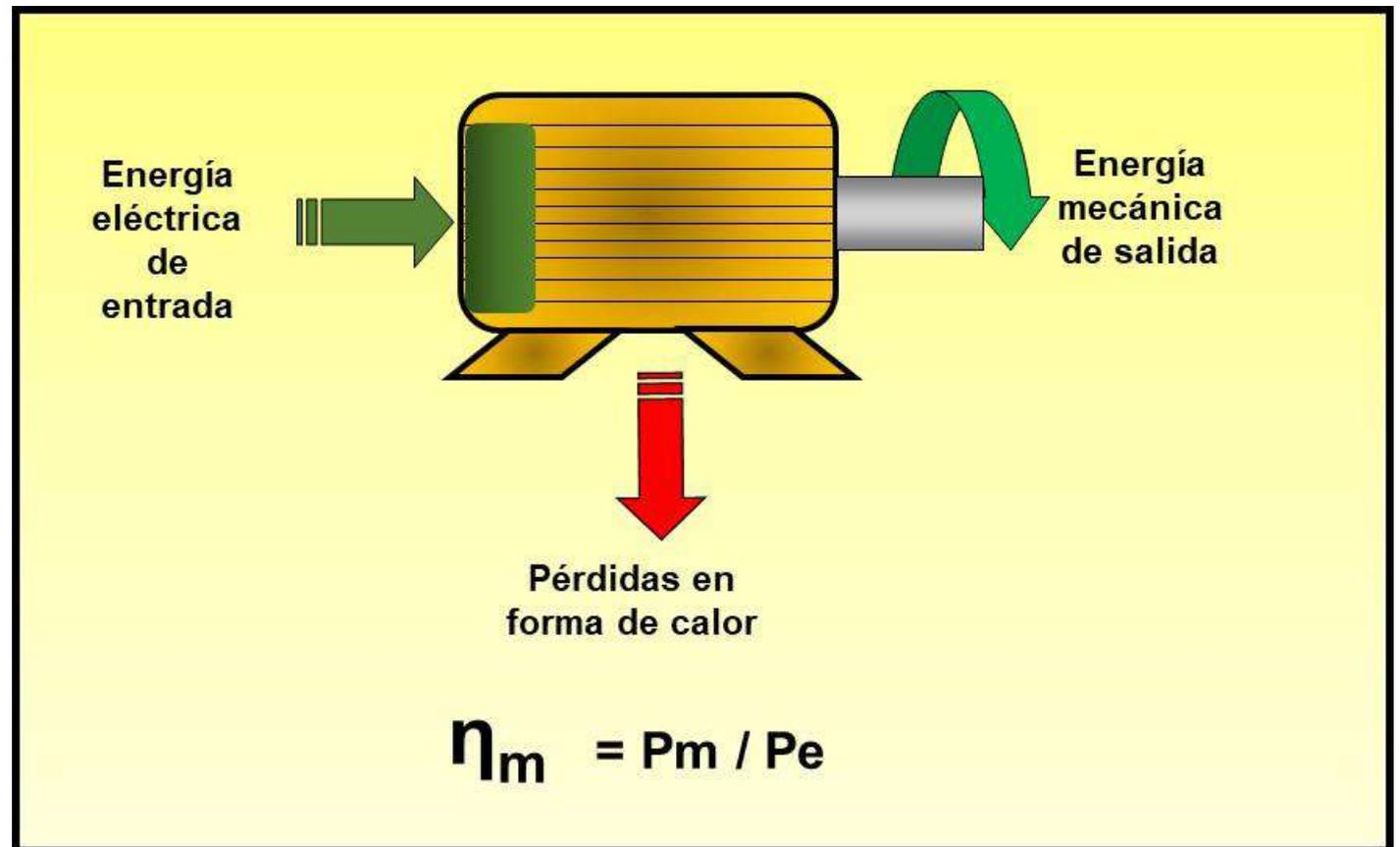
Incremento de la Pérdidas en Transformadores como función de la temperatura



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

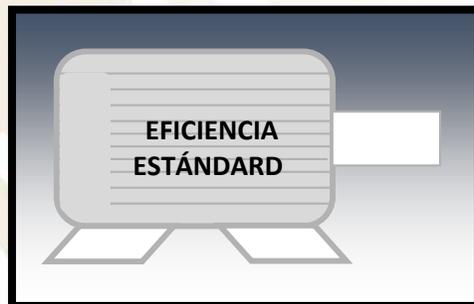


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Evolución de la Eficiencia de los Motores Eléctricos en los últimos años



Un motor de eficiencia premium puede tener una eficiencia entre 4 y 6% superior a uno estándar.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Un motor que ha sido reparado (rebobinado) pierde entre **2 y 3 %** de su eficiencia en el proceso de reparación



Un motor de eficiencia premium tiene una eficiencia **8 ó 10%** superior a uno estándar que ha sido rebobinado.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-016-ENER-2016, EFICIENCIA ENERGÉTICA DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA, TRIFÁSICOS, DE INDUCCIÓN, TIPO JAULA DE ARDILLA, EN POTENCIA NOMINAL DE 0,746 KW A 373 KW



Potencia nominal, kW	Potencia nominal, CP	MOTORES CERRADOS				MOTORES ABIERTOS			
		2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos	2 Polos	4 Polos	6 Polos	8 Polos
0,746	1	77,0	85,5	82,5	75,5	77,0	85,5	82,5	75,5
1,119	1,5	84,0	86,5	87,5	78,5	84,0	86,5	86,5	77,0
1,492	2	85,5	86,5	88,5	84,0	85,5	86,5	87,5	86,5
2,238	3	86,5	89,5	89,5	85,5	85,5	89,5	88,5	87,5
3,730	5	88,5	89,5	89,5	86,5	86,5	89,5	89,5	88,5
5,595	7,5	89,5	91,7	91,0	86,5	88,5	91,0	90,2	89,5
7,460	10	90,2	91,7	91,0	89,5	89,5	91,7	91,7	90,2
11,19	15	91,0	92,4	91,7	89,5	90,2	93,0	91,7	90,2
14,92	20	91,0	93,0	91,7	90,2	91,0	93,0	92,4	91,0
18,65	25	91,7	93,6	93,0	90,2	91,7	93,6	93,0	91,0
22,38	30	91,7	93,6	93,0	91,7	91,7	94,1	93,6	91,7
29,84	40	92,4	94,1	94,1	91,7	92,4	94,1	94,1	91,7
37,30	50	93,0	94,5	94,1	92,4	93,0	94,5	94,1	92,4
44,76	60	93,6	95,0	94,5	92,4	93,6	95,0	94,5	93,0
55,95	75	93,6	95,4	94,5	93,6	93,6	95,0	94,5	94,1
74,60	100	94,1	95,4	95,0	93,6	93,6	95,4	95,0	94,1
93,25	125	95,0	95,4	95,0	94,1	94,1	95,4	95,0	94,1
111,9	150	95,0	95,8	95,8	94,1	94,1	95,8	95,4	94,1
149,2	200	95,4	96,2	95,8	94,5	95,0	95,8	95,4	94,1
186,5	250	95,8	96,2	95,8	95,0	95,0	95,8	95,8	95,0
223,8	300	95,8	96,2	95,8	---	95,4	95,8	95,8	---
261,1	350	95,8	96,2	95,8	---	95,4	95,8	95,8	---
298,4	400	95,8	96,2	---	---	95,8	95,8	---	---
335,7	450	95,8	96,2	---	---	96,2	96,2	---	---
373	500	95,8	96,2	---	---	96,2	96,2	---	---

Aplica a motores eléctricos, con tensión eléctrica nominal de hasta 600 V, abiertos o cerrados, de una sola frecuencia de rotación, de posición de montaje horizontal o vertical, enfriados por aire y régimen continuo, comercializados en territorio nacional.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Factores que afectan la eficiencia del motor eléctrico

- Rebobinado del motor
- Mantenimiento deficiente
- Alimentación eléctrica con voltaje desbalanceado
- Alimentación eléctrica con un voltaje diferente al nominal

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Factores que afectan la eficiencia del motor eléctrico

Rebobinado del motor

Temperatura a la que se sometió el motor (°C)	Depreciación de la eficiencia (puntos porcentuales)
< 633	0.40
633	0.53
683	1.17
733	2.50

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Factores que afectan la eficiencia del motor eléctrico



Mantenimiento deficiente

ACCIONES PARA MEJORAR EL MANTENIMIENTO

- Revisar periódicamente las conexiones del motor, junto con las de su arrancador.
- Mantener en óptimas condiciones los sistemas de enfriamiento y ventilación de los motores
- Efectuar rutinariamente la limpieza del motor, con el propósito de eliminar la suciedad, polvo y objetos extraños, que impidan su óptimo funcionamiento.
- Implantar un programa de mantenimiento preventivo y predictivo.

Fuentes Alternas de Energía

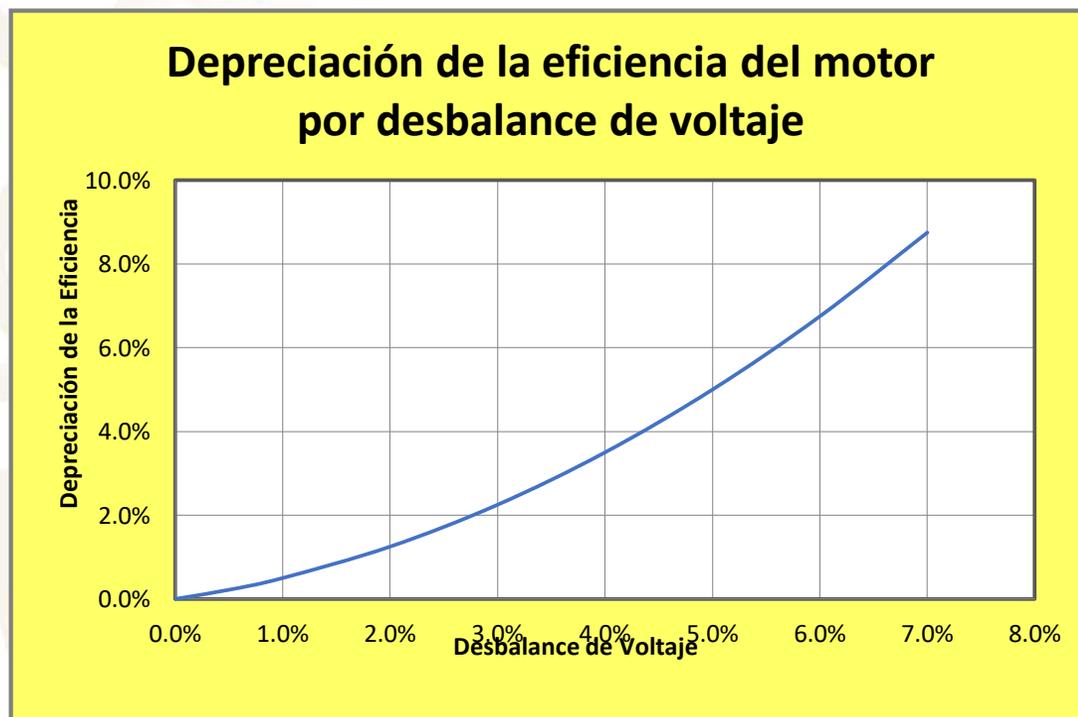
Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Factores que afectan la eficiencia del motor eléctrico



Alimentación eléctrica con voltaje desbalanceado



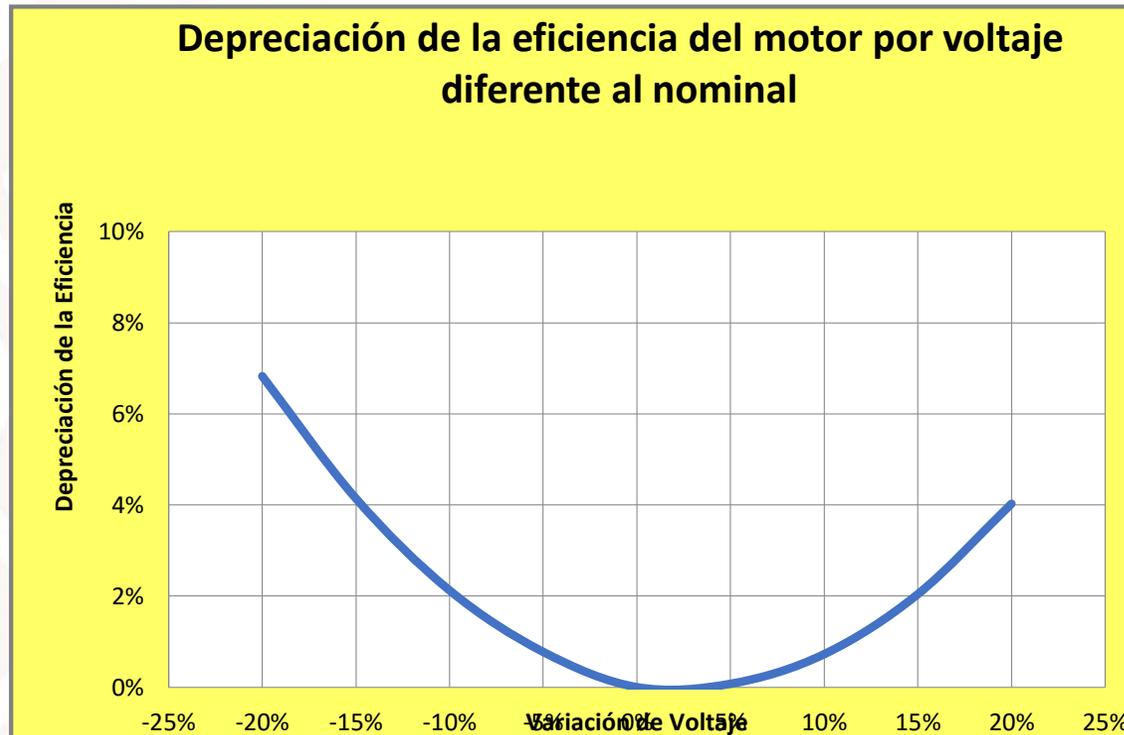
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Factores que afectan la eficiencia del motor eléctrico

Alimentación eléctrica con un voltaje diferente al nominal



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Métodos para la determinación de la eficiencia de motores eléctricos

- Método del Deslizamiento
- Método de depreciación de la curva de eficiencia.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Método del Deslizamiento

$$HP_r = HP_n \times \frac{N_s - N_r}{N_s - N_n}$$

$$\eta_m = \frac{HP_r \times 0.746}{P_e}$$

Donde:	HPr:	Potencia mecánica entregada por el motor
	HPn:	Potencia mecánica nominal del motor
	Ns:	Velocidad sincrónica
	Nr:	Velocidad a las condiciones de operación
	Nn:	Velocidad nominal de operación
	Pe:	Potencia eléctrica demandada

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Caso de estudio 1:

Como parte de los trabajos en campo de la auditoría energética a una instalación industrial, se realizaron mediciones de potencia demandada y velocidad de operación a un motor eléctrico de inducción:

Datos de Placa:

- Potencia: $HP_n = 75$
- # de polos: $= 4$
- Velocidad: $N_n = 1770$
- Voltaje: $V = 480$

Mediciones:

- Potencia eléctrica: $P_e = 29.5 \text{ kW}$
- Velocidad $N_r = 1786$
- Voltaje: $V = 444$

Se trata de determinar por el método del deslizamiento la eficiencia con la que está trabajando el motor



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Método del Deslizamiento

Observaciones:

- Motores que han sido reparados (rebobinados), cambian sus condiciones de operación, lo que significa que los datos de placa, no aplican y por lo tanto el método no se puede usar.
- El tacómetro para medir la velocidad de operación, debe tener una muy buena precisión. Un error del $\pm 0.1\%$ significará un error de más del 10% en el valor de la eficiencia.



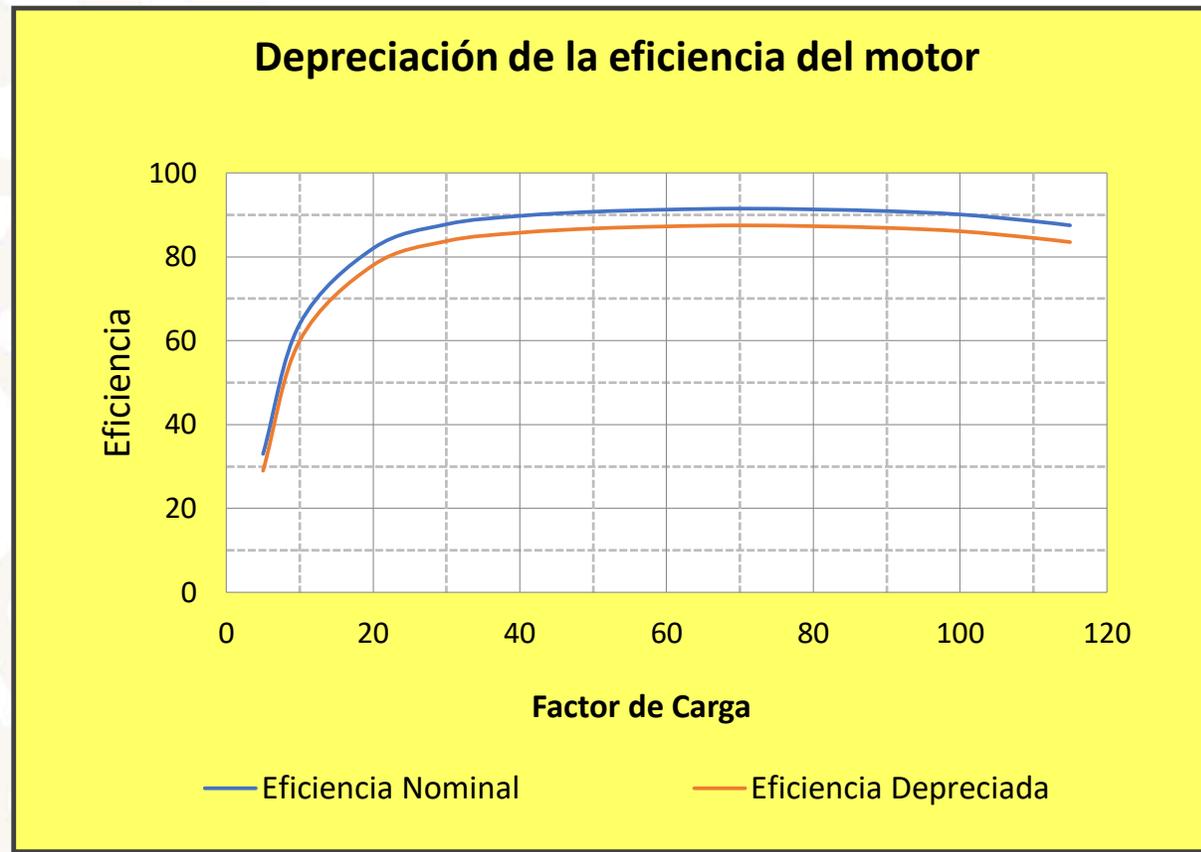
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Método de depreciación de la curva de eficiencia.



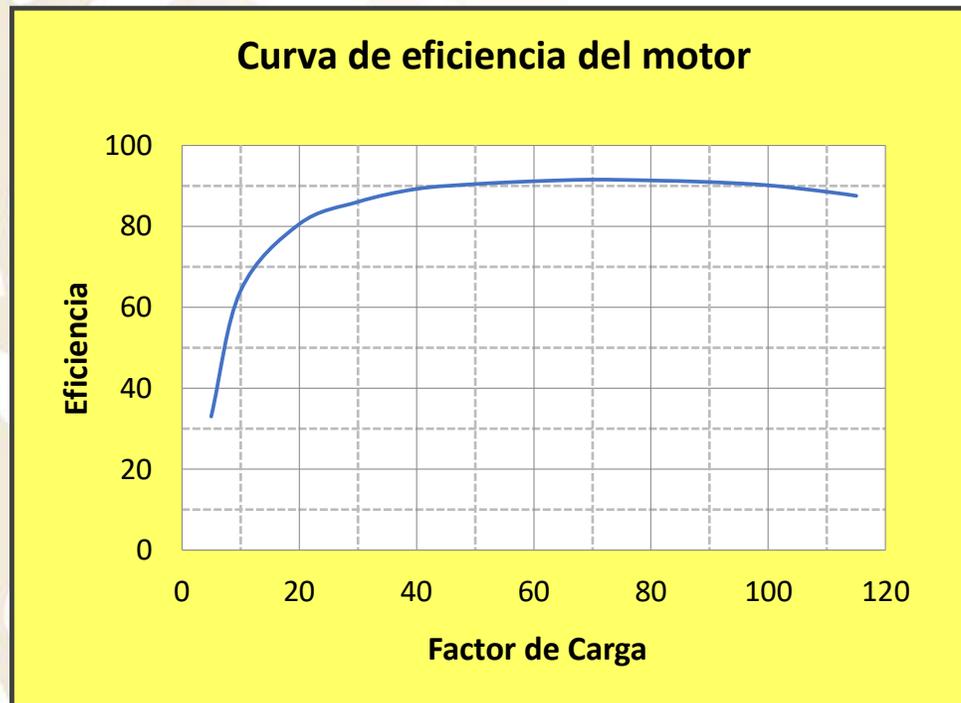
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Método de depreciación de la curva de eficiencia.

1er Paso: Conseguir la curva de la eficiencia nominal del motor.



FC	Eficiencia
25	83.25
50	90.40
75	91.50
100	90.10

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Método de depreciación de la curva de eficiencia.

2° Paso: Determinar la depreciación de la eficiencia del motor por rebobinados.



Temperatura a la que se sometió el motor (°C)	Depreciación de la eficiencia (puntos porcentuales)
< 633	0.40
633	0.53
683	1.17
733	2.50

Fuentes Alternas de Energía

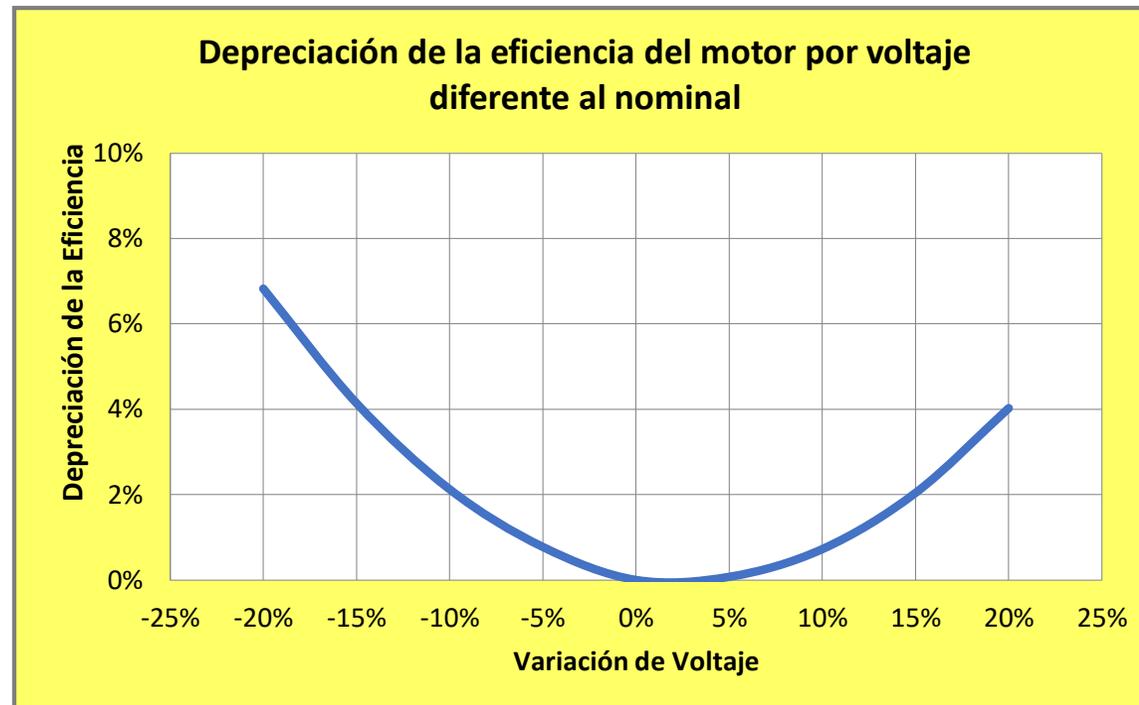
Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Método de depreciación de la curva de eficiencia.

3er Paso: Determinar la depreciación de la eficiencia por suministro de voltaje diferente al nominal.



Fuentes Alternas de Energía

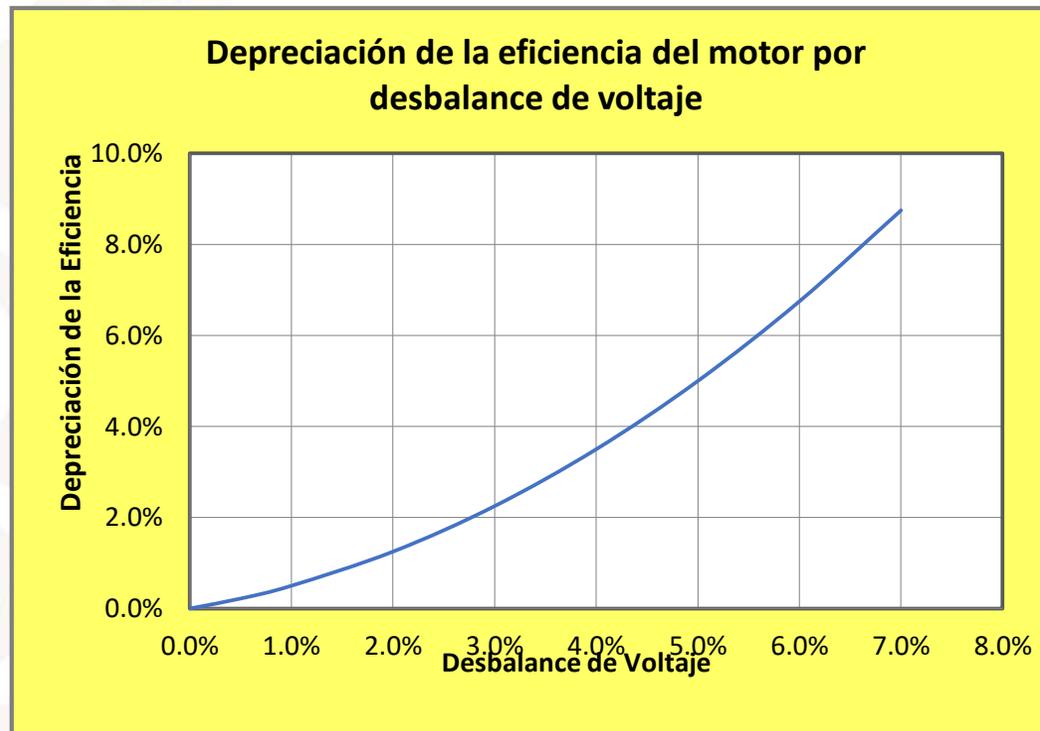
Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Método de depreciación de la curva de eficiencia.

4° Paso: Determinar la depreciación de la eficiencia por desbalance de voltaje.



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico



Método de depreciación de la curva de eficiencia.

5° Paso: Determinar la depreciación total de la eficiencia del motor.

$$DE_t = DE_R + DE_{VV} + DE_{DV}$$

Donde: DE_t es la depreciación total de la eficiencia
 DE_R es la depreciación por rebobinados
 DE_{VV} es la depreciación por voltaje diferente al nominal.
 DE_{DV} es la depreciación por desbalance de voltaje.

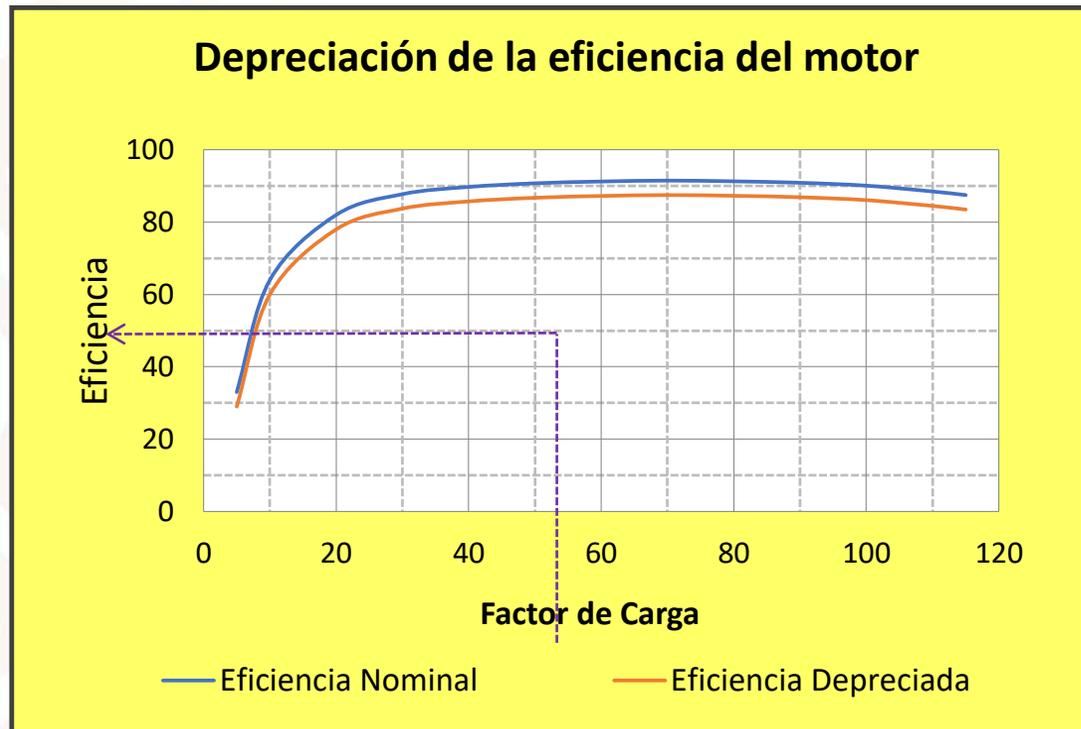
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

El sistema eléctrico

Método de depreciación de la curva de eficiencia.

6° Paso: Aplicar la depreciación total a la eficiencia nominal del motor y encontrar la eficiencia de operación como función del factor de carga



Caso de estudio 2:

Se trata de determinar la eficiencia del motor del caso de estudio 1, considerando que los voltajes entre fases son: $V_{ab} = 440$, $V_{bc} = 438$ y $V_{ca} = 454$, y que el motor ha sido rebobinado una vez aplicando soplete en el proceso.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia



Problemas de Bajo Factor de Potencia

- a) Aumento de las pérdidas por efecto Joule,
- b) Un aumento en la caída de voltaje resultando en un insuficiente suministro de potencia a las cargas
- c) Incremento de la potencia aparente, con lo que se reduce la capacidad de carga instalada y se incrementan las pérdidas en el transformador
- d) Estas pérdidas afectan al productor y distribuidor de energía eléctrica, por lo que como ya se dijo anteriormente se penaliza al usuario haciendo que pague más por su electricidad.

Fuentes Alternas de Energía

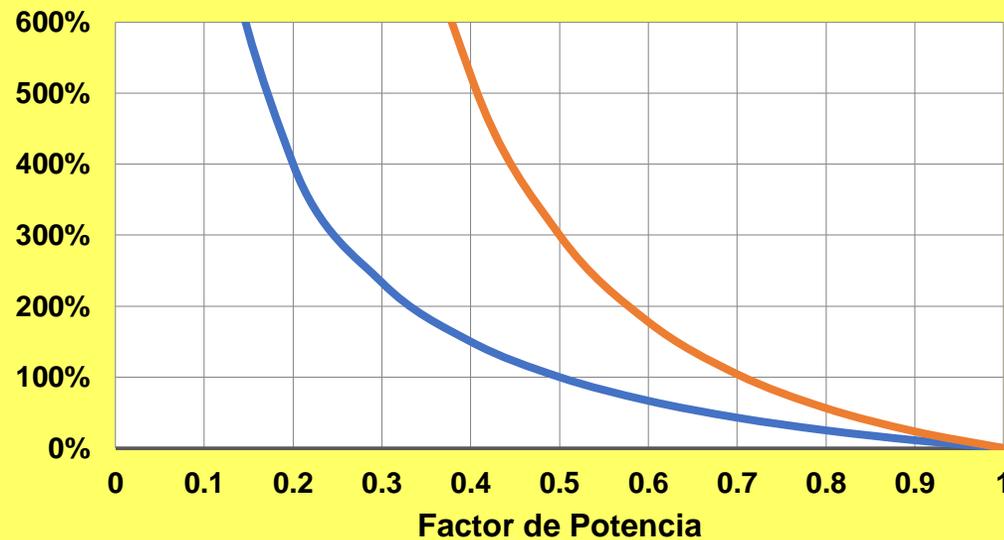
Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia



Problemas de Bajo Factor de Potencia

Efectos del factor de potencia en las conductores



— Incremento de la corriente

— Incremento de las pérdidas

Un FP = 0.65 produce:

incremento en la corriente del 54%

incremento en las pérdidas del 137%

Fuentes Alternas de Energía

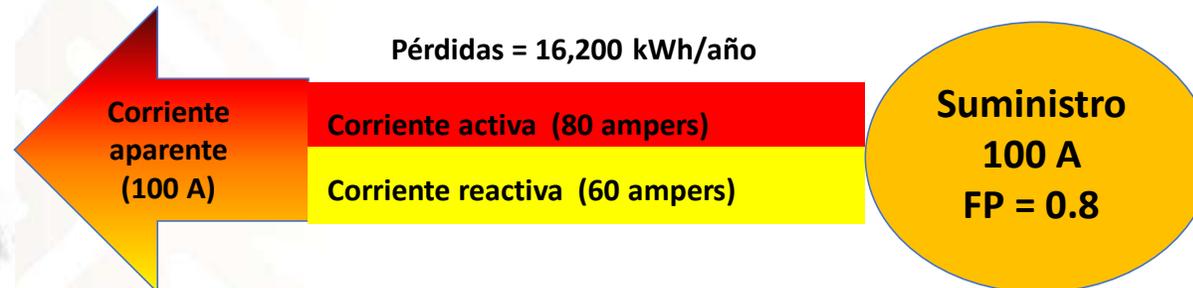
Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia



¿Que equipos producen bajo Factor de Potencia?

Los equipos que funcionan bajo el fenómeno del electromagnetismo como los motores eléctricos, demandan potencia activa para convertirla en trabajo útil y potencia reactiva para crear las condiciones magnéticas de operación. Es por ello que su factor de potencia es menor a la unidad.



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia

¿De que depende que el factor de potencia de un motor sea mayor o menor?

Depende de los siguientes factores:

Características del motor

- **Número de polos.**- a mayor número de polos, menor FP
- **Capacidad del motor.**- a mayor capacidad, mayor FP

Condiciones del motor

- **Factor de carga.**- a mayor factor de carga, mayor FP
- **Estado físico.**- motores en mal estado que hayan sufrido algún daño, presentan un FP más bajo



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia



Pasos para Optimizar el FP

- 1) Identificar el origen del bajo factor de potencia
- 2) Si el motor está sobredimensionado, sustituirlo por uno de la capacidad adecuada
- 3) Si el motor está en mal estado, sustituirlo por uno nuevo de alta eficiencia.
- 4) Instalar capacitores para suministrar los reactivos que requiera el motor.

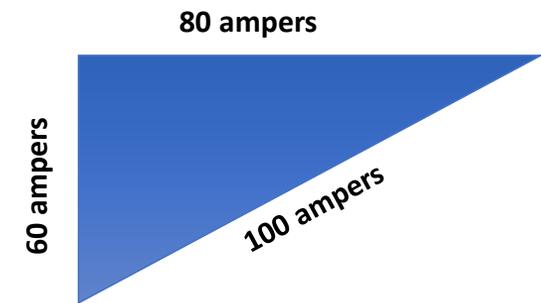
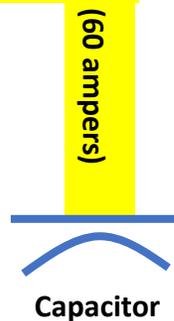
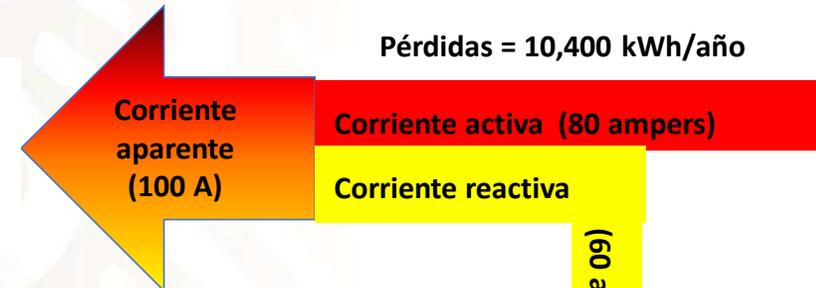
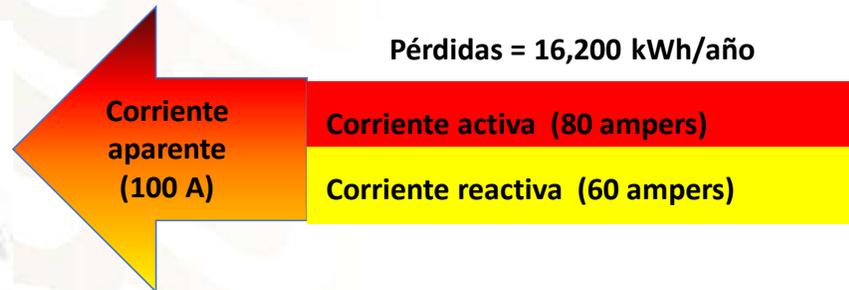
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia



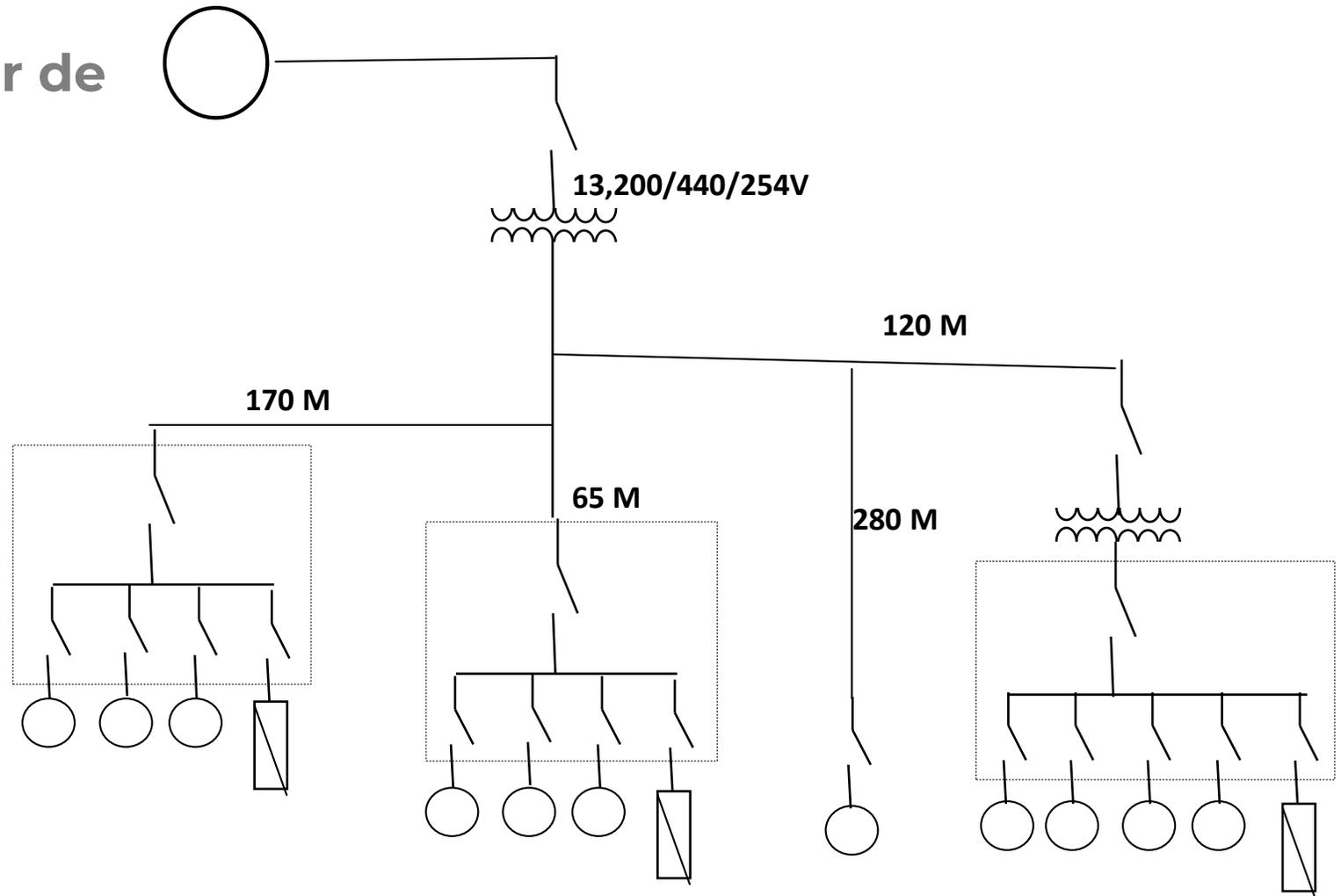
Compensación del FP con capacitores



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia



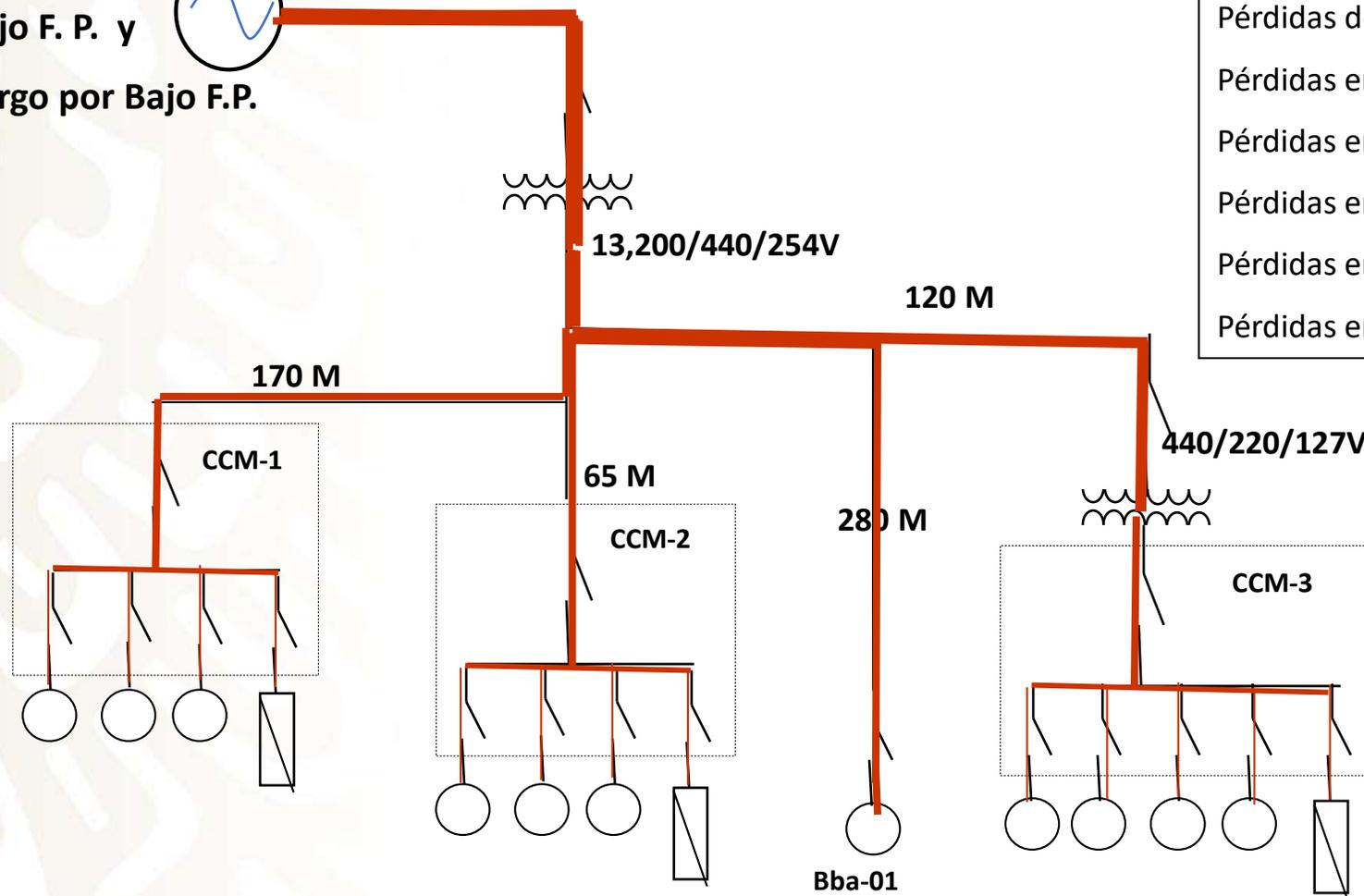
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia

Bajo F. P. y

Cargo por Bajo F.P.

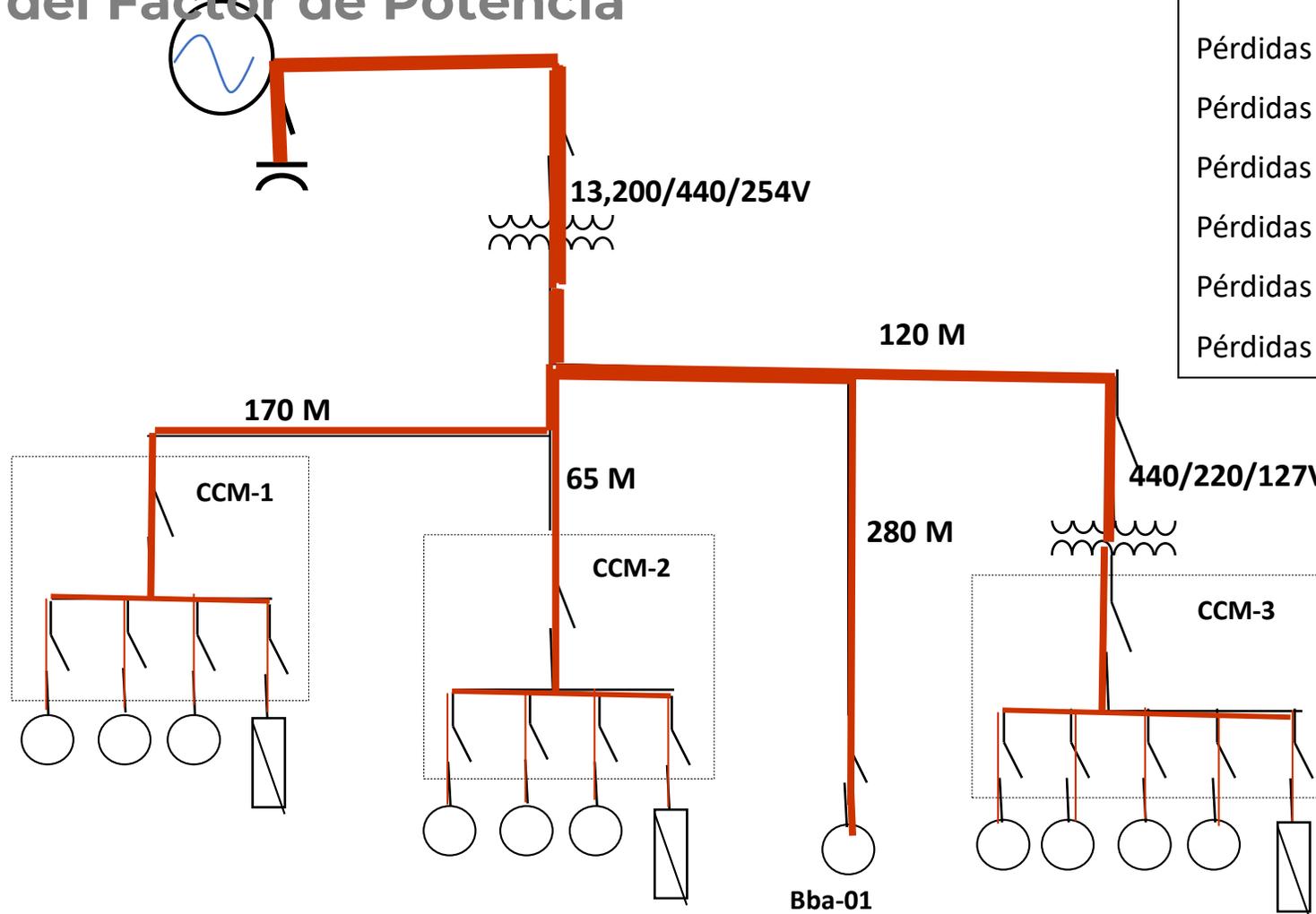


- Pérdidas del TR de MT
- Pérdidas del TR de BT
- Pérdidas en Alimentador en MT
- Pérdidas en Alimentador al CCM-1
- Pérdidas en Alimentador al CCM-2
- Pérdidas en Alimentador al CCM-3
- Pérdidas en Alimentador a Bba-01

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia

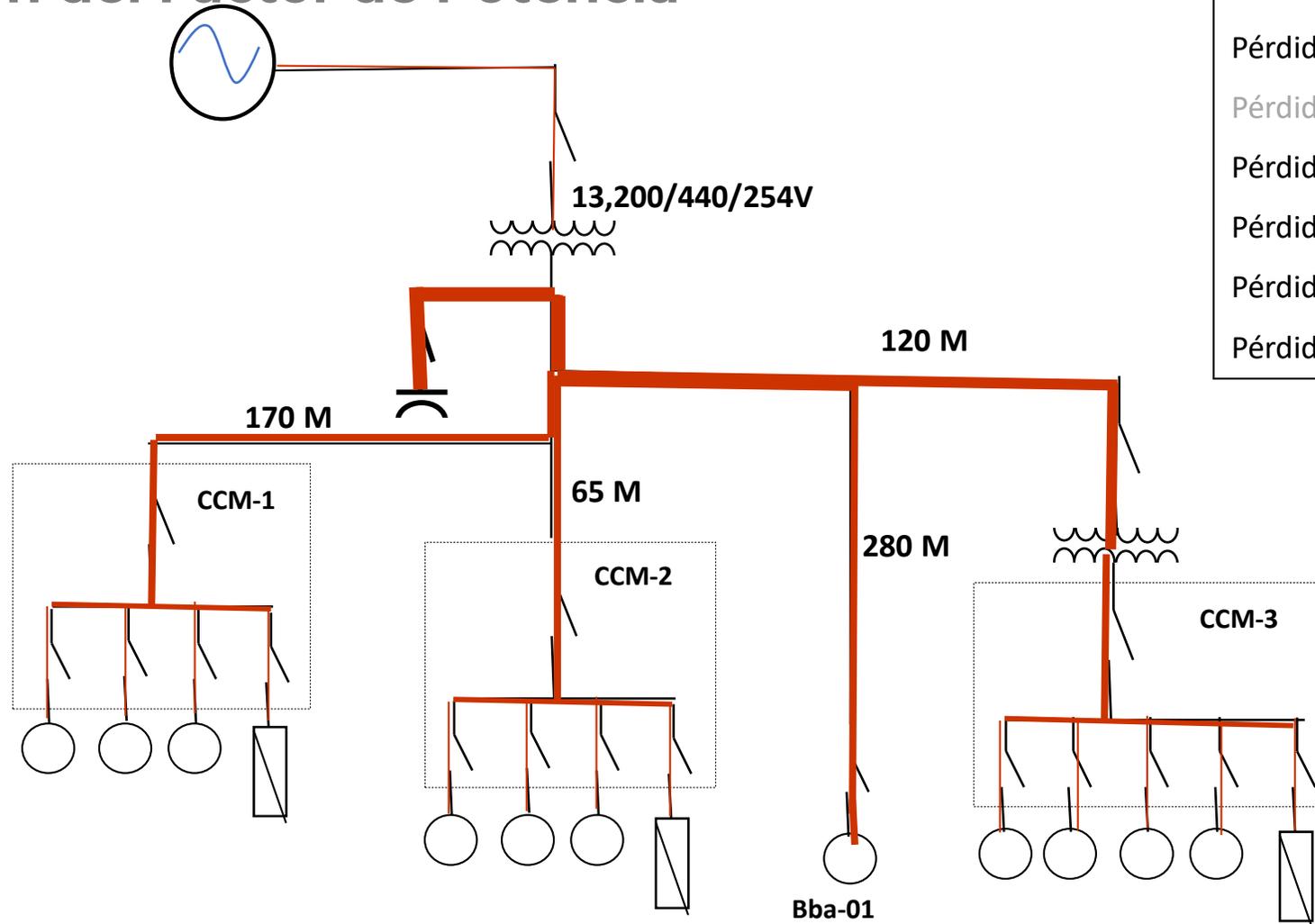


- Pérdidas del TR de MT
- Pérdidas del TR de BT
- Pérdidas en Alimentador en MT
- Pérdidas en Alimentador al CCM-1
- Pérdidas en Alimentador al CCM-2
- Pérdidas en Alimentador al CCM-3
- Pérdidas en Alimentador a Bba-01

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia

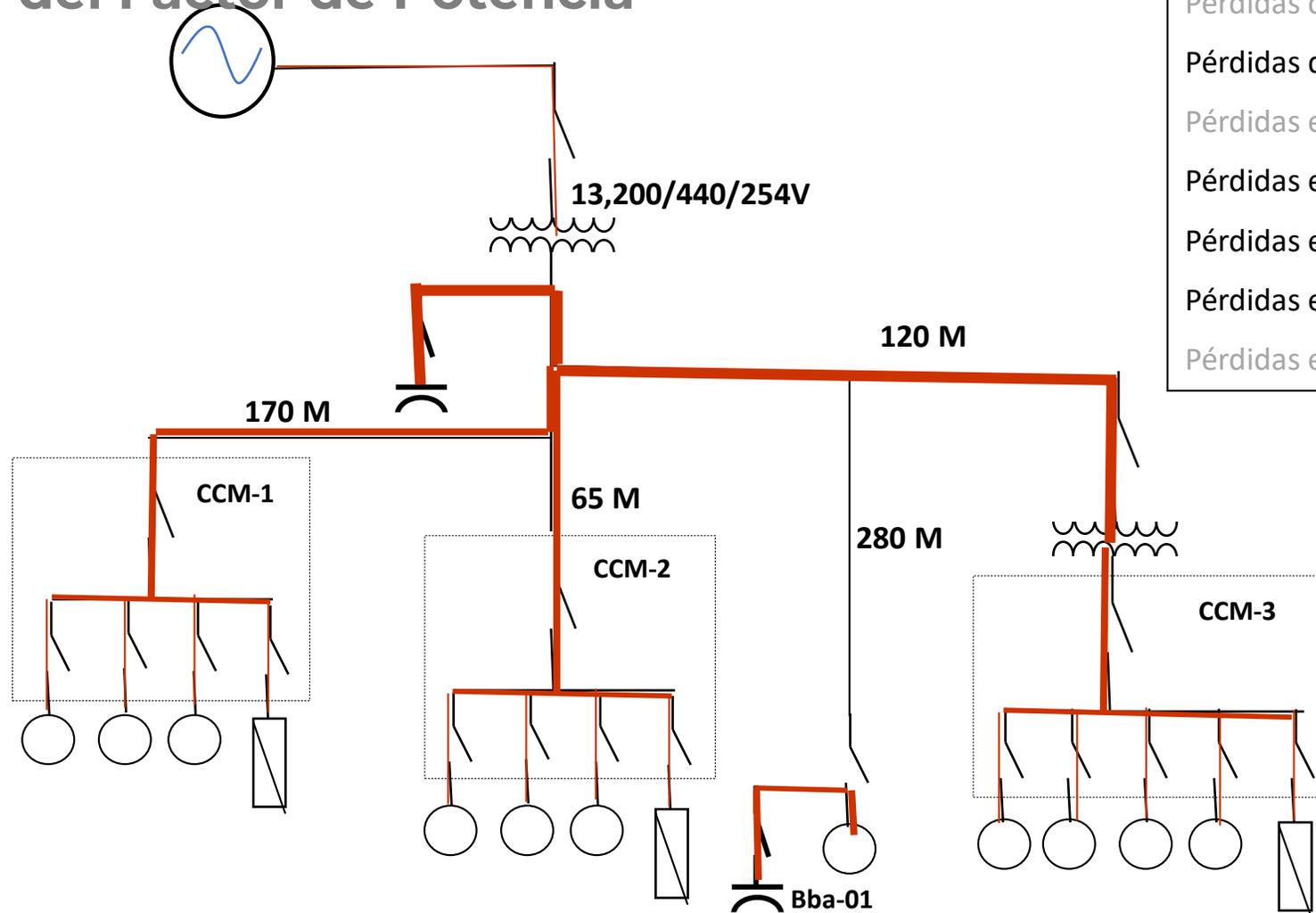


- Pérdidas del TR de MT
- Pérdidas del TR de BT
- Pérdidas en Alimentador en MT
- Pérdidas en Alimentador al CCM-1
- Pérdidas en Alimentador al CCM-2
- Pérdidas en Alimentador al CCM-3
- Pérdidas en Alimentador a Bba-01

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia

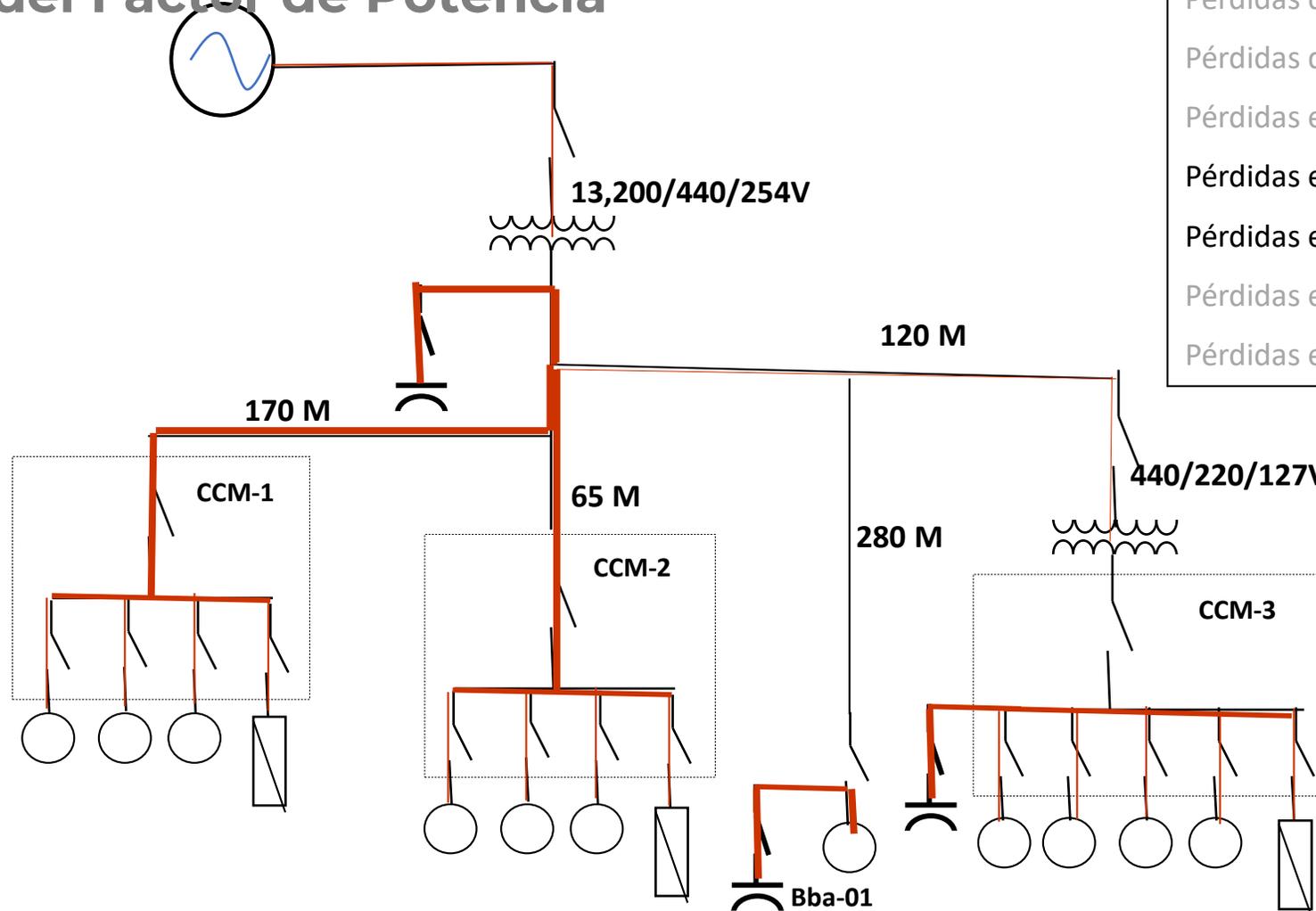


- Pérdidas del TR de MT
- Pérdidas del TR de BT
- Pérdidas en Alimentador en MT
- Pérdidas en Alimentador al CCM-1
- Pérdidas en Alimentador al CCM-2
- Pérdidas en Alimentador al CCM-3
- Pérdidas en Alimentador a Bba-01

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia

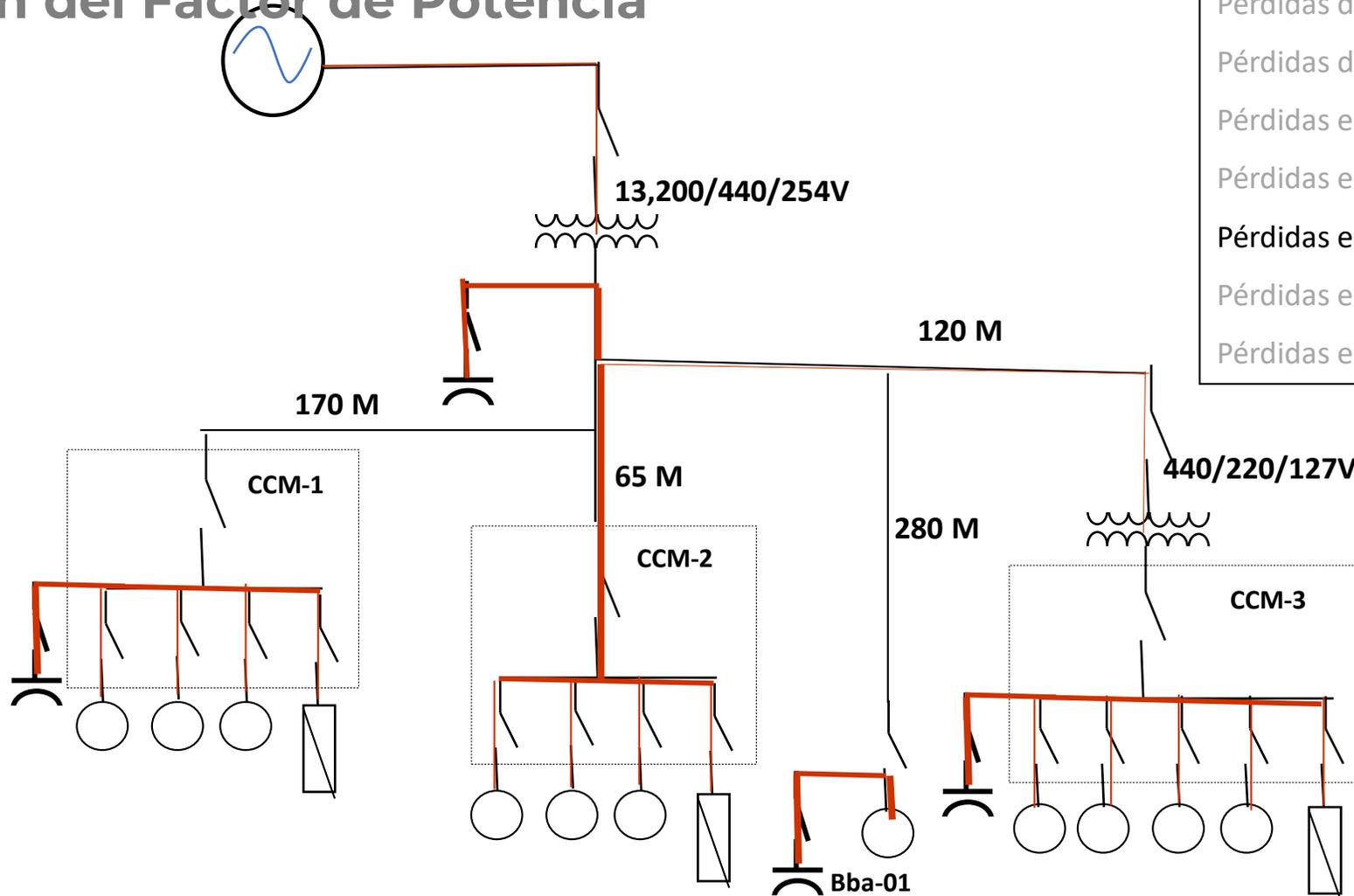


- Pérdidas del TR de MT
- Pérdidas del TR de BT
- Pérdidas en Alimentador en MT
- Pérdidas en Alimentador al CCM-1
- Pérdidas en Alimentador al CCM-2
- Pérdidas en Alimentador al CCM-3
- Pérdidas en Alimentador a Bba-01

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia

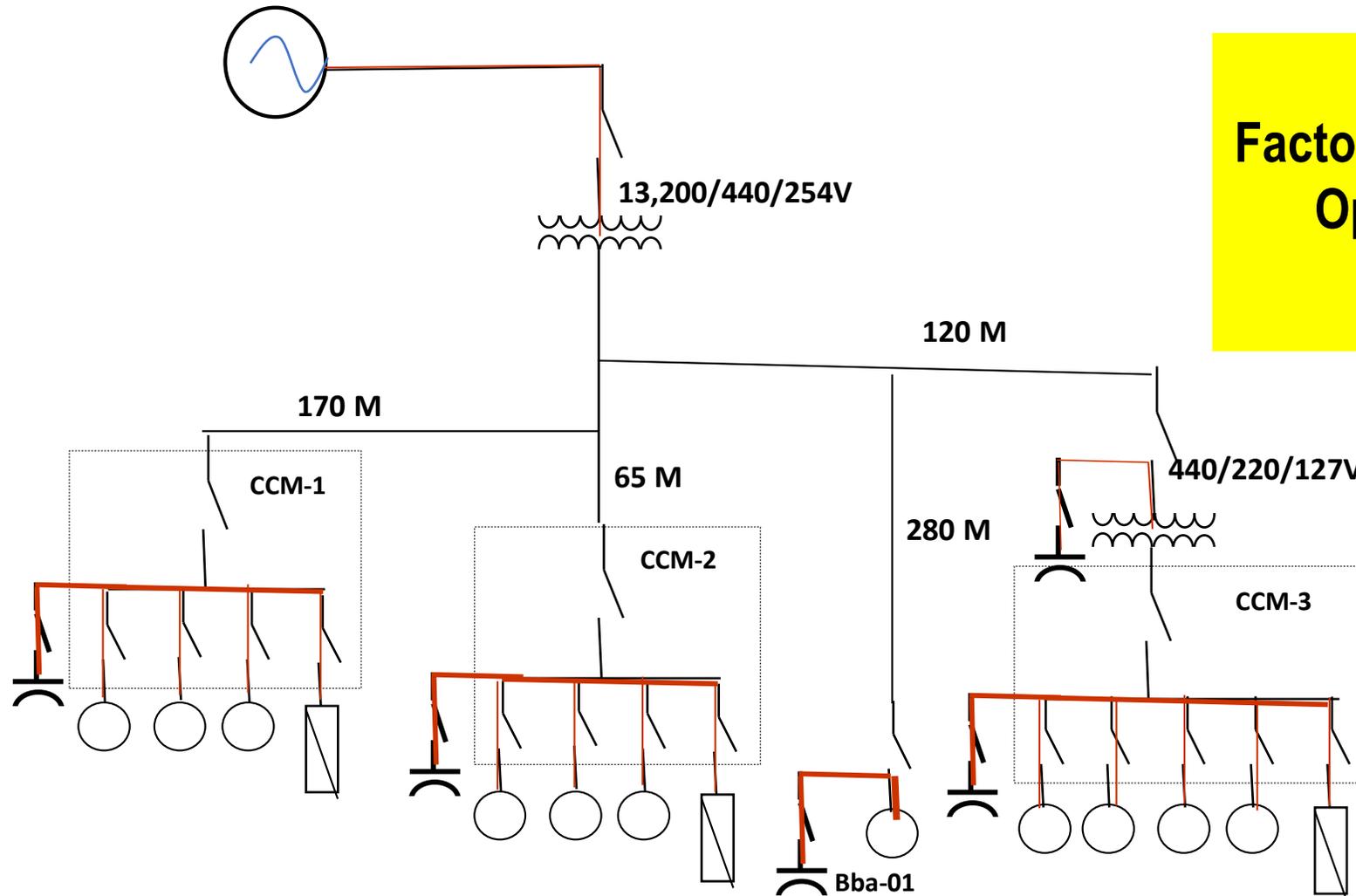


- Pérdidas del TR de MT
- Pérdidas del TR de BT
- Pérdidas en Alimentador en MT
- Pérdidas en Alimentador al CCM-1
- Pérdidas en Alimentador al CCM-2
- Pérdidas en Alimentador al CCM-3
- Pérdidas en Alimentador a Bba-01

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Optimización del Factor de Potencia



Factor de Potencia Optimizado

Fuentes Alternas de Energía



Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Potencia hidráulica:

$$P_h = Q \times H \times \rho \times g$$

Donde:

P_h es la potencia hidráulica (W)

Q es el flujo (m^3/s)

ρ es la densidad (kg/m^3)

g es la aceleración de la gravedad (m/s^2)

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Potencia hidráulica:

Caso de estudio 3:

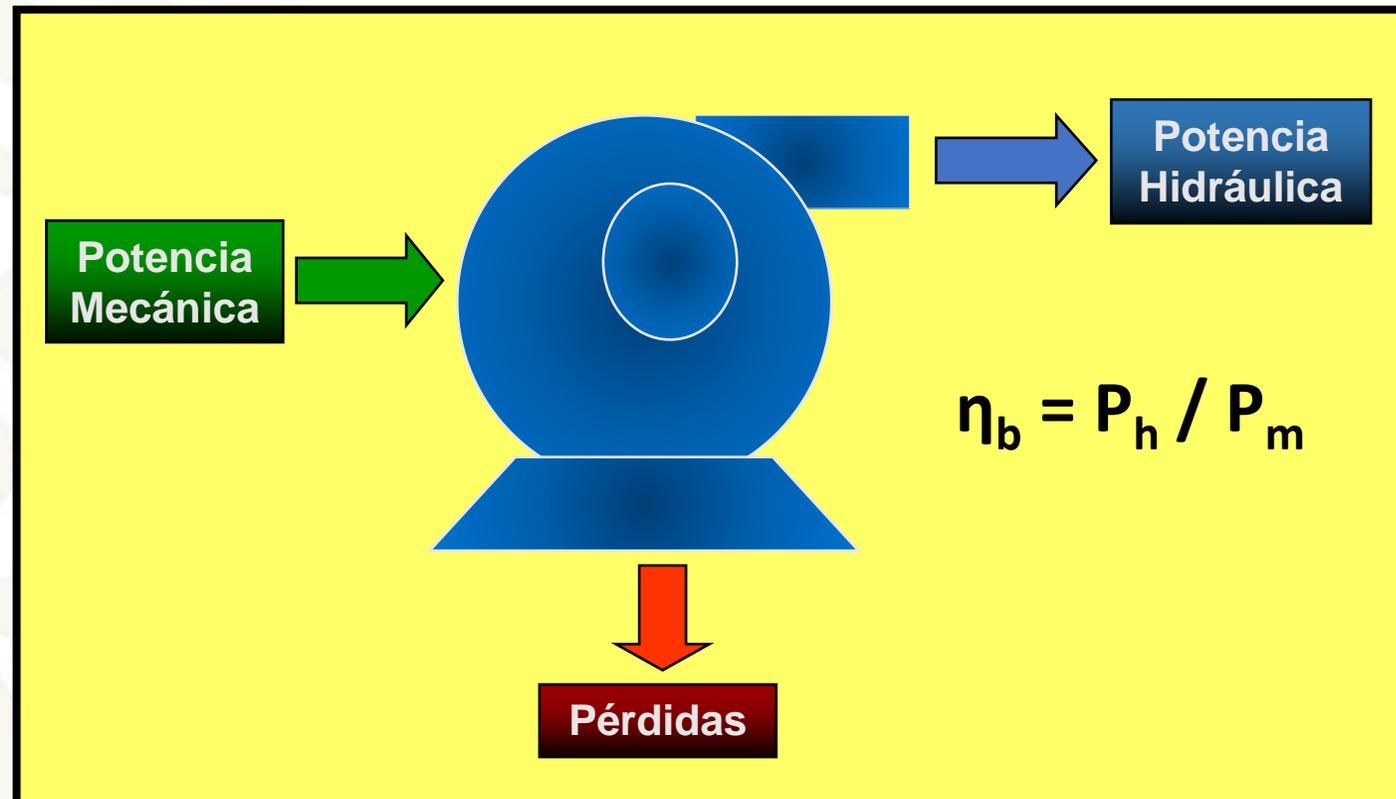
Determine la potencia hidráulica que ejerce la bomba que bombea es agua a una razón de 75 l/s con una carga de 125 m.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Eficiencia de la bomba

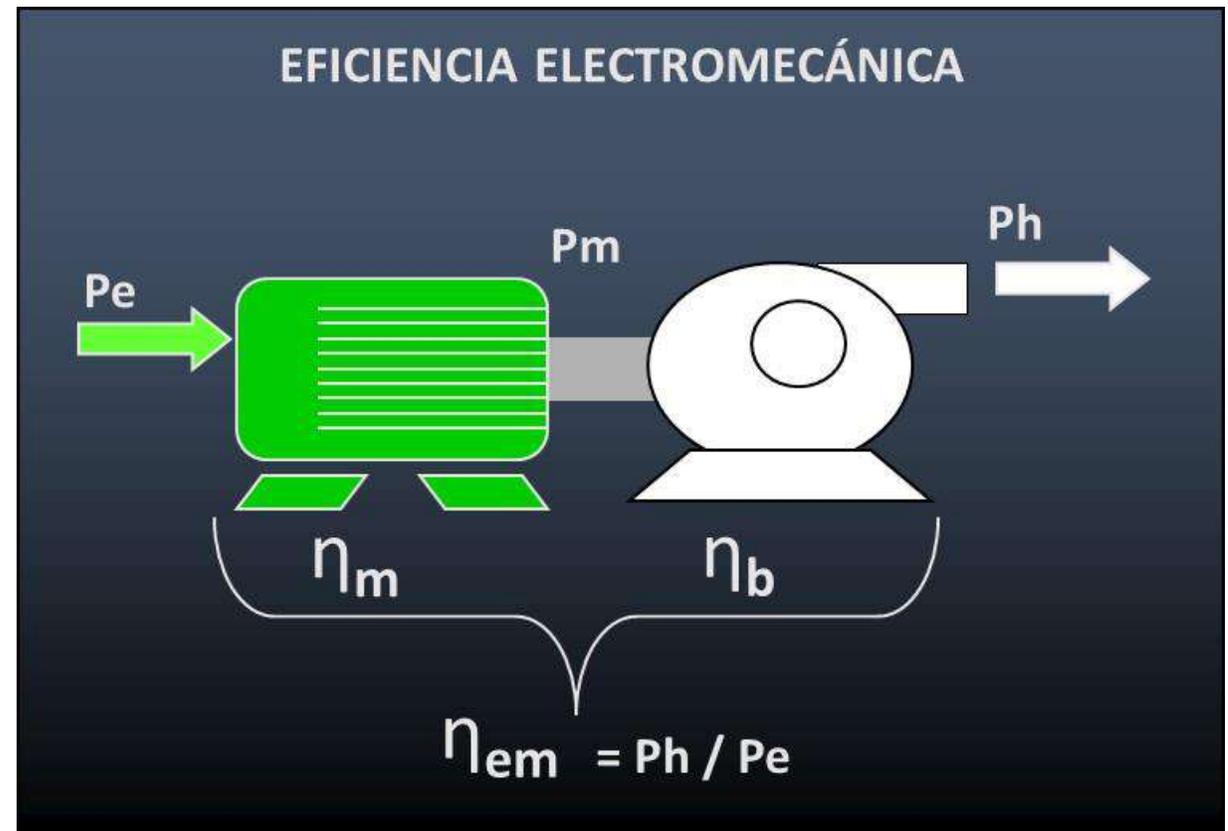


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Eficiencia de la bomba



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Eficiencia de la bomba

Caso de estudio 4:

Como resultado de las mediciones eléctricas practicadas al motor del caso de estudio 3, se encontró que éste demanda 145.5 kW.

Calcular la eficiencia electromecánica del conjunto motor-bomba



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Eficiencia de la bomba

Caso de estudio 5:

Como resultado de la evaluación del motor del caso de estudio 4, se encontró que este se encuentra trabajando con una eficiencia de 92.2%

Calcular la eficiencia de la bomba



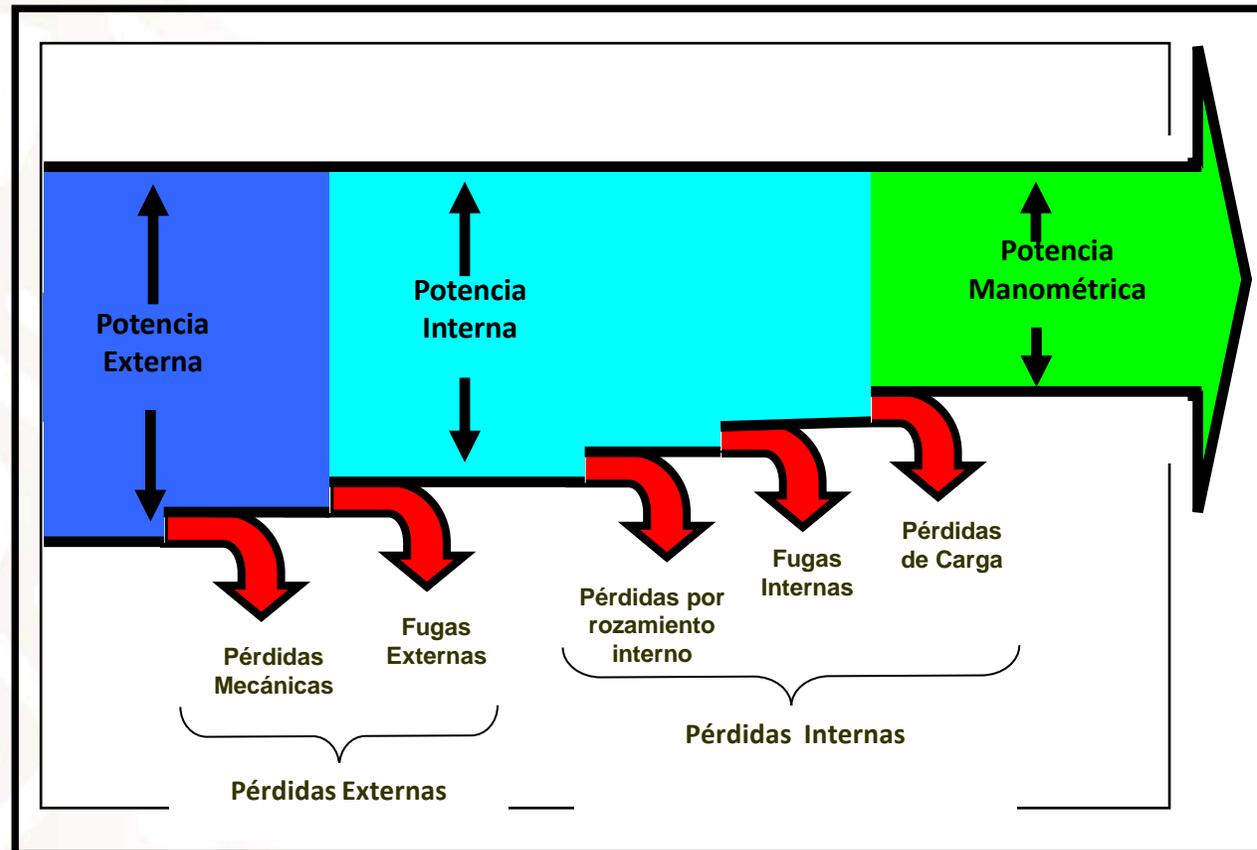
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



Clasificación de las pérdidas:



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo
Bombas Centrífugas

Problemática

Muchas bombas se encuentran trabajando fuera de su zona óptima de diseño, lo que se traduce en bajas eficiencias de operación.



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Problemática

Un problema común es el sobredimensionamiento del equipo a la hora de hacer la especificación.

Ejemplo:

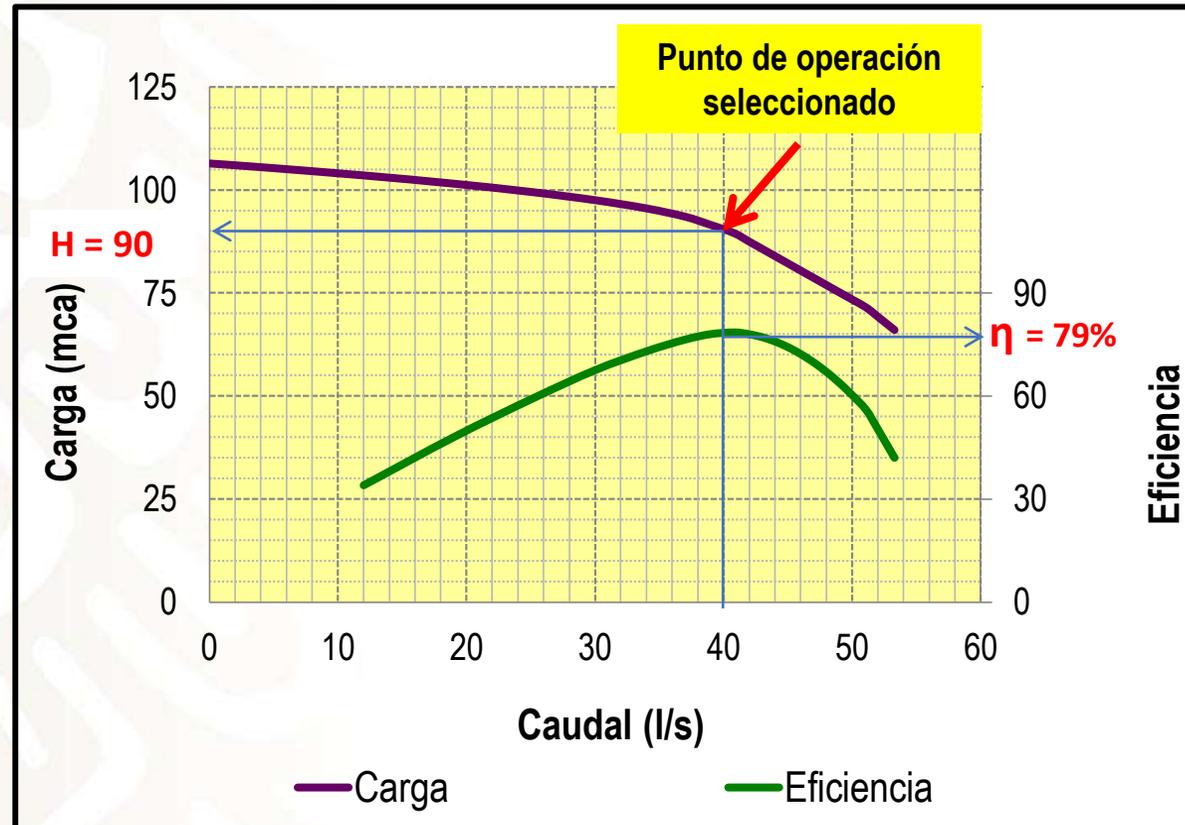
Para una aplicación específica se requieren 20 lps con una carga de 90 mca; pero el organismo ha solicitado una bomba para 40 lps.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Problemática

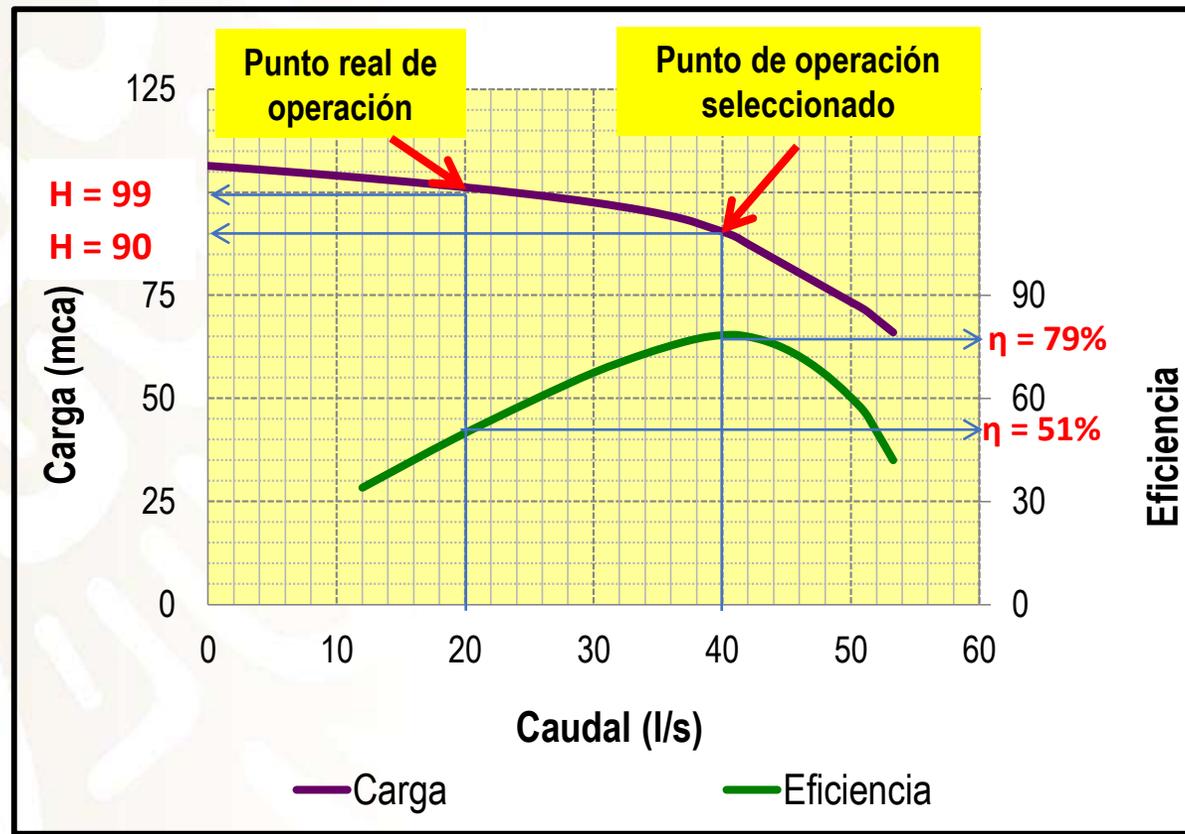


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



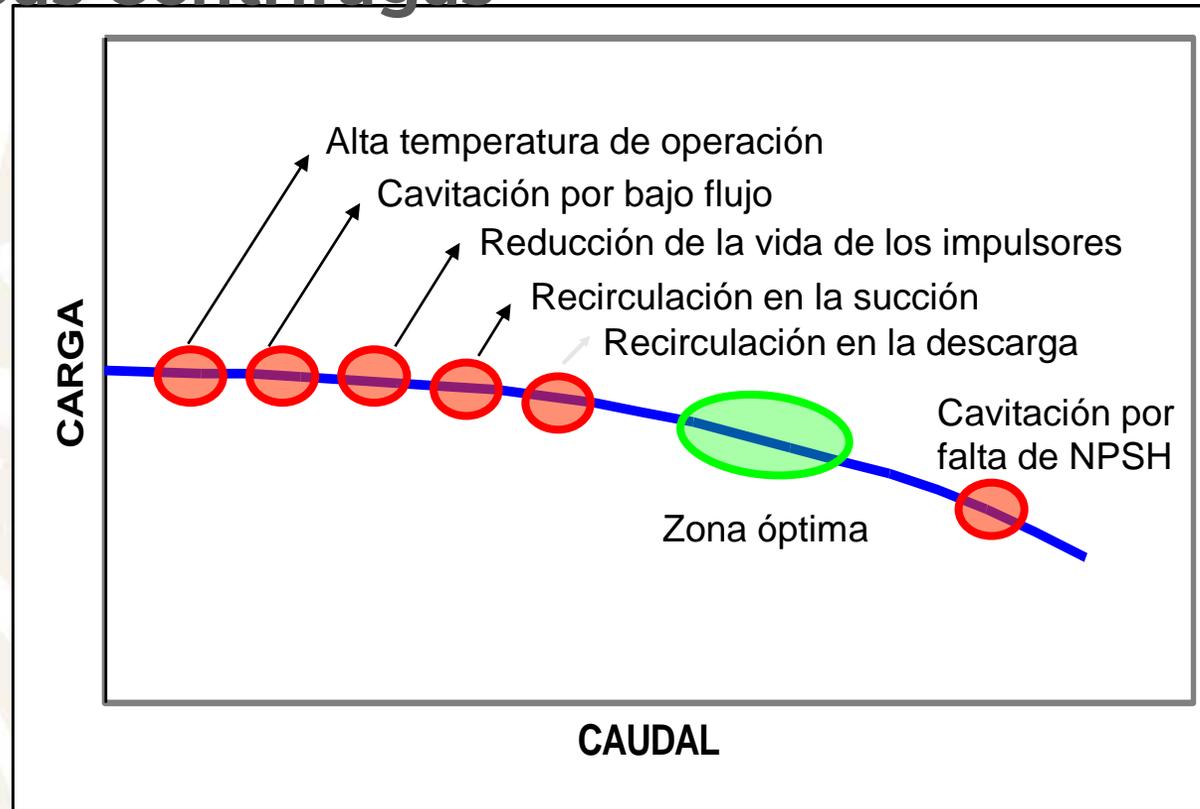
Problemática



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Normas Mexicanas Aplicables

- **NOM-001-ENER:** Eficiencia energética de bombas verticales tipo turbina con motor externo eléctrico vertical.
- **NOM-010-ENER:** Eficiencia energética de bombas sumergibles.
- **NOM-006-ENER:** Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



NOM-001-ENER

Tamaño	Intervalo de Gasto	Eficiencia Mínima	Número de Pasos
4	1.0 - 3.0	64	9
5	3.66 - 11.55	71	9
6	2.90 - 24.97	70	8
7	4.7 - 34.65	70	8
8	10.0 - 68.0	73	8
9	17.0 - 69.3	77	7
10	20.4 - 66.6	77	7
11	39.7 - 75.0	80	5
12	32.0 - 150.0	80	5
13	85.5 - 141.6	80	5
14	61.1 - 250.0	80	4
15	101.0 - 209.0	81	4
16	139.4 - 256.9	81	4
18	222.6 - 353.9	81	4
20	321.8 - 818.9	81	3
24	533.6 - 902.2	81	5

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



NOM-010-ENER

Capacidad de la bomba sumergible (l/s)	Eficiencia (%)
Mayor que 0.3 hasta 0.5	40
Mayor que 0.5 hasta 2.0	49
Mayor que 2.0 hasta 5.0	62
Mayor que 5.0 hasta 10.0	69
Mayor que 10.0 hasta 15.0	71
Mayor que 15.0 hasta 25.0	73
Mayor que 25.0 hasta 30.0	74
Mayor que 30.0 hasta 60.0	77
Mayor que 60.0	78

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



NOM-010-ENER

Valores de referencia para la eficiencia del motor sumergible

Motor		Eficiencia del Motor Sumergible (%)
kW	HP	
Hasta 1.492	Hasta 2	68
Mayor que 1.492 hasta 3.73	Mayor que 2.0 hasta 5.0	73
Mayor que 3.73 hasta 5.695	Mayor que 5.0 hasta 7.5	75
Mayor que 5.595 hasta 7.46	Mayor que 7.5 hasta 10.0	77
Mayor que 7.46 hasta 11.19	Mayor que 10.0 hasta 15.0	79
Mayor que 11.19 hasta 14.92	Mayor que 15.0 hasta 20.0	80
Mayor que 14.92 hasta 22.38	Mayor que 20.0 hasta 30.0	81
Mayor que 22.38 hasta 29.84	Mayor que 30.0 hasta 40.0	83
Mayor que 29.84 hasta 44.76	Mayor que 40.0 hasta 60.0	86
Mayor que 44.76	Mayor que 60	87

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

NOM-006-ENER



Intervalos de Potencias		Eficiencia Electromecánica (conjunto motor-bomba) (%)	
kW	HP	Bomba con motor sumergible	Bomba con motor externo
5.6 - 14.9	7.5 - 20	35	52
15.7 - 37.3	21 - 50	47	56
38.0 - 93.3	51 - 125	57	60
94.0 - 261	126 - 350	59	64

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



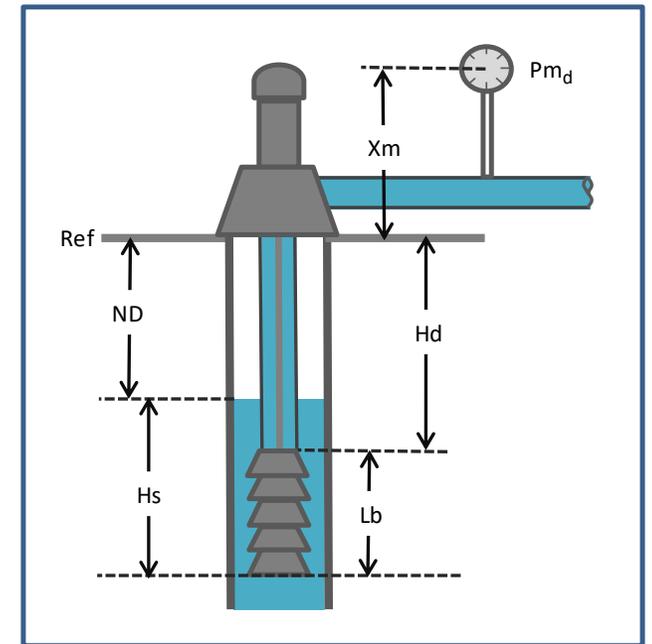
Resultado de las mediciones en campo:

Presión:	4.6 kg/cm ²
Altura del manómetro:	0.7 m
Nivel dinámico:	17.6 m
Longitud de la tubería de succ.::	33.0 m
Pérdidas en la tubería de succ.::	0.65 mca
Gasto:	64 lps
Potencia eléctrica:	77.58 kW
Operación:	8680 h/año
Costo de la energía:	1.72 \$/kWh

Se pide:

- Calcular la eficiencia electromecánica
- Determinar si cumple con la NOM-006-ENER
- Calcular los ahorros energéticos y económicos a obtener, si se sustituye el equipo por un nuevo equipo que opere con mejor eficiencia (proponga el equipo)

Caso 6. Eficiencia electromecánica de bomba en pozo

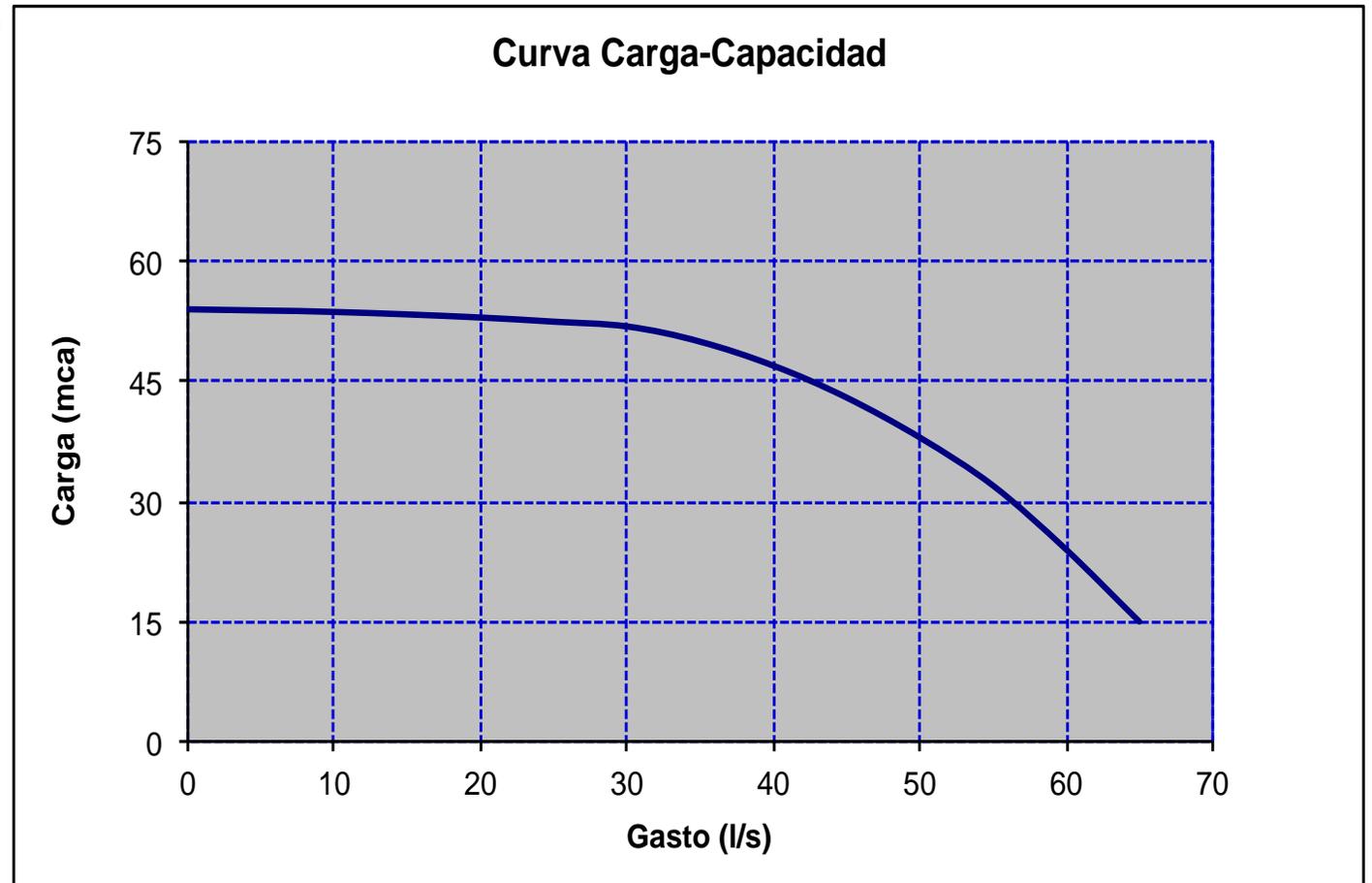


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo
Bombas Centrífugas

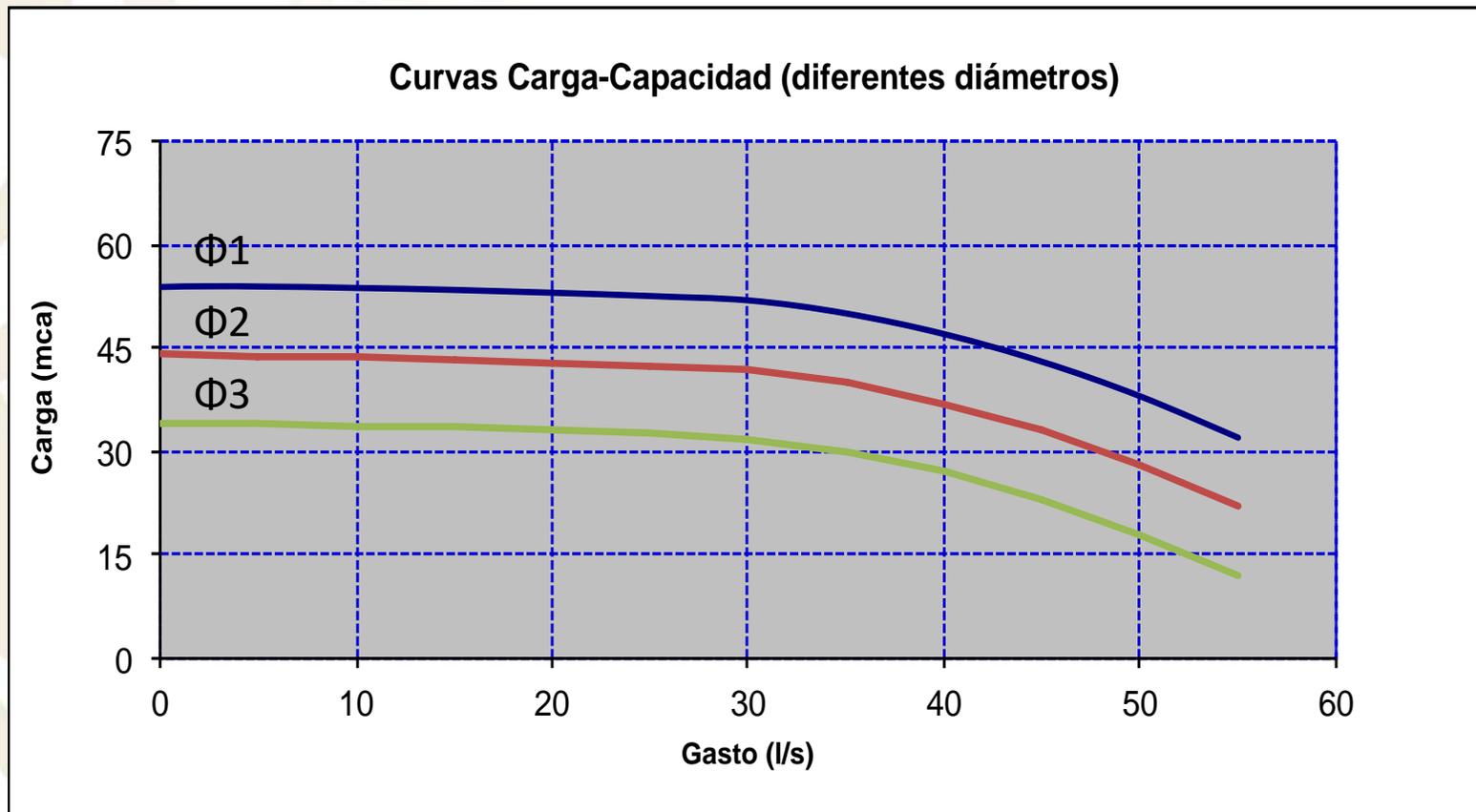


Curvas Características



Fuentes Alternas de Energía

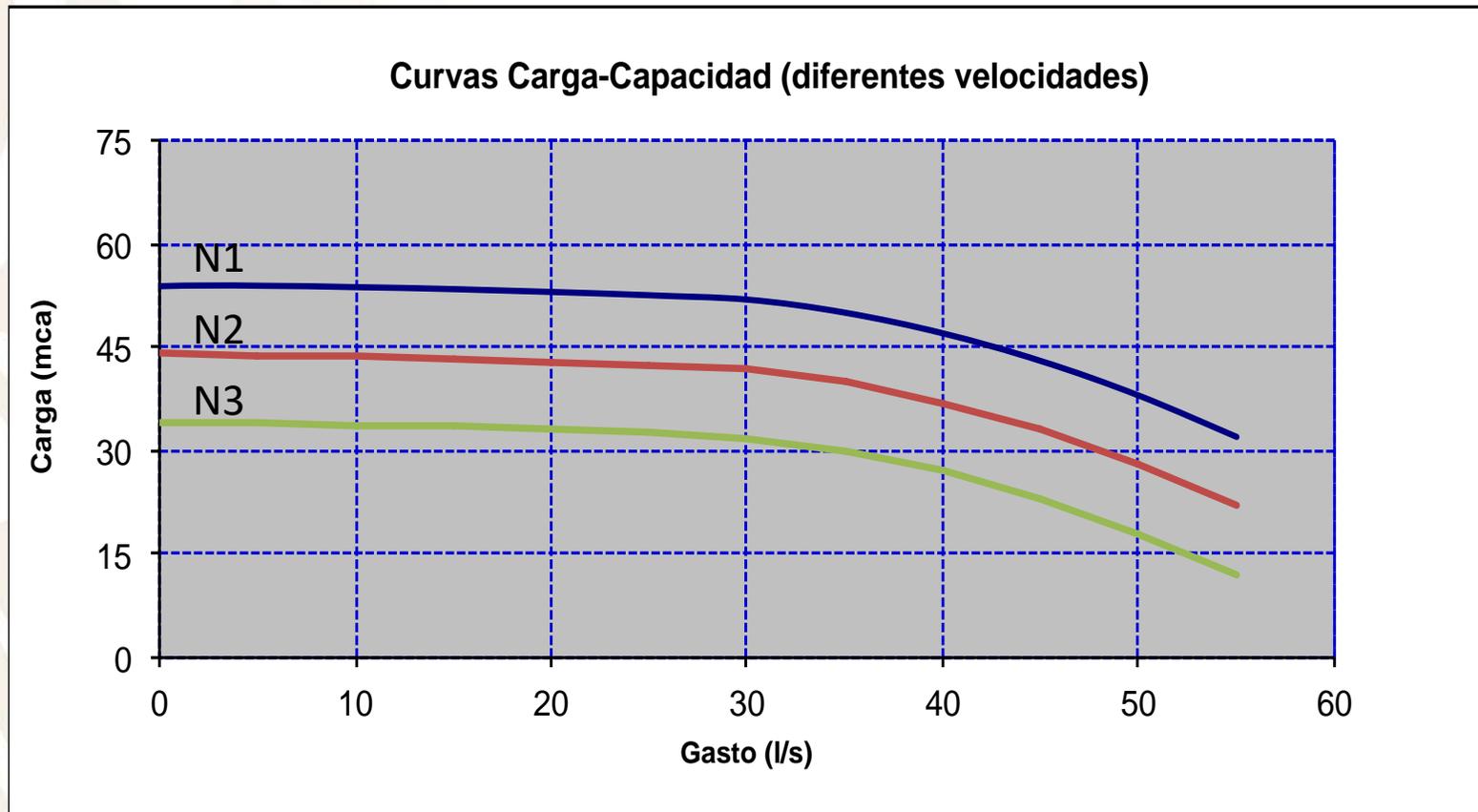
Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

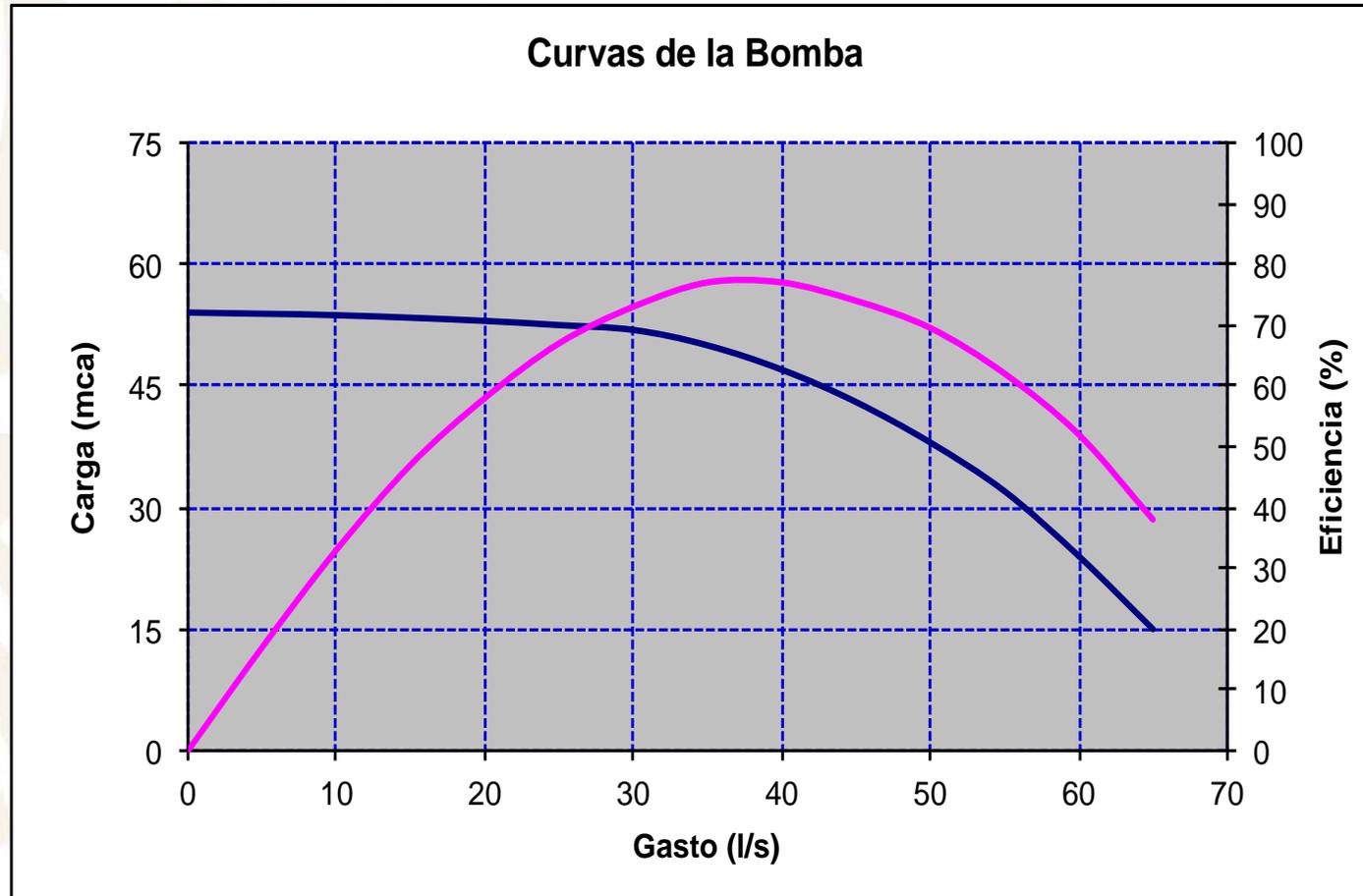


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Eficiencia

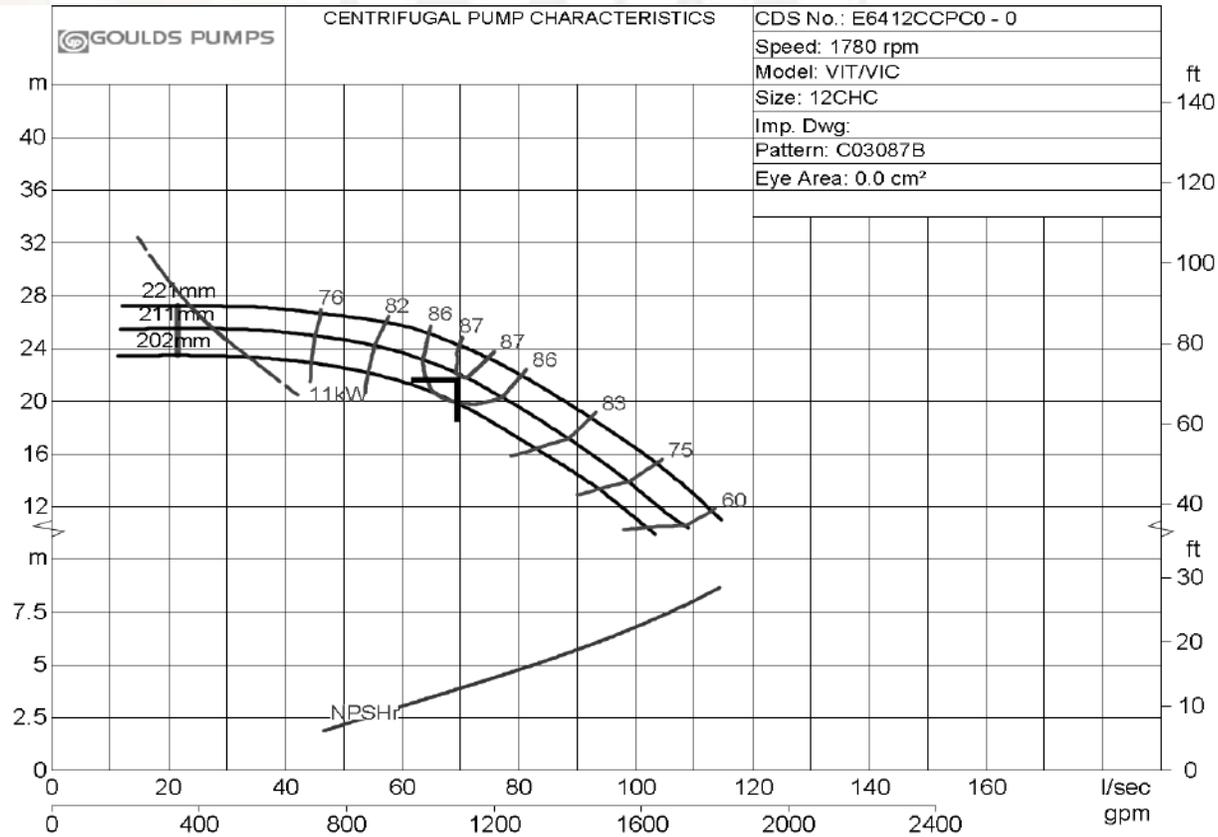


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

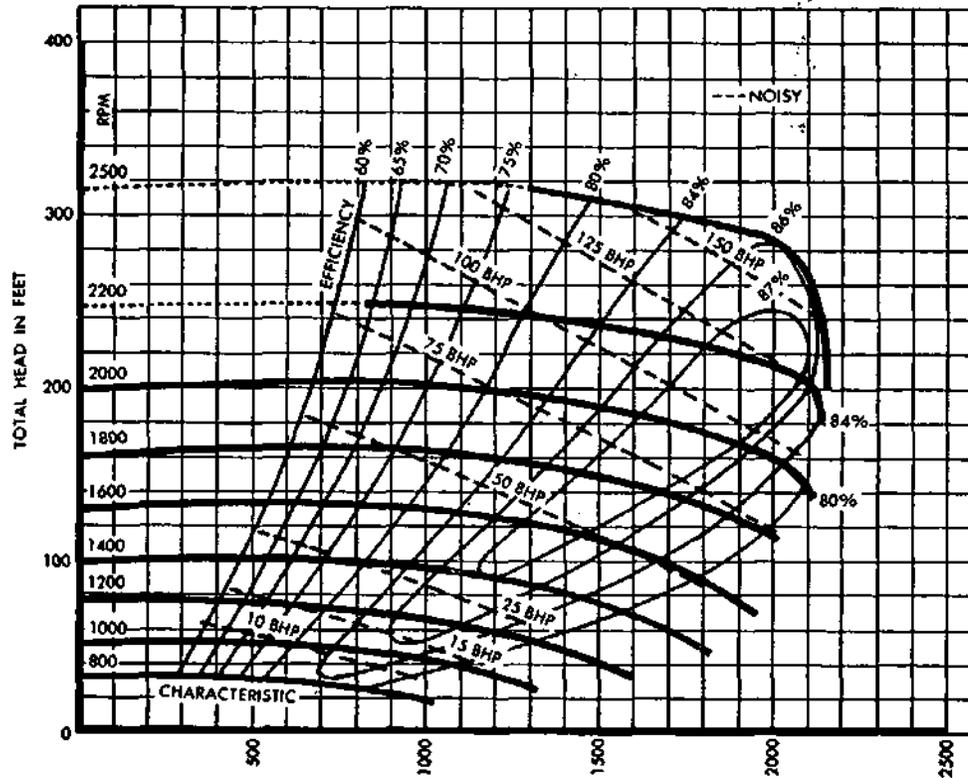
Eficiencia



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

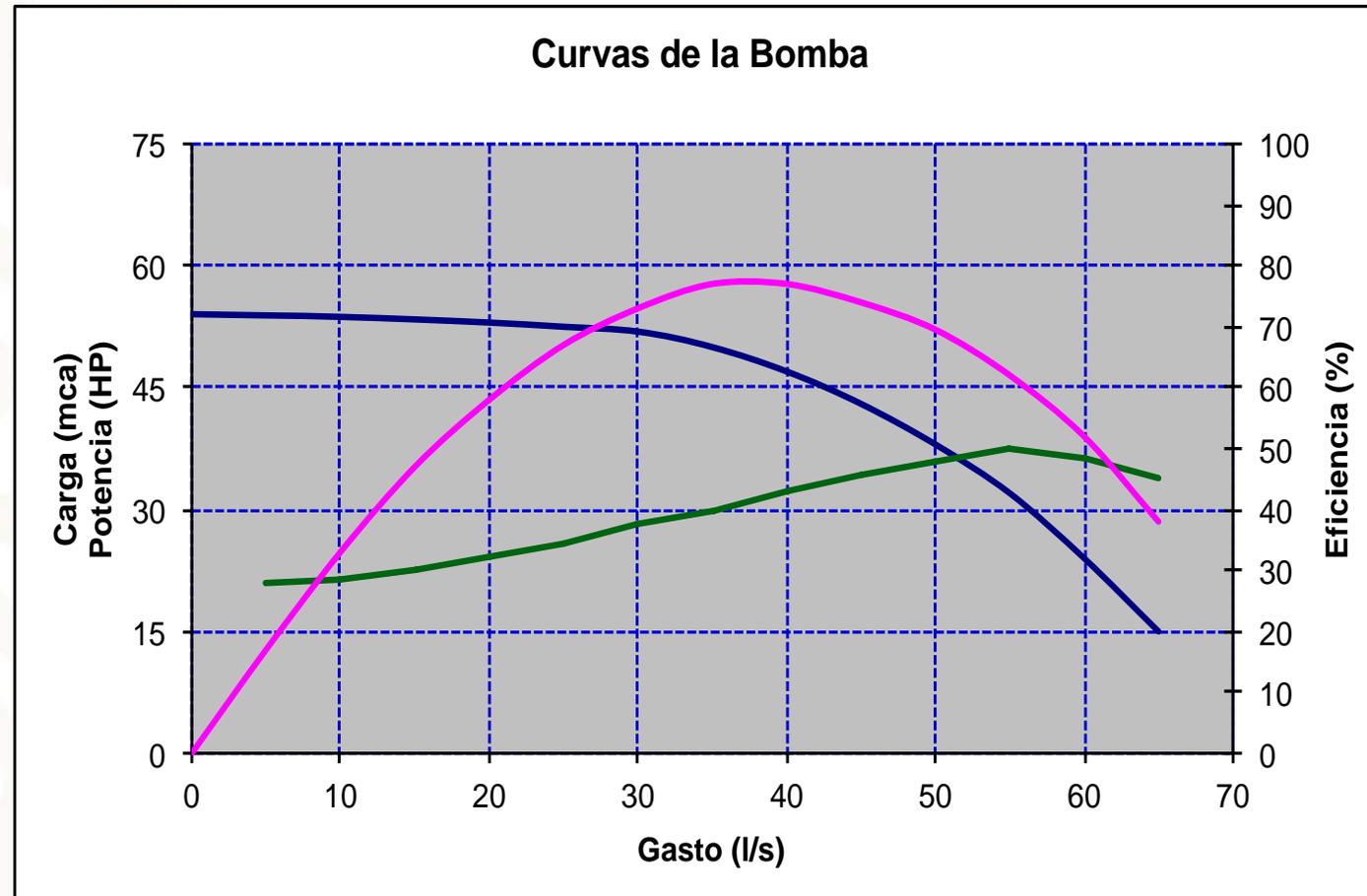


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Potencia demandada



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



Carga neta de succión

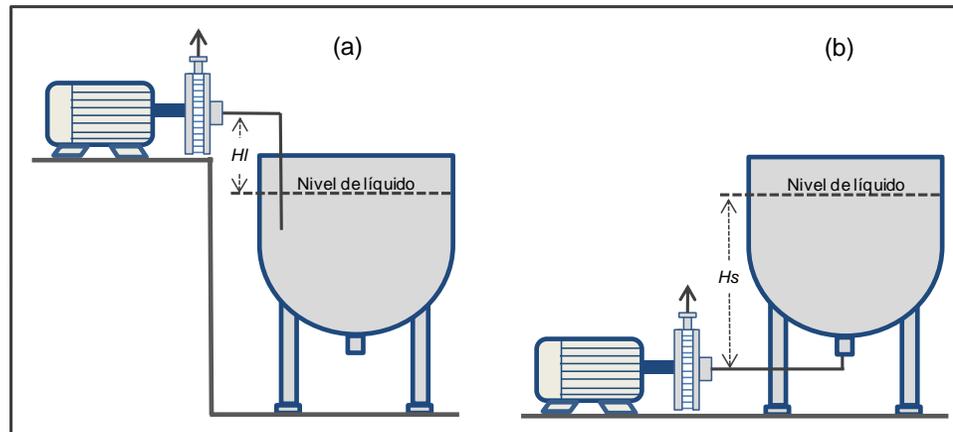
$$NPSH = P_b + H_s - h_{fr} - P_{rv}$$

Donde: P_b es la presión barométrica (m)

H_s es la sumergencia de la bomba (m)

h_{fr} son las pérdidas de por fricción en la tubería de succión (m)

P_{rv} es la presión de vapor (m)



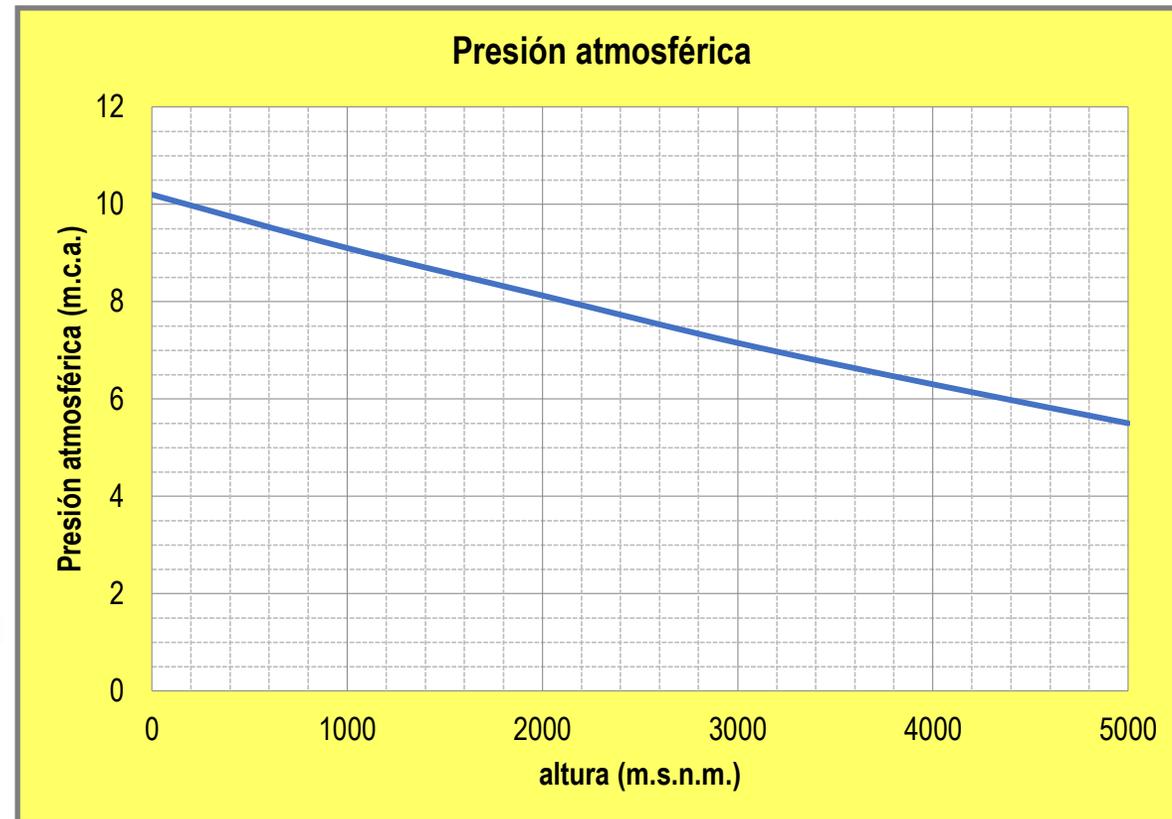
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



Carga neta de succión

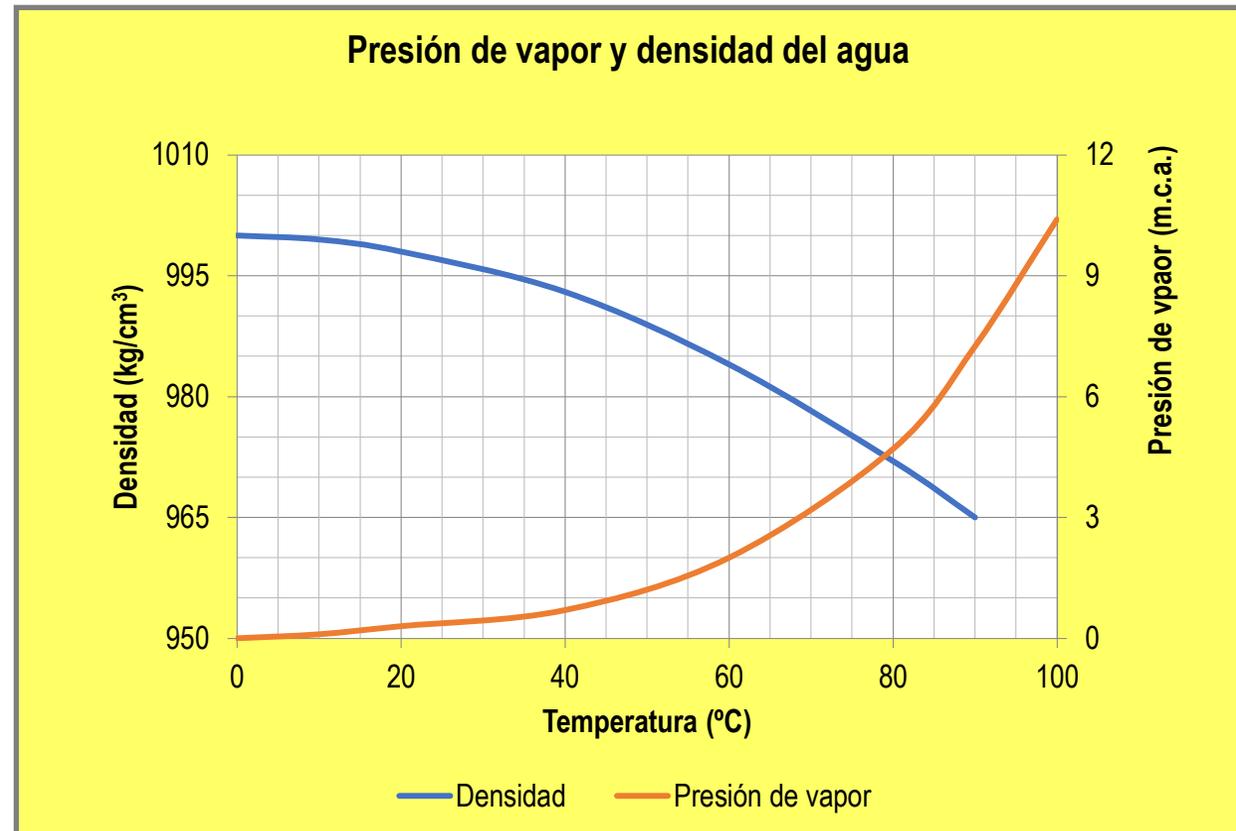


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Carga neta de succión

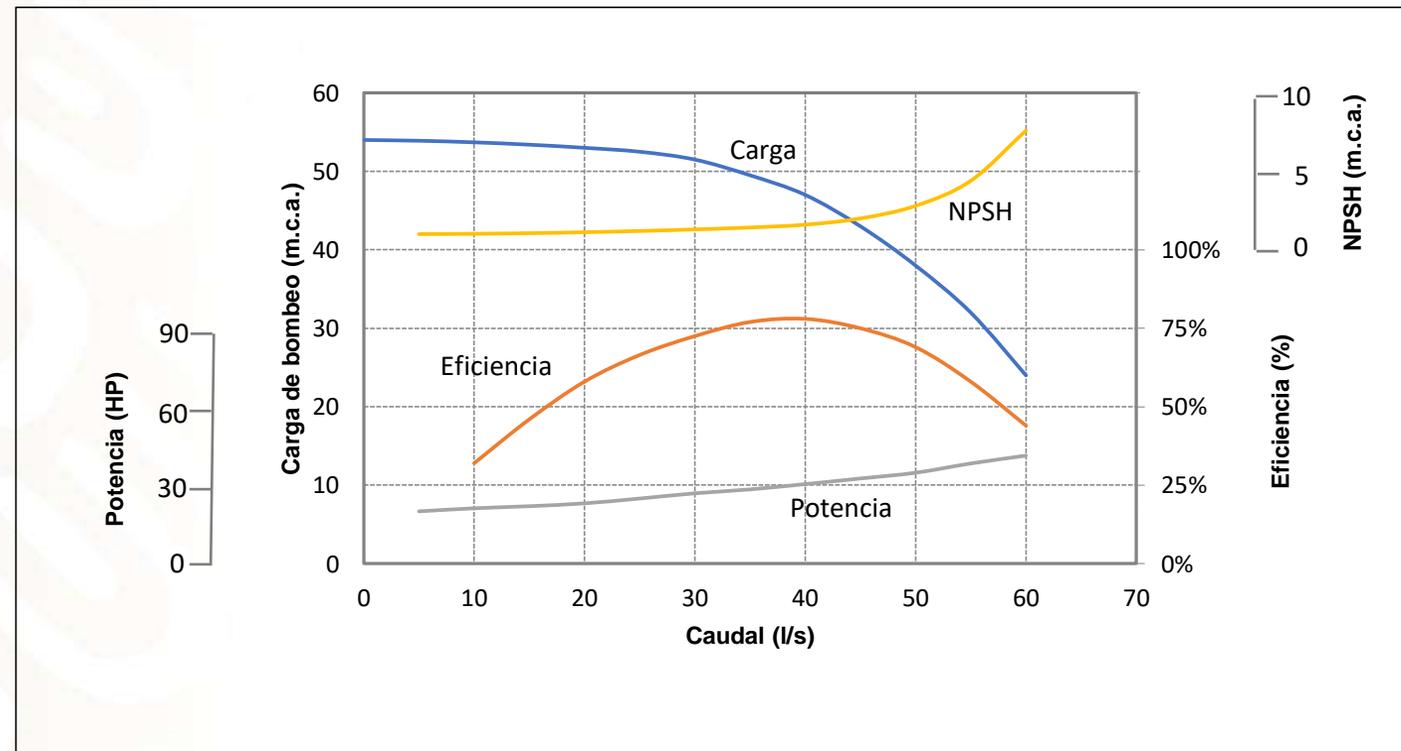


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Carga neta de succión



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Caso 7:

Determinar la sumergencia que debe tener una bomba cuyo NPSH requerido es de 9 m, considerando las siguientes condiciones de operación:

Altitud:	1800 msnm
Temperatura del agua:	45 °C
Pérdidas de carga en succión:	1.5 mca



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Métodos de Control



Modificación de la curva carga-capacidad del sistema de conducción:

Esta modificación se consigue mediante la actuación de válvulas principalmente



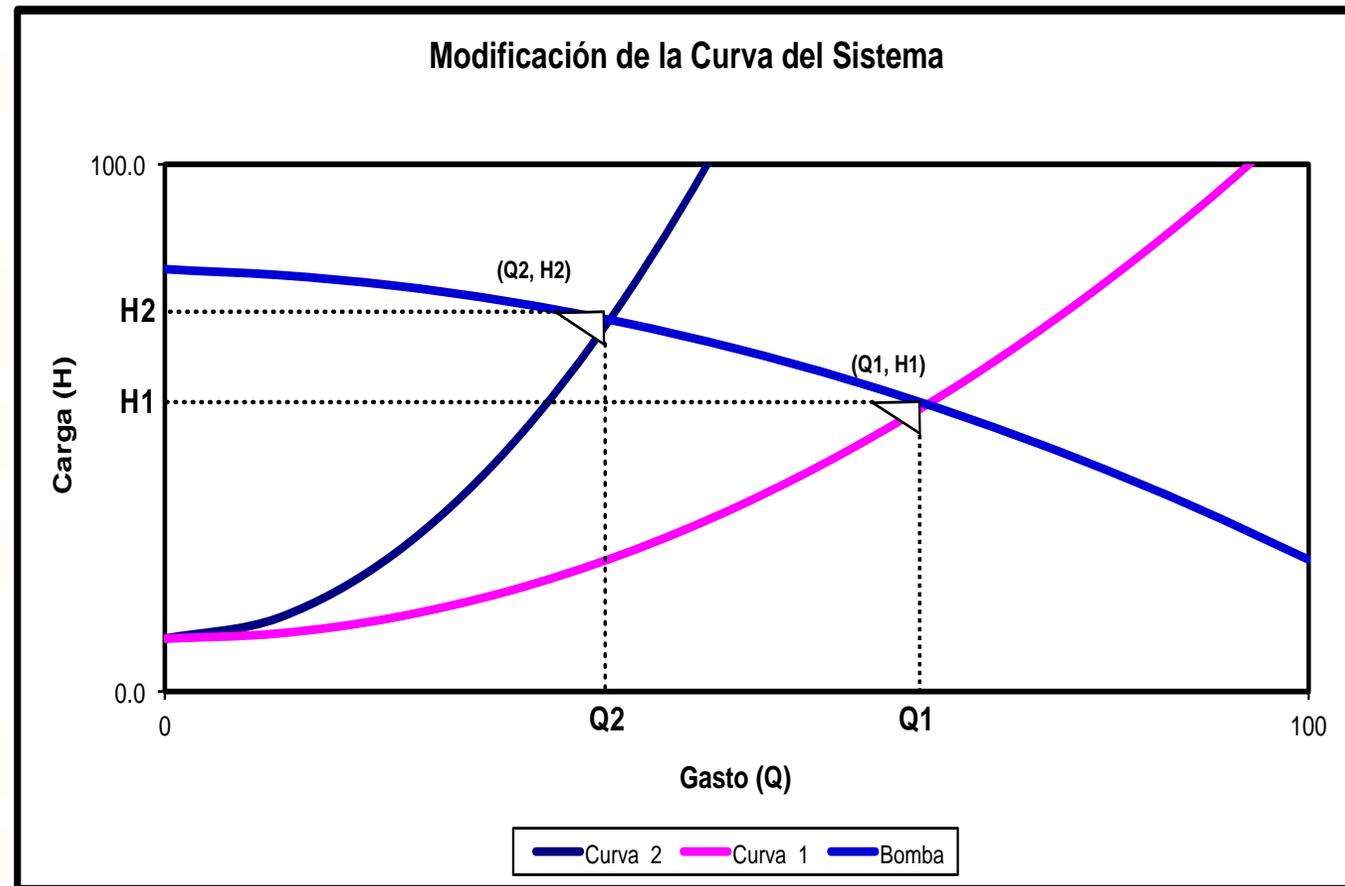
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



Modificación de la curva carga-capacidad del sistema de conducción:



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Modificación de la curva carga-capacidad del sistema de conducción:

También se puede presentar la modificación de la curva por otras razones, tales como:

- Cuando la altura geométrica varía con el tiempo, como en el caso del nivel dinámico de los pozos que varía entre la época de lluvias y el estiaje.
- Cuando se trabaja contra una carga variable como por ejemplo un filtro que al irse ensuciando ponen mayor resistencia la paso del fluido.



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Modificación de la curva carga-capacidad de la bomba

Esta se logra variando la velocidad de operación de la bomba con un variador de velocidad de estado sólido.

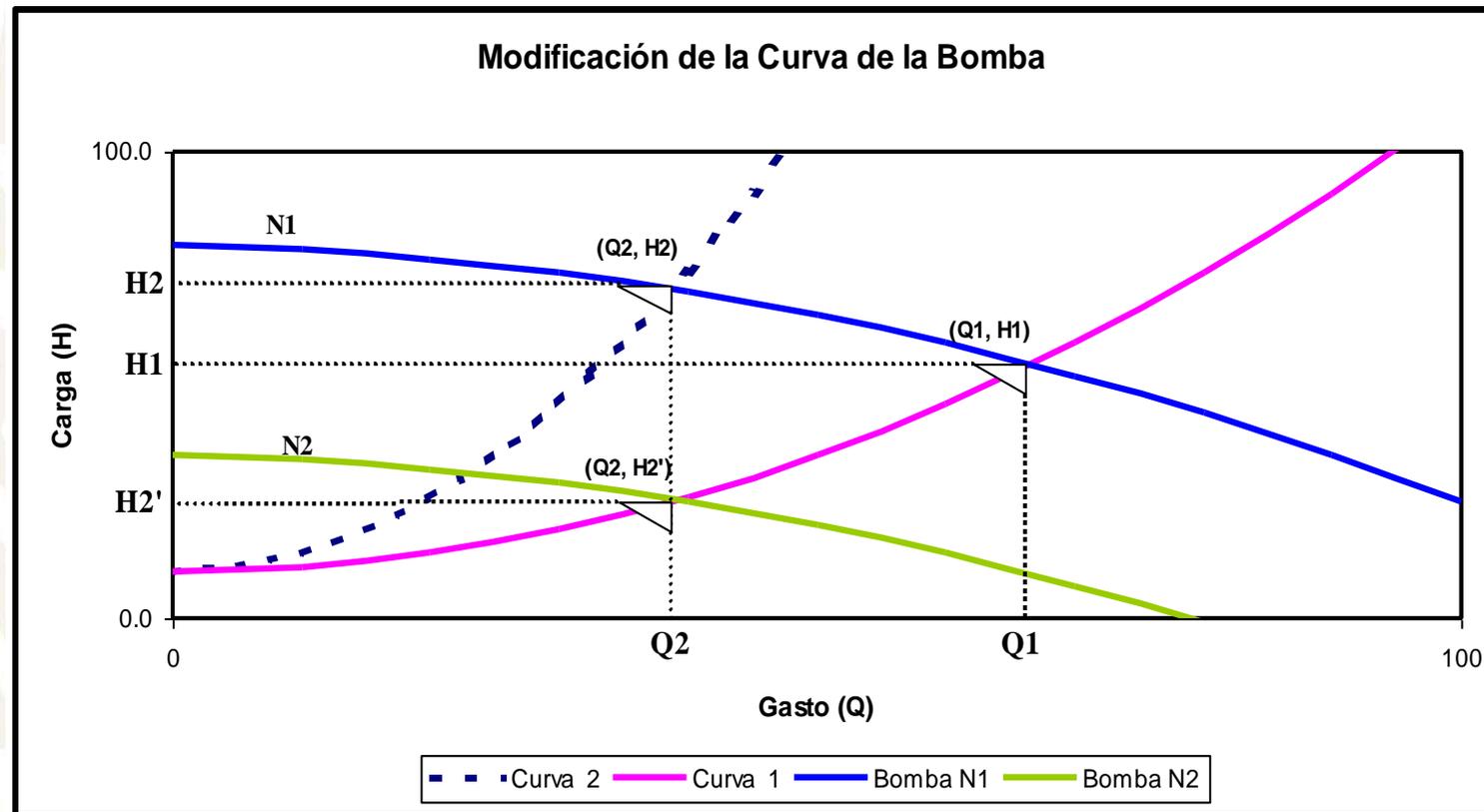


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Modificación de la curva carga-capacidad de la bomba



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Modificación de ambas curvas carga-capacidad

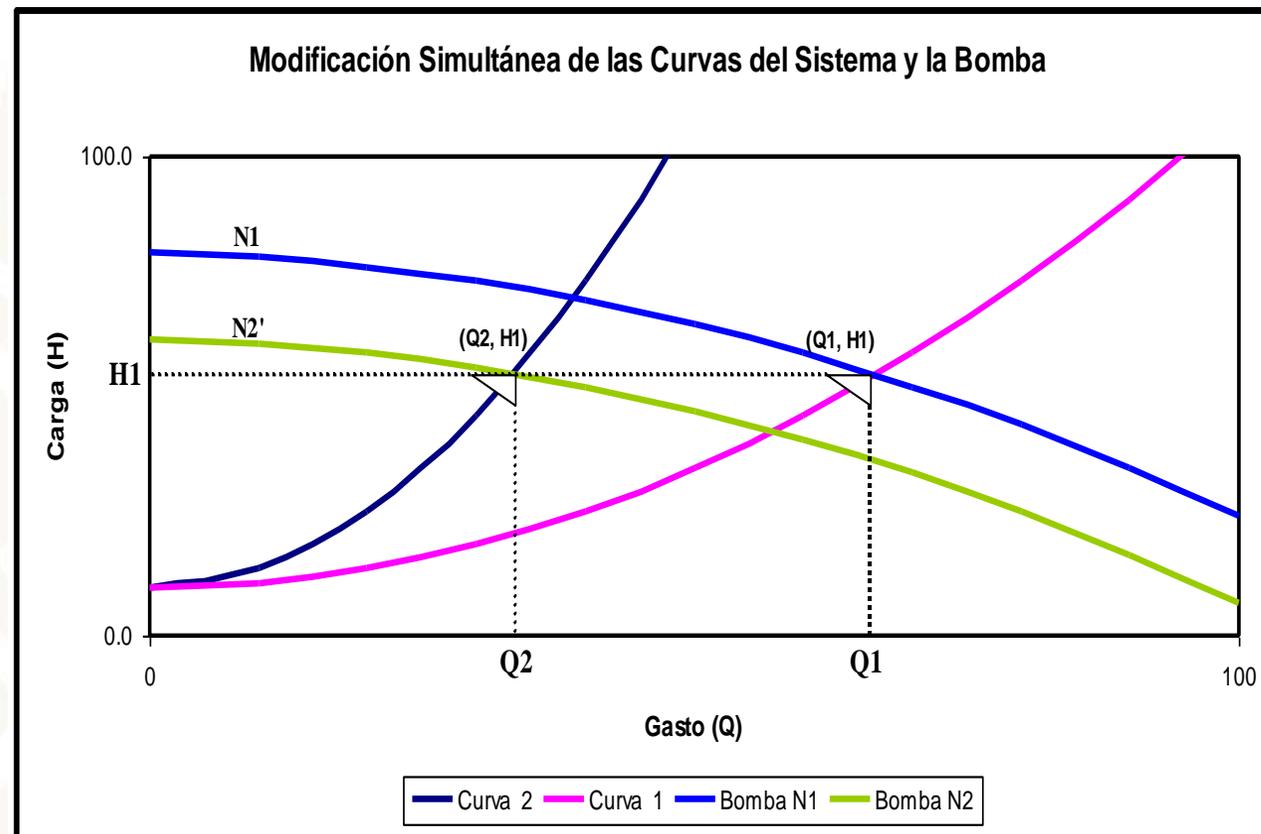
En muchas aplicaciones, la operación de válvulas para controlar el proceso es indispensable, así es que la modificación de la curva del sistema de conducción se da por requerimientos del proceso. En este caso la variación de la velocidad de operación de la bomba es una buena alternativa para regular la presión en el cabezal.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Modificación de ambas curva carga-capacidad

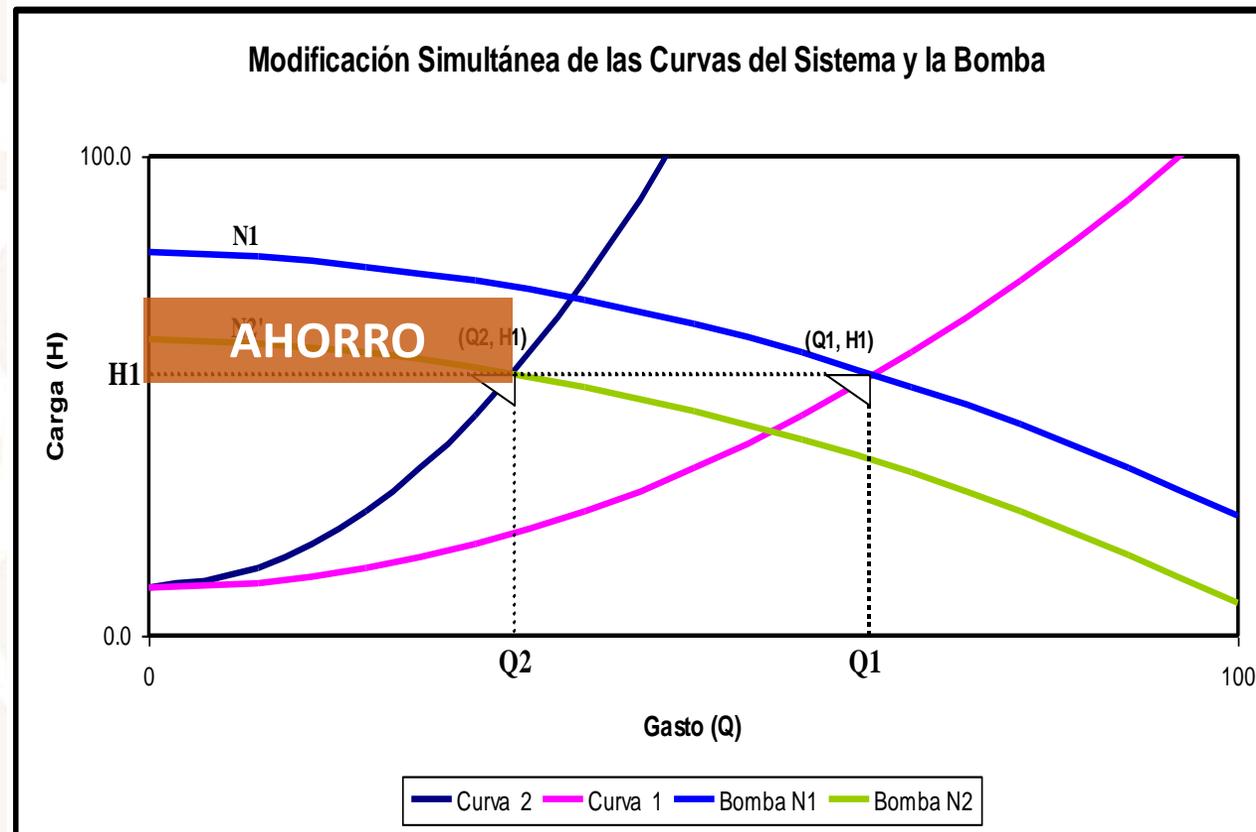


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Modificación de ambas curva carga-capacidad



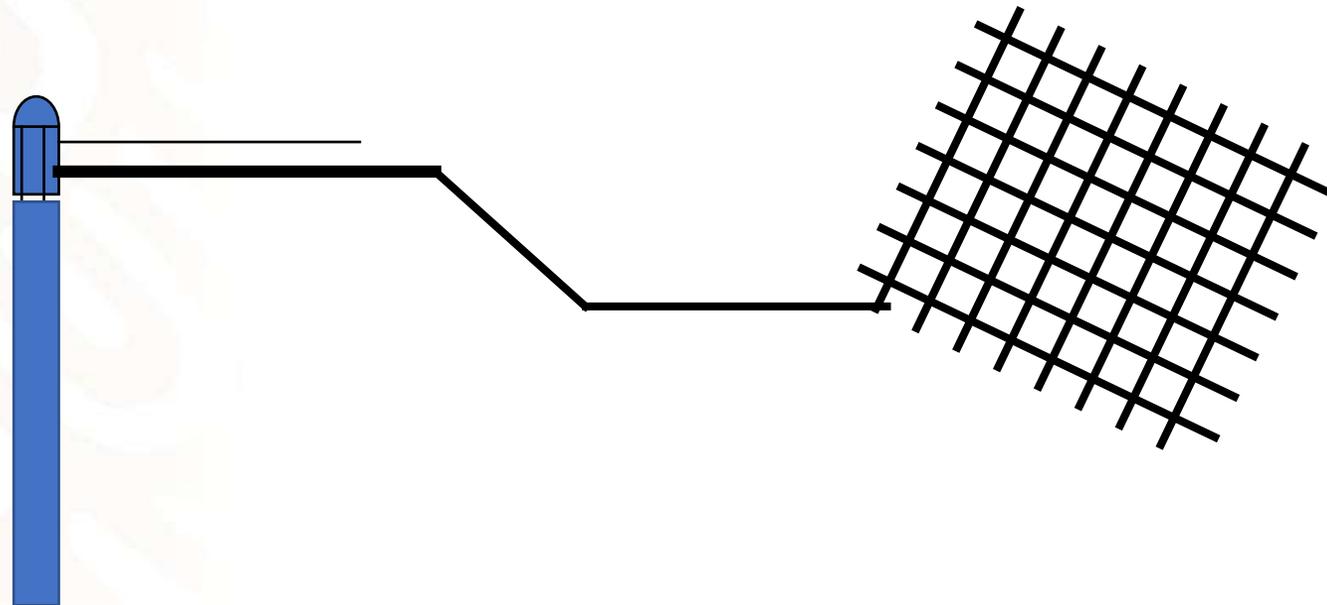
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Caso 8:

Se tiene un bombeo MUNICIPAL de un pozo directo a la red, trabajando a las 24 horas del día



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Resultado del monitoreo en el equipo de bombeo

Hora	Pr. (mca)	z2-z1 (m)	Q (lps)	Pe (kW)
00:00	23.50	125.0	32.5	76.7
01:00	27.0	125.0	29.0	78.5
02:00	28.75	125.0	22.2	79.4
03:00	28.75	125.0	22.2	79.4
04:00	27.7	125.0	27.1	78.8
05:00	23.50	125.0	32.5	76.7
06:00	19.00	125.0	37.0	83.4
07:00	18.4	125.0	37.7	86.1
08:00	17.7	125.0	38.3	89.1
09:00	15.71	125.0	40.3	98.5
10:00	15.24	125.0	40.8	100.9
11:00	14.32	125.0	41.7	105.9
12:00	14.32	125.0	41.7	105.9
13:00	14.32	125.0	41.7	105.9
14:00	15.88	125.0	40.1	97.7
15:00	19.00	125.0	37.0	83.4
16:00	20.50	125.0	35.5	77.3
17:00	23.50	125.0	32.5	76.7
18:00	22.00	125.0	34.0	75.9
19:00	21.00	125.0	35.0	75.4
20:00	20.83	125.0	35.2	76.0
21:00	20.50	125.0	35.5	77.3
22:00	21.50	125.0	34.5	75.6
23:00	22.17	125.0	33.8	76.0
00:00	23.50	125.0	32.5	76.7

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



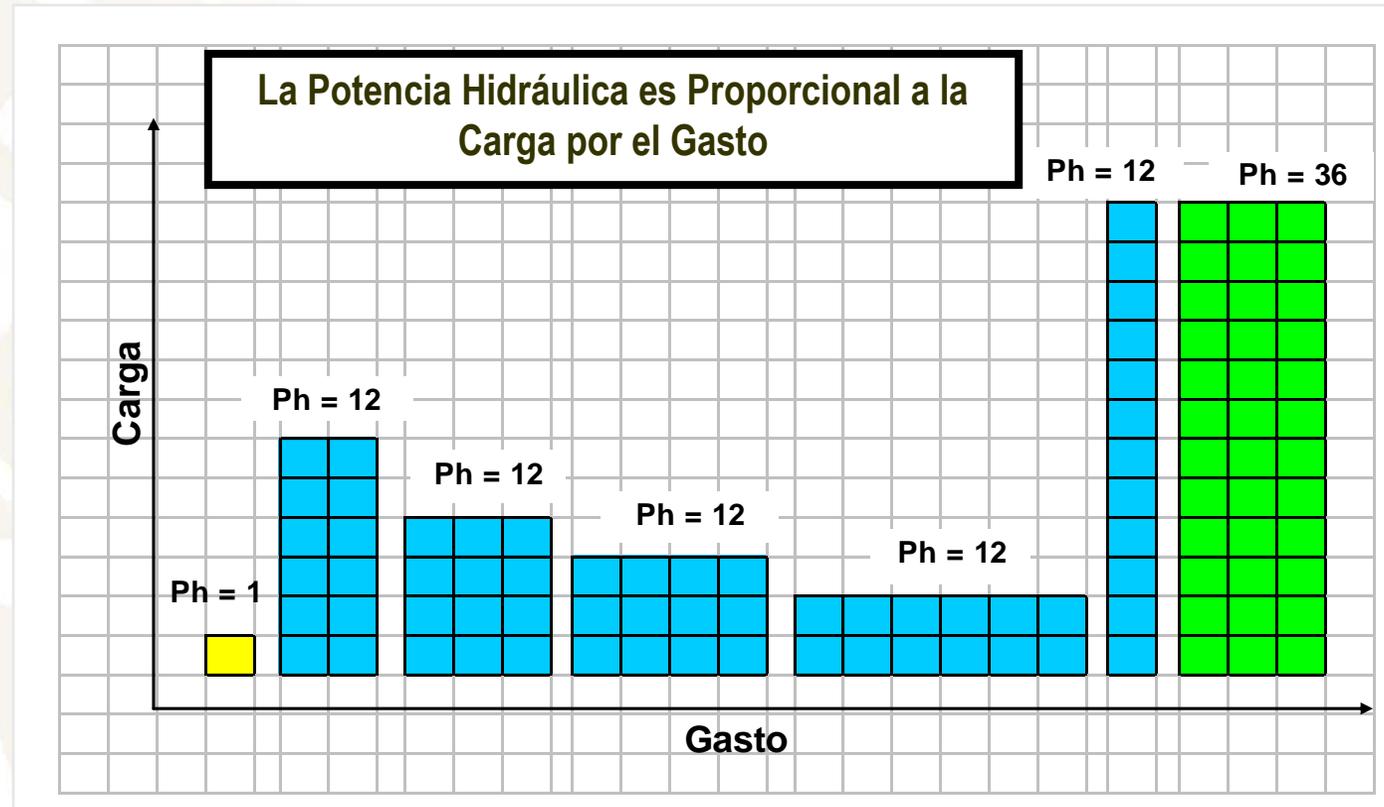
Criterios para la selección de bombas

Los parámetros a considerar para la selección de la bomba son:

- Caudal o rango de caudales que se manejarán
- Carga o rango de cargas que se manejarán
- Tipo de fluido (su densidad y viscosidad)
- Temperatura o rango de temperaturas del fluido
- Carga neta de succión disponible

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas

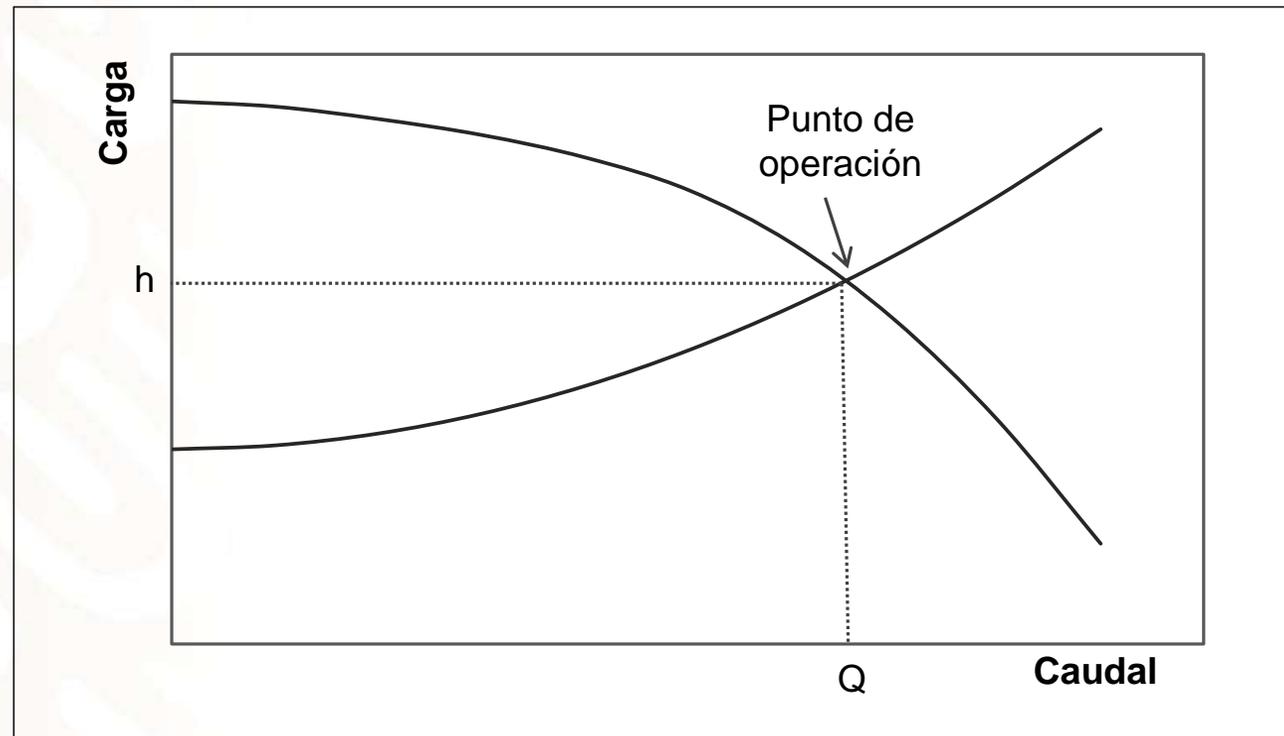


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Determinación del punto de operación:



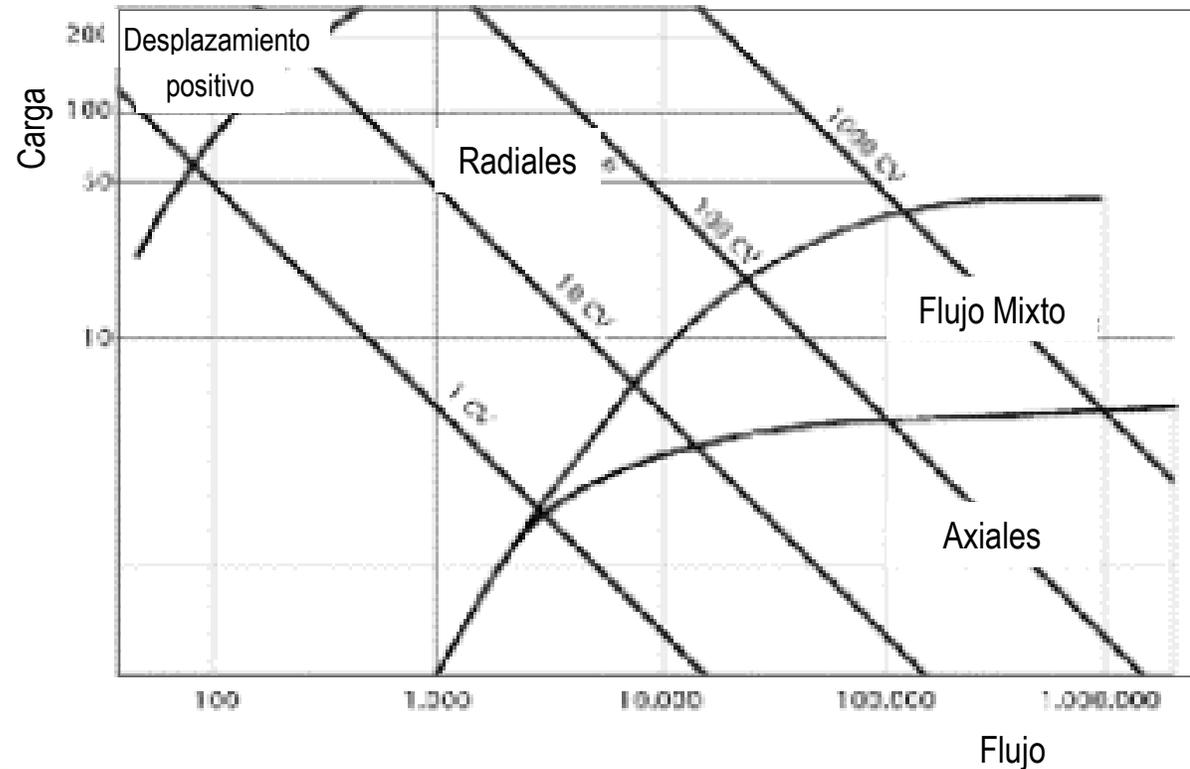
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



Determinación del tipo de bomba:



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



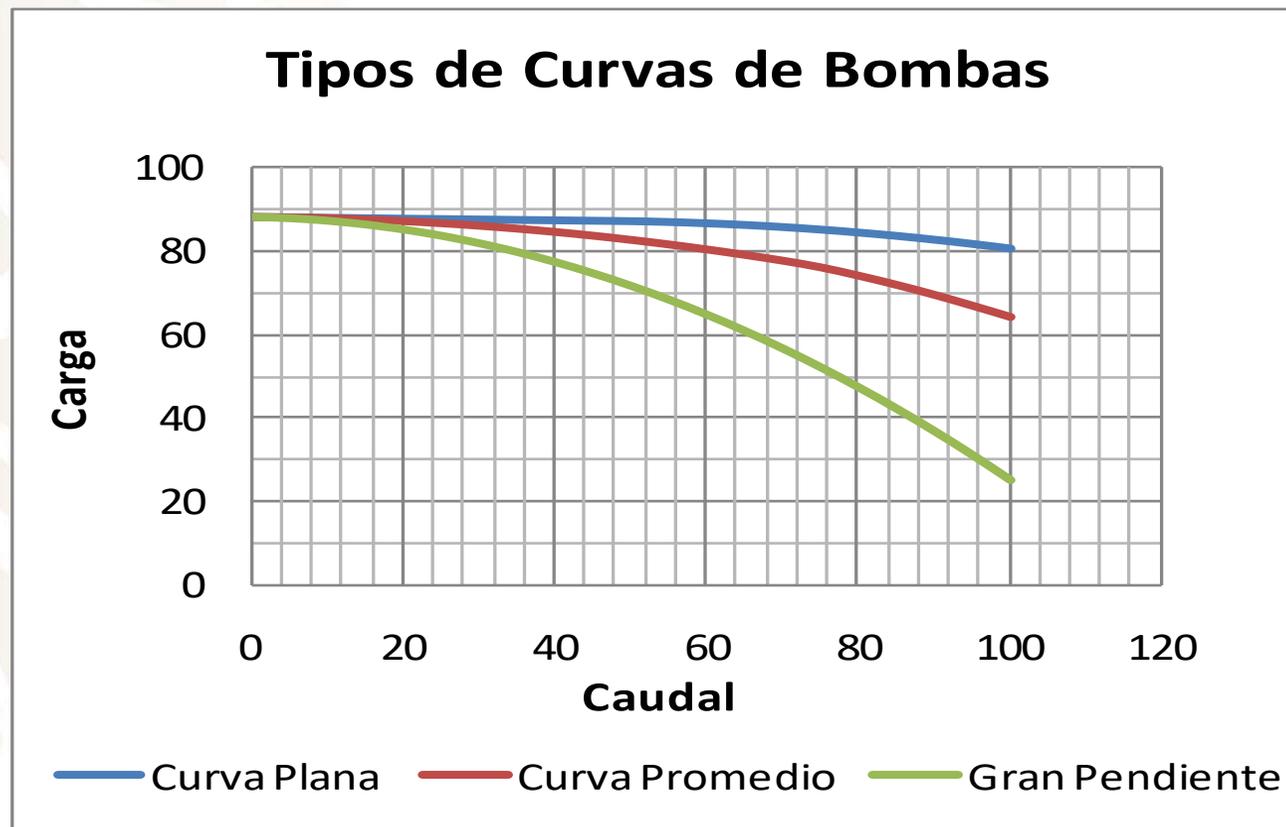
El tipo de bomba en general va a venir determinado por la aplicación de que se trate como se vio en la figura anterior.

Un aspecto que es muy importante atender cuando se va a seleccionar una bomba, es la forma que tiene la curva en la zona que se espera que esta opere.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



Fuentes Alternas de Energía

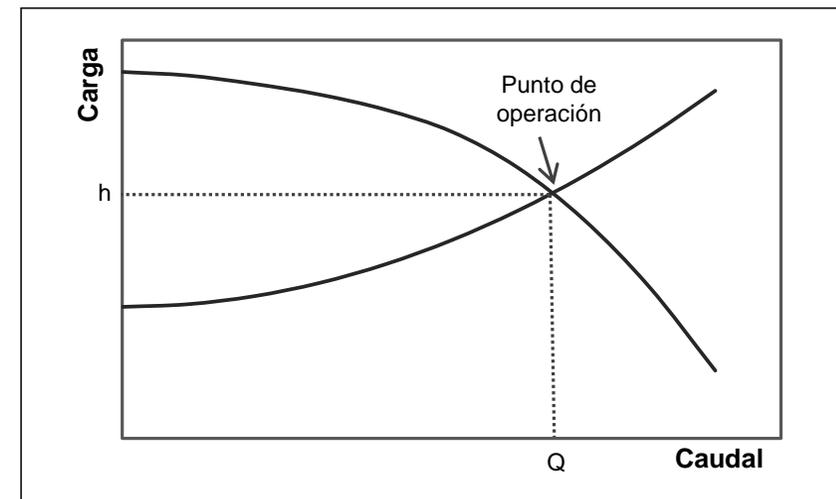
Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



Selección de la bomba para operar en un solo punto:

Este es el caso más sencillo y la selección se hará únicamente con el criterio de la bomba que presente la mejor eficiencia en el punto de operación, sin importar la forma de la curva.

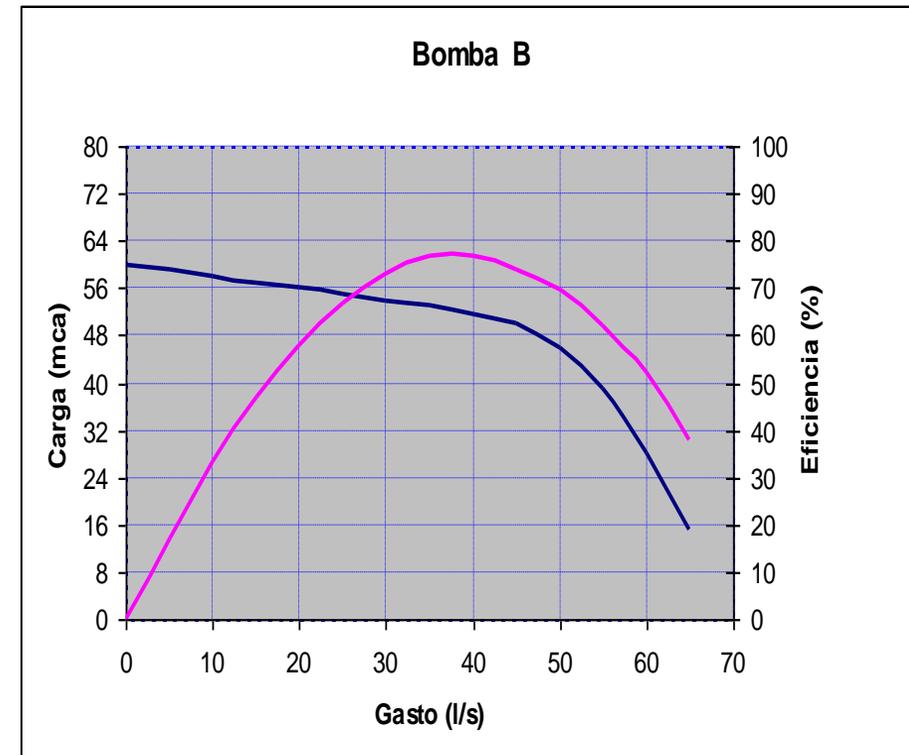
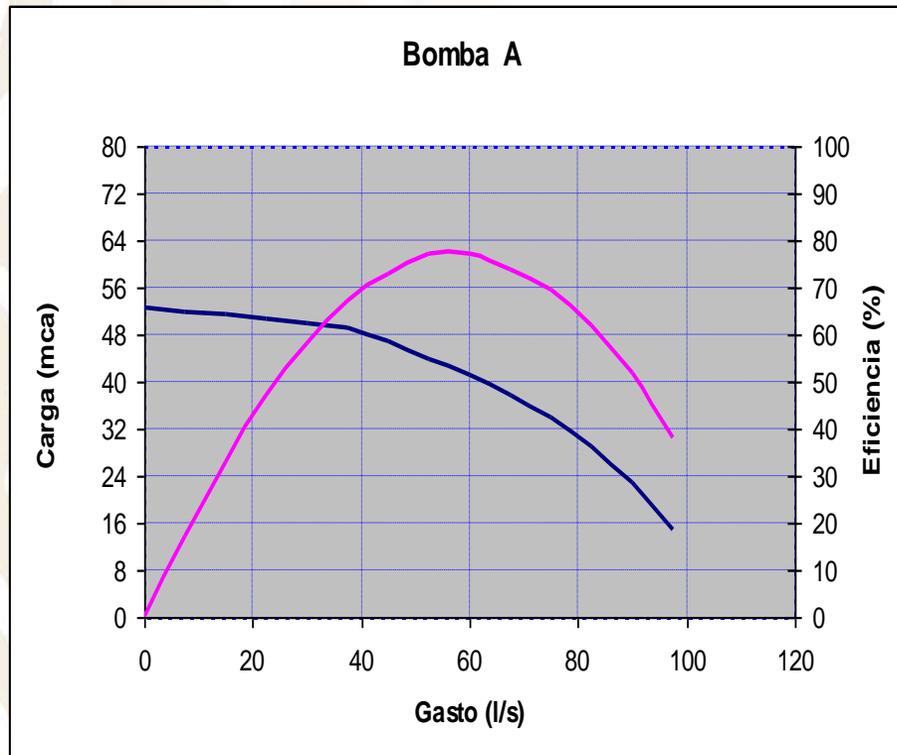


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



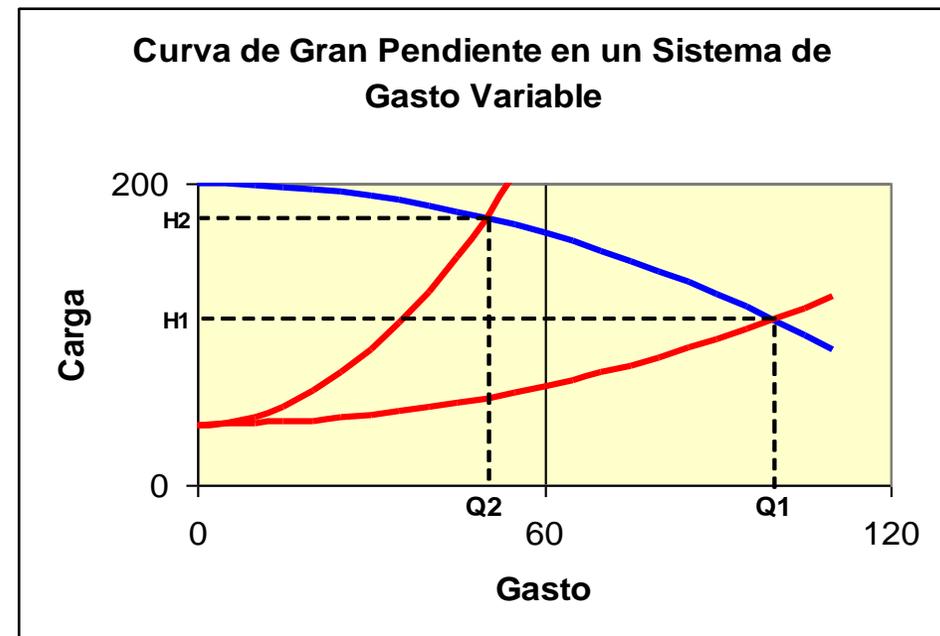
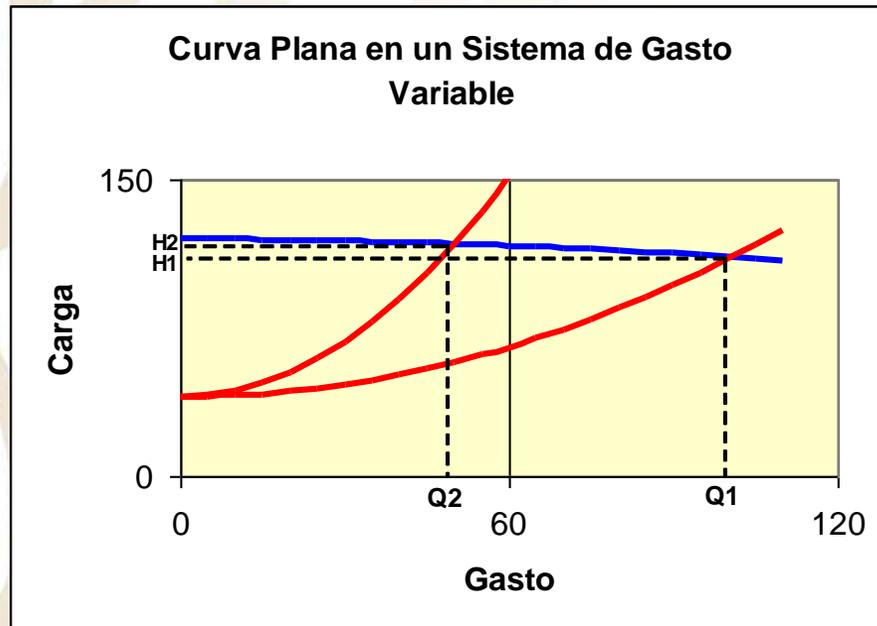
Selección de la bomba para operar en varios puntos:



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas

Selección para aplicaciones de caudal variable:

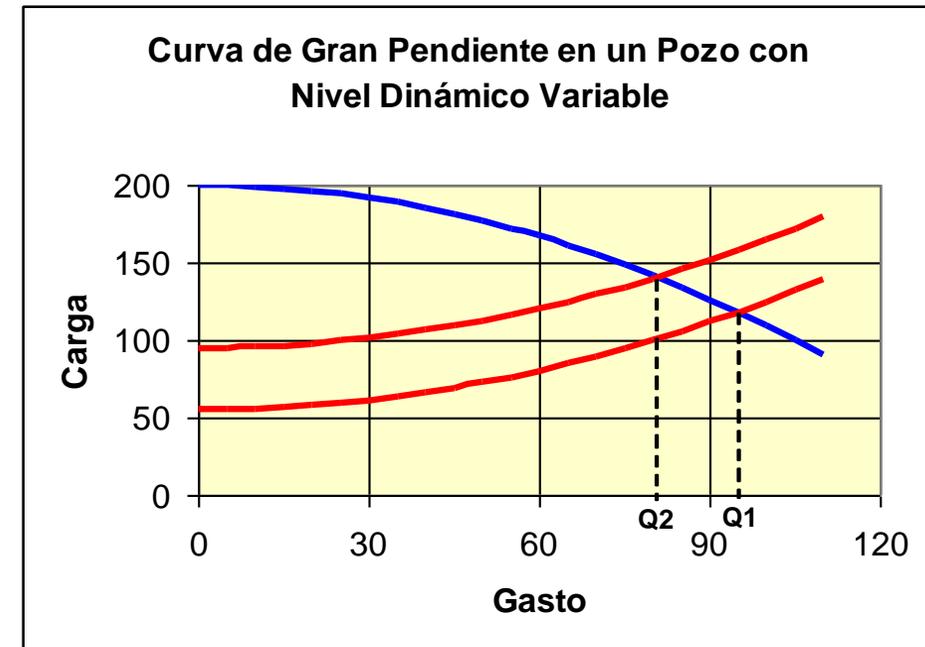
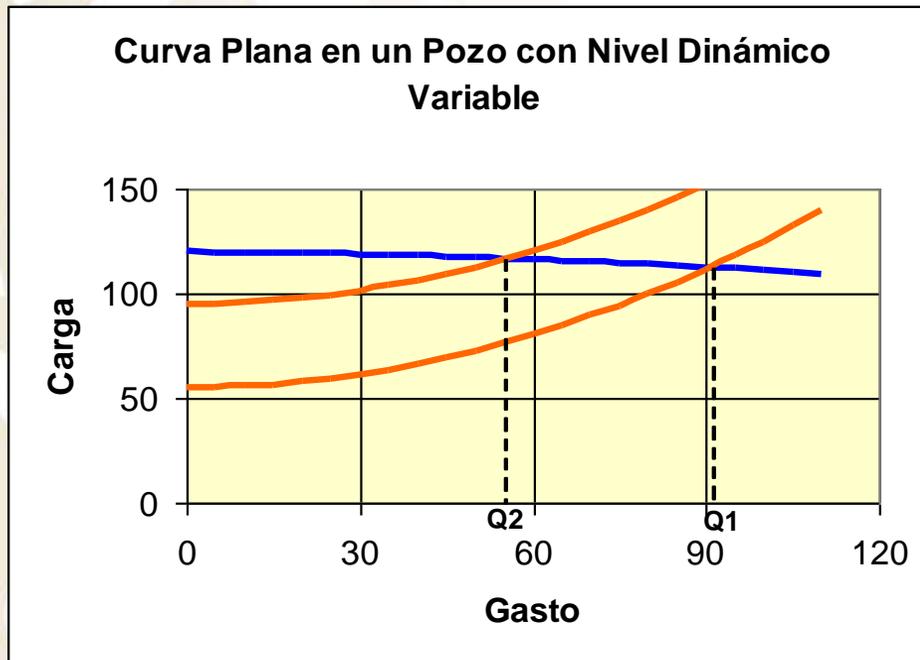


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Selección para aplicaciones de carga variable:



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Selección para aplicaciones de velocidad variable:

Aunque bombas con cualquier tipo de curva van a operar satisfactoriamente con variador de velocidad, es más recomendable una de pendiente media.

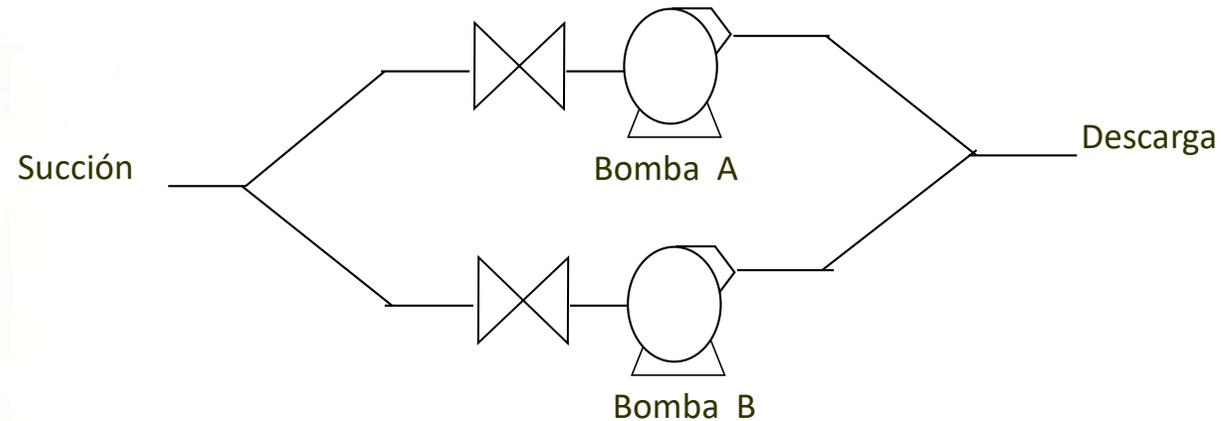
Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



Bombas operando en paralelo



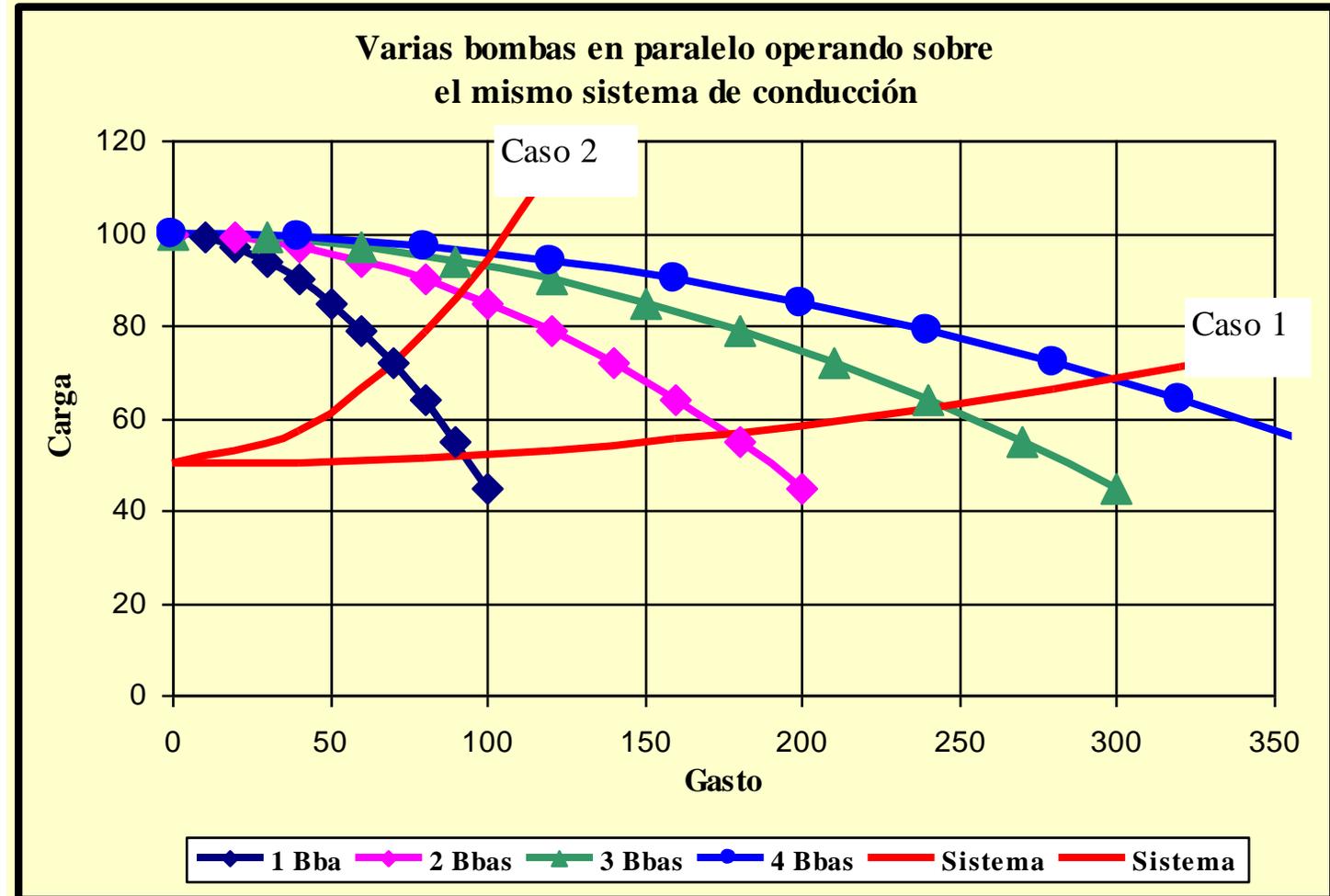
$$\Delta H_T = \Delta H_A = \Delta H_B$$

$$Q_T = Q_A + Q_B$$

A igual carga el caudal se suma

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas

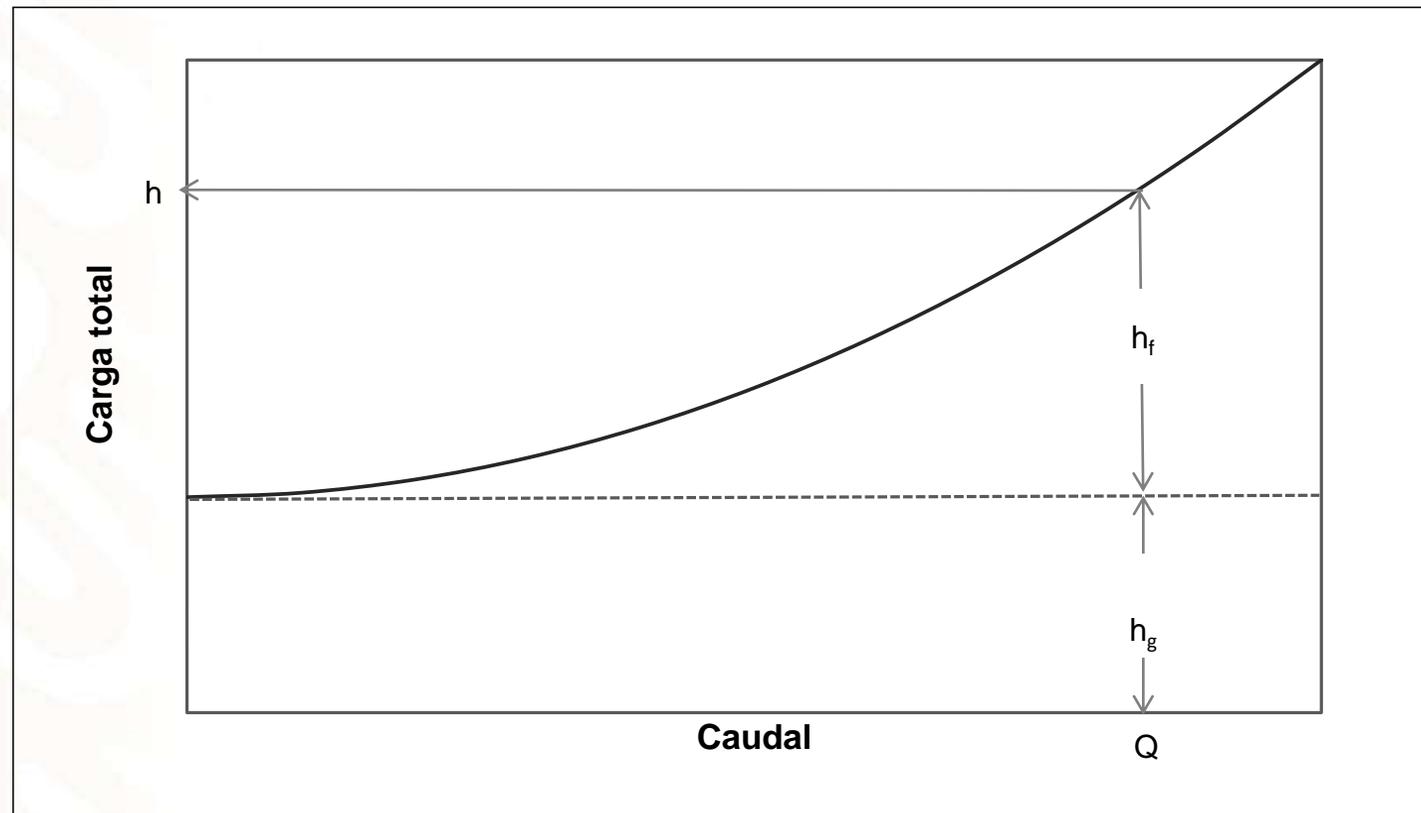


Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

El sistema de conducción hidráulica



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Pérdidas primarias

- rozamiento del fluido con la pared (capa límite)
- rozamiento entre capas de fluido (régimen laminar)
- rozamiento por el choque de partículas (régimen turbulento)

Pérdidas Secundarias

- transiciones en accesorios.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

$$h_f = f \times (L/D) \times (v^2/2g)$$

Donde:

h_f = Pérdidas primarias de carga, en pies de líquido o (m.c.a)

L = Longitud de la tubería, en pies o (m)

D = Diámetro interior de la tubería, en pies o (m)

v = Velocidad en la tubería, en pies por segundo o (m/seg)

g = Aceleración debida a la gravedad, en pies/seg² (m/seg²)

f = coeficiente de fricción (dependiendo de la rugosidad relativa de la tubería y del número de Reynolds)



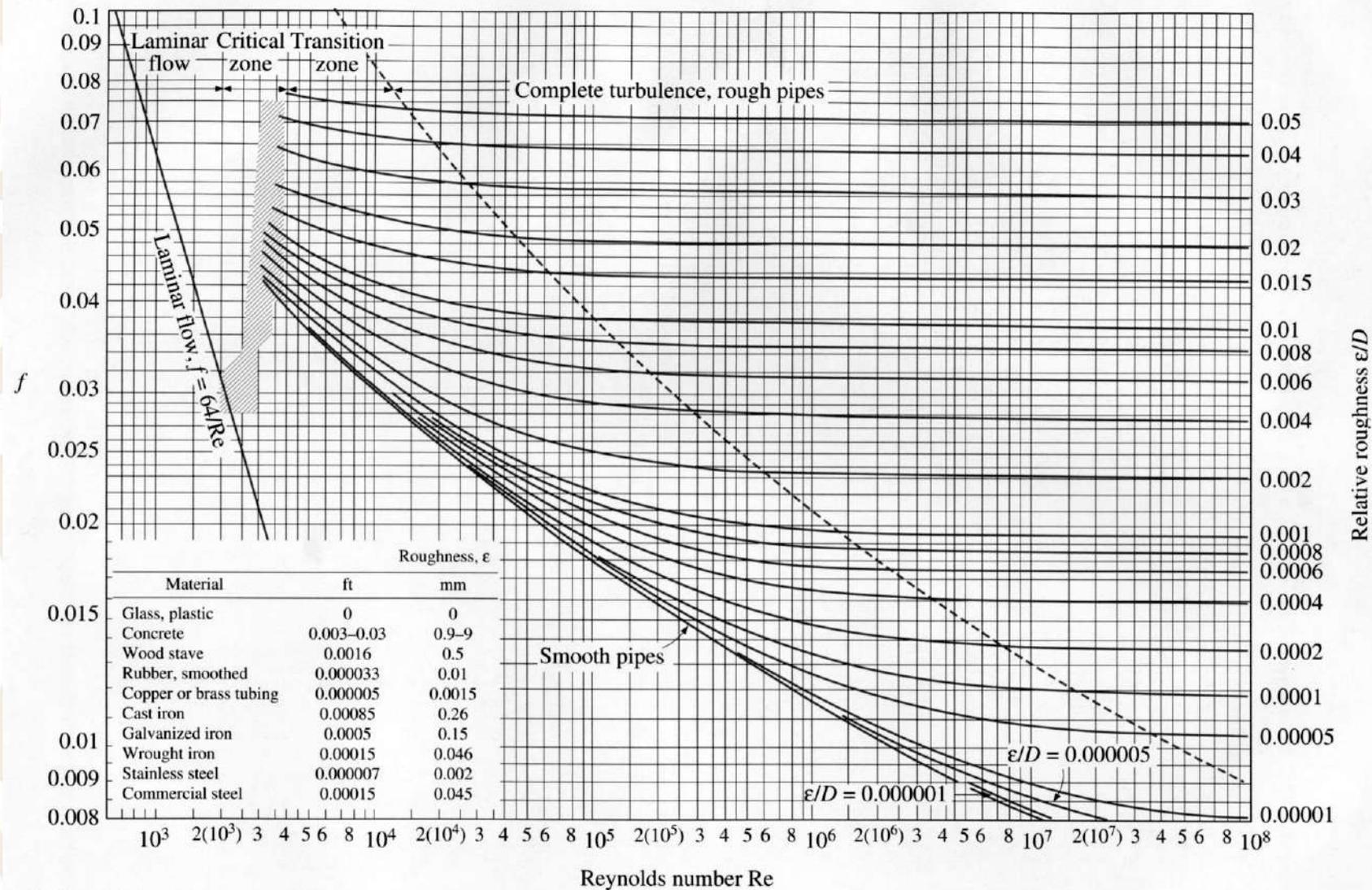


FIGURE A-27

The Moody chart for the friction factor for fully developed flow in circular tubes.

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

Número de Reynolds:

$$Re = \frac{v \times D}{\mu}$$

donde:

Re = Número de Reynolds (adimensional)

v = Velocidad promedio del fluido en la tubería (m/s)

D = Diámetro interior de la tubería (m)

μ = Viscosidad cinemática en (m²/s)



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Viscosidad Cinemática del Agua

Temperatura (° C)	Viscosidad Cinemática (m ² /s)	Temperature (° C)	Viscosidad Cinemática (m ² /s)
10	1.307 E-06	28	0.833 E-06
12	1.235 E-06	30	0.798 E-06
14	1.169 E-06	32	0.765 E-06
16	1.108 E-06	34	0.734 E-06
18	1.053 E-06	36	0.706 E-06
20	1.002 E-06	38	0.679 E-06
22	0.955 E-06	40	0.653 E-06
24	0.911 E-06	50	0.547 E-06
26	0.870 E-06	60	0.468 E-06

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



Rugosidad relativa (ϵ):

$$\epsilon = \frac{\epsilon}{D}$$

donde: ϵ es la rugosidad absoluta (mm)
D diámetro (mm)

Fuentes Alternas de Energía

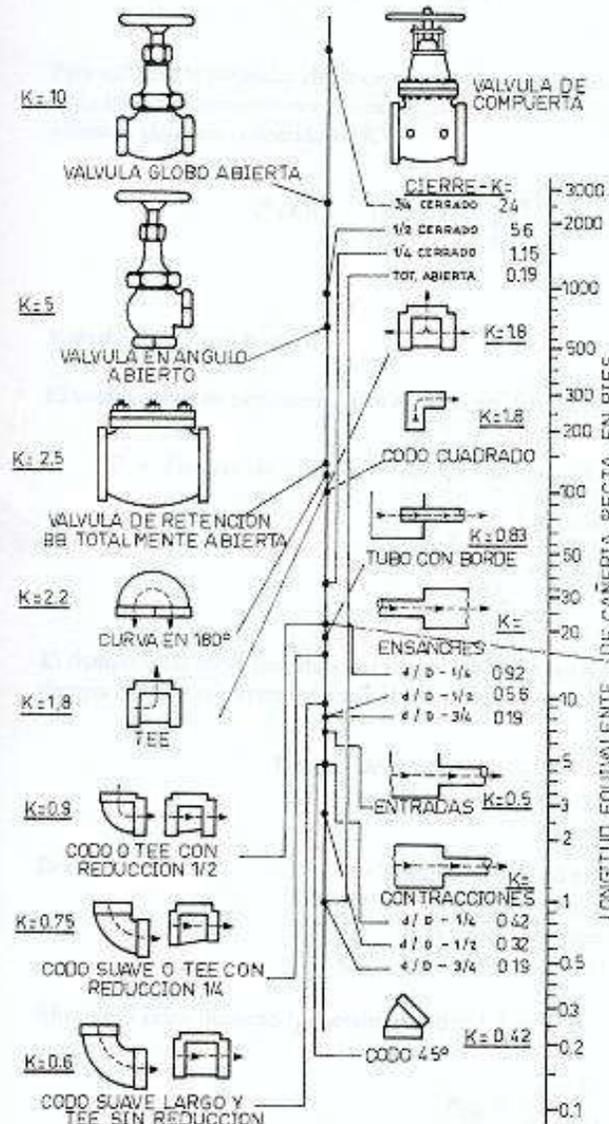
Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas

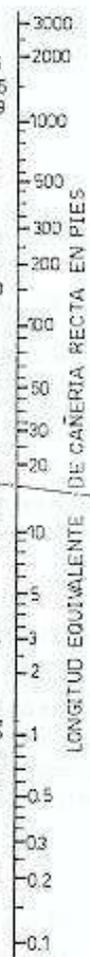
Valores de ϵ para diferentes tubería

	ϵ (mm)
Acero remachado	0.9 - 9
Concreto	0.3 - 3
Hierro fundido	0.25
Hierro galvanizado	0.15
Hierro fundido asfaltado	0.12
Acero comercial o hierro forjado	0.046
Tubería estirada (PVC)	0.0015





Indica la pérdida de carga en una pieza especial en una longitud equivalente al diámetro de la cañería que se está calculando.



DIAMETRO INTERIOR DE LA CAÑERIA EN PULGADAS

$$J = K \frac{v^2}{2g}$$

EJEMPLO: LA LINEA PUNTEADA INDICA QUE LA RESISTENCIA DE UN CODO ES EQUIVALENTE A, APROXIMADAMENTE, 16 PIES DE CAÑERIA DE 6" DE DIAMETRO. (1PTE=30.5cm; 1PULG.= 2.54cm.). ASUMIENDO UN CAUDAL Q=25l/sq Y USANDO HAZEN Y WILLIAMS CON PVC Ø150 C-10, NOS DA UNA PERDIDA $J=0.0131m$; PARA $L=4.88m \Rightarrow J \cdot L = 4.88 \cdot 0.0131 = 0.064m = 6.4cm$.



Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo

Bombas Centrífugas



Caso de estudio 9: Se tiene agua a 22 °C bombeada a través de una tubería de hierro forjado a una razón de 340 m³/h hasta un depósito situado a una altura geométrica de 34 metros. El sistema de tubería está compuesto de la siguiente manera:

-Tramos rectos de tubería	830 m
-Diámetro de tubería	8"
-Codos de 90°	24
-Codos de 45°	6
-Válvulas de compuerta	2

El equipo trabaja 8712 h/año y el motor demanda 115 kW.

- Calcular:
- 1) Las pérdidas totales en m.c.a. del sistema
 - 2) La carga de bombeo en m.c.a.
 - 3) La potencia hidráulica
 - 4) La eficiencia electromecánica
 - 5) El consumo y facturación anual de energía (CUE = 1.7 \$/kWh)

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



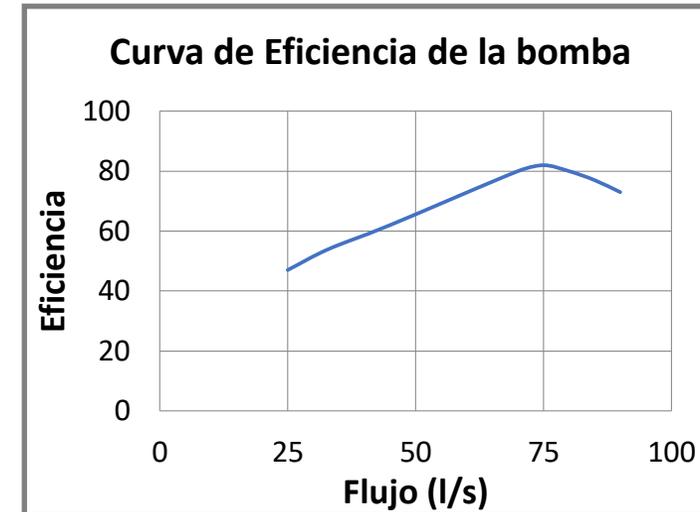
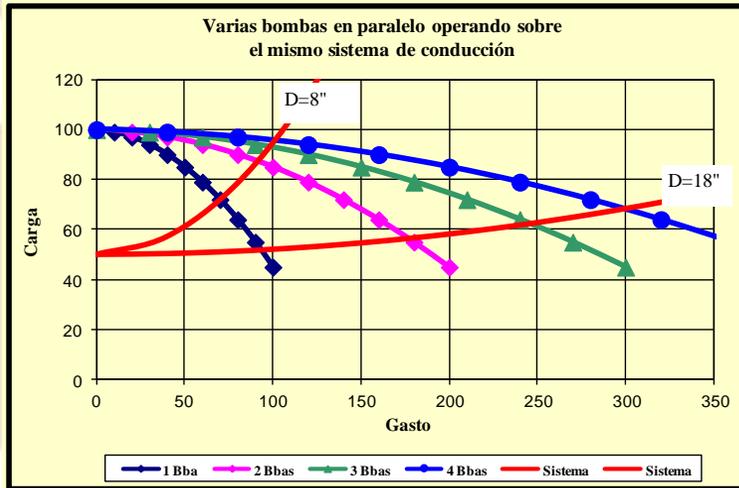
Caso de estudio 10:

Proponga el diámetro óptimo que debe tener la tubería del ejemplo anterior, así como la eficiencia electromecánica del equipo, y:

- Calcular:
- 1) Las pérdidas totales en m.c.a. del sistema
 - 2) La carga de bombeo en m.c.a.
 - 3) La potencia hidráulica
 - 4) La potencia eléctrica que demandará el motor
 - 5) El consumo y facturación anual (CUE = 1.7 \$/kWh)
 - 6) El monto de los ahorros a obtener

Fuentes Alternas de Energía

Eficiencia Energética en Sistemas de Bombeo Bombas Centrífugas



D	Núm. de bbas	Q (l/s)	H (mca)	Ph (kW)	Efic-b	Pm	Efic-m	Pe	kWh/m ³	Ahorro (%)
8"	1	70	72	49.44	0.80	61.80	0.90	68.67	0.2725	
	2	45	87	38.41	0.62	61.95	0.90	68.83	0.4249	
	3	33	92	29.78	0.54	55.15	0.90	61.28	0.5158	
	4	25	95	23.30	0.47	49.57	0.90	55.08	0.6120	
18"	1	90	52	45.91	0.73	62.89	0.90	69.88	0.2157	20.9%
	2	85	54	45.03	0.77	58.48	0.90	64.98	0.2123	50.0%
	3	80	62	48.66	0.80	60.82	0.90	67.58	0.2347	54.5%
	4	75	68	50.03	0.82	61.01	0.90	67.79	0.2511	59.0%



MUCHAS GRACIAS

Ing. Ramón Rosas Moya

Tel. (222) 5884388

ramonrm@ergonplus.com