

ANEXO A

OBRA CIVIL. CÁLCULO DE COSTES

INTRODUCCIÓN	2
A.1 Azud de derivación	3
A.2 Obra de toma	4
A.3 Canal de derivación	5
A.4 Cámara de carga.....	6
A.5 Tubería forzada.....	6
A.6 Edificio de la central	8
A.7 Turbinas Hidráulicas	9
A.8 Generador.....	11
A.8.1 Generador síncrono.....	11
A.8.2 Generador asíncrono.....	11
A.9 Equipo eléctrico general	13
A.10 Línea eléctrica	15
A.11 Accesos	15
A.12 Ingeniería, dirección de obra y honorarios.....	15
A.13 Costes de mantenimiento y seguro de la central	16

INTRODUCCIÓN

Con este documento se pretende proporcionar una primera aproximación de la inversión necesaria para acometer un proyecto de pequeña central hidroeléctrica, haciendo mención de los parámetros que influyen más decisivamente, sin sustituir con ello la necesidad de elaborar un proyecto y presupuesto particularizado para cada aprovechamiento.

El cálculo de costes está basado en unas gráficas de costes realizadas a partir de datos recogidos de otros proyectos y posteriormente contrastados con la información del Instituto para la Diversificación de la Energía (IDAE)

Debe tenerse en cuenta que los datos que aquí aparecen son datos medios que pueden aproximar el coste de una minicentral siempre que en ella no existan obras o elementos singulares que se aparten de la media.

Para su realización se detallan los elementos más característicos e importantes:

- Azud de derivación
- Toma, incluidas rejillas y compuertas
- Canal de derivación
- Cámara de carga
- Tubería forzada
- Edificio de central y canal de descarga
- Turbina
- Generador
- Transformador
- Sistema eléctrico general y automatización
- Línea eléctrica
- Accesos
- Ingeniería y dirección de obra

A.1 Azud de derivación

Es la obra encaminada a provocar una retención en el cauce del río y consiste en un muro dispuesto transversalmente al curso del agua y que no produce una elevación notable del nivel. Su función es producir un remanso en el río para desviar parte de su caudal hacia la toma. El agua que no es desviada vierte por un aliviadero y sigue su curso normal. El azud puede estar construido de hormigón, ladrillo o tierra revestidos de hormigón y resiste el empuje del agua por su propio peso.

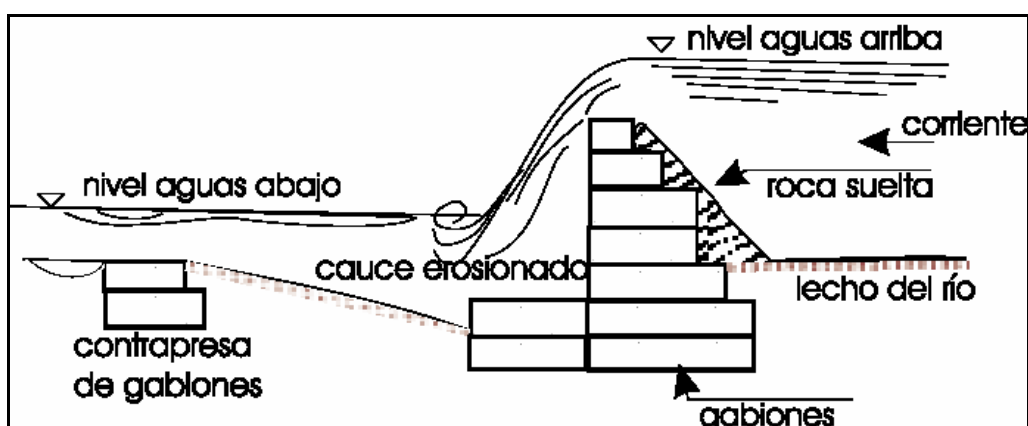


Figura 1.- Esquema simbólico del azud

El gráfico muestra el coste por unidad de longitud de un azud de derivación, de hormigón, en función de su altura media y la ecuación que lo modela. El coste total se obtendrá multiplicando el coste por unidad de longitud por la longitud total del azud en metros.

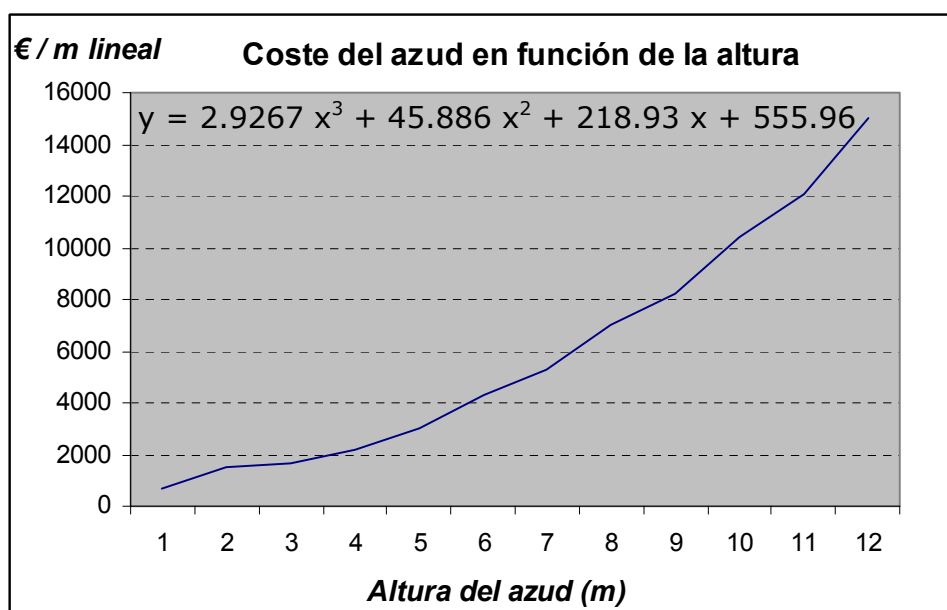


Figura 2.- Coste del azud de hormigón por unidad de longitud

A.2 Obra de toma

Consiste en un ensanchamiento al inicio del canal, que facilita la entrada del agua retenida por el azud al canal de conducción. Su construcción debe respetar el medio ambiente en que se integra, con la mínima pérdida de carga posible e independientemente de la altura de la lámina de agua en el río.

Su diseño, basado en consideraciones hidráulicas, estructurales y económicas, requiere un cuidado especial para evitar problemas de funcionamiento y conservación a lo largo de la vida de la central.

En general, la toma dispone de una rejilla que impide la entrada de elementos sólidos al canal, y una compuerta, para interrumpir la entrada de agua y proceder al vaciado, limpieza o reparación de las conducciones.

Se considera para el cálculo una toma de sección rectangular con su correspondiente reja y compuerta. El gráfico muestra el coste total de la partida, en función del caudal de equipamiento y la ecuación que lo modela.

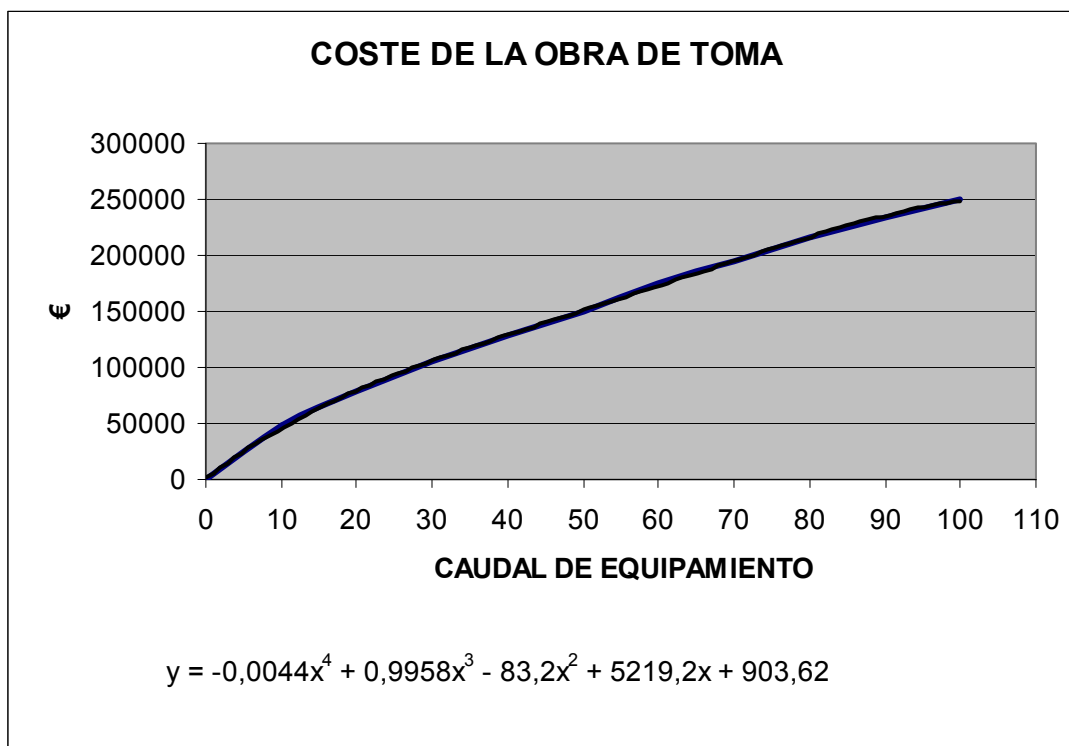


Figura 3.- Coste de la obra de toma

A.3 Canal de derivación

El caudal derivado debe ser conducido hasta la cámara de carga o embalse. Este proceso se puede realizar a través de un canal a cielo abierto, enterrado o una conducción en presión.

En general, la conducción se hace a través de un canal que sigue las líneas de nivel con una ligera pendiente (aproximadamente del 0,5 por mil). En el trazado se debe procura el mínimo movimiento de tierras posible, adaptándose al terreno.

La sección transversal a adoptar dependerá de la clase de terreno: habitualmente, para canales en roca se utiliza la sección rectangular y para canales en tierra se utiliza la sección trapezoidal. También se suelen utilizar tuberías prefabricadas de hormigón para conducciones en lámina libre enterradas.

El gráfico muestra los costes por unidad de longitud, en función del caudal de equipamiento para los casos de excavación sobre roca y tierra, en función del caudal de equipamiento. El coste total vendrá dado al multiplicar el coste unitario por la longitud total del canal.

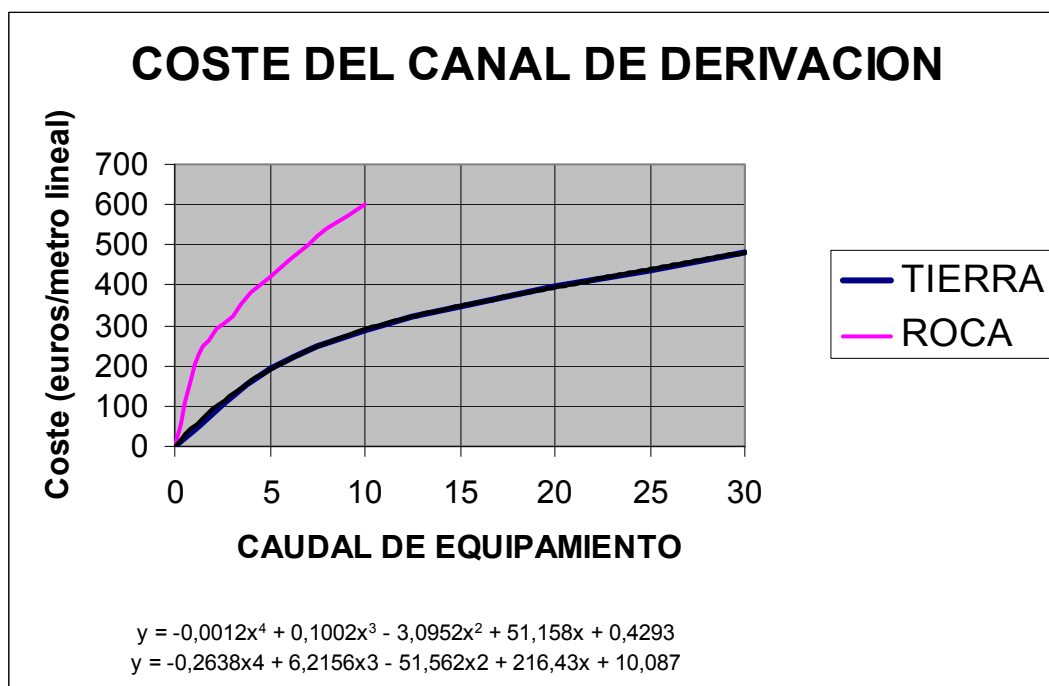


Figura 4.- Coste del canal de derivación por unidad de longitud

A.4 Cámara de carga

La cámara de carga es un depósito localizado al final del canal, del cual arranca la tubería forzada. Si es de gran capacidad, se utiliza como depósito final de regulación (se hablará entonces de central de agua embalsada y, se considerará presa); si no, se usa para suministrar el volumen de agua necesario para el arranque de la turbina sin intermitencias (central de agua fluyente).

Cuando la central tiene una parada (si es de tipo fluyente) o el volumen de agua rebasa la capacidad máxima del depósito (si es de tipo embalsada) el agua no turbinada es vertida por la cámara de carga. Por este motivo, dispone de una zona de aliviadero y encauzamiento hasta reintegrarse al río o arroyo más próximo. También se puede instalar en la cámara de carga una reja con limpia-rejas y compuertas de desarenado y limpieza.

El gráfico muestra el coste total de una cámara de carga abierta de sección rectangular, en función del caudal de equipamiento y la ecuación que lo modela.

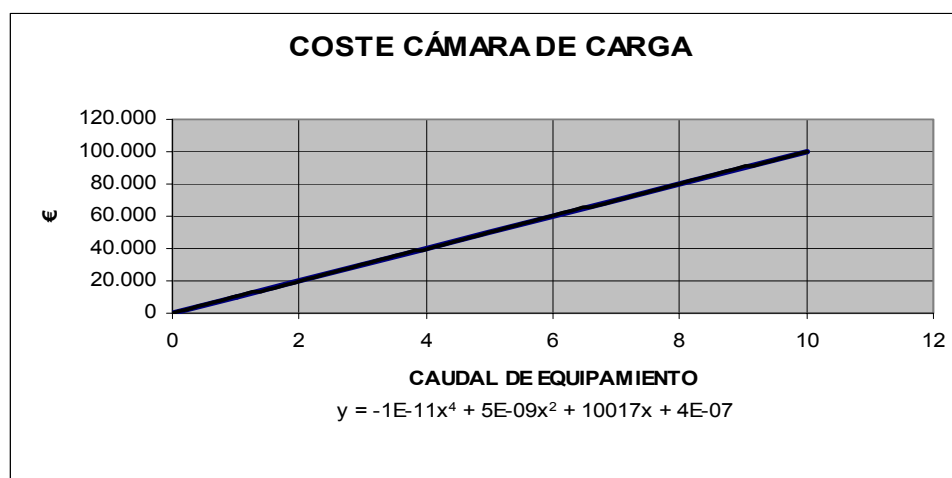


Figura 5.- Coste de la cámara de carga

A.5 Tubería forzada

Su misión es llevar el agua desde la cámara de carga hasta la turbina, salvando el desnivel necesario. Debe estar preparada para soportar la presión producida por la columna de agua y la sobre-presión producida por el golpe de ariete en caso de parada brusca de la central.

Los materiales generalmente utilizados para su construcción son el acero, la fundición, el fibrocemento y el plástico reforzado con fibra de vidrio y su espesor mínimo suele estar en torno a los 6 mm.

Las tuberías forzadas pueden ser aéreas o estar enterradas, dependiendo de la orografía del terreno y de los factores medioambientales. Si la tubería es aérea será necesario sustentarla mediante apoyos y anclajes en cada uno de los cambios de dirección de la tubería. Si está enterrada, se suele disponer de una cama de arena en el fondo de la zanja sobre la que apoya la tubería, instalando anclajes de hormigón en los cambios de dirección.

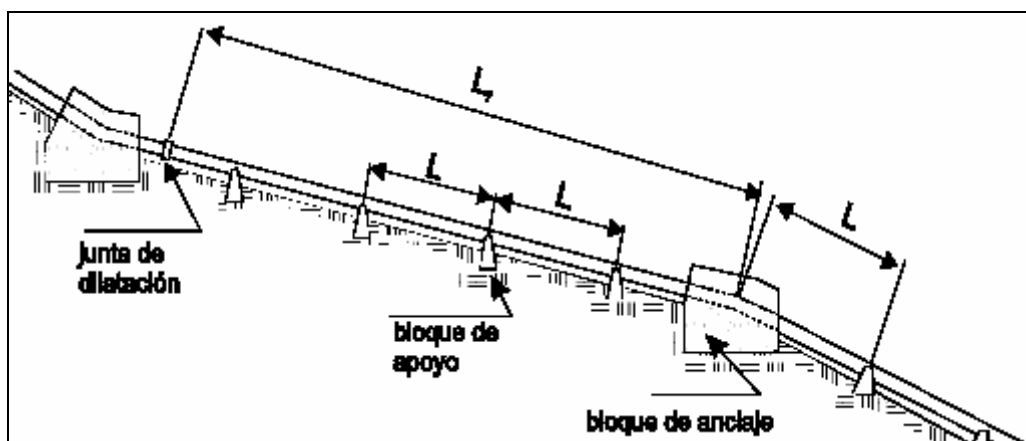


Figura 6.- Esquema de la tubería forzada

El gráfico proporciona el coste por metro de tubería, en función del caudal de equipamiento, para diferentes alturas de salto. Para conocer el coste total, será necesario conocer la longitud de la tubería, que dependerá de la pendiente del terreno.

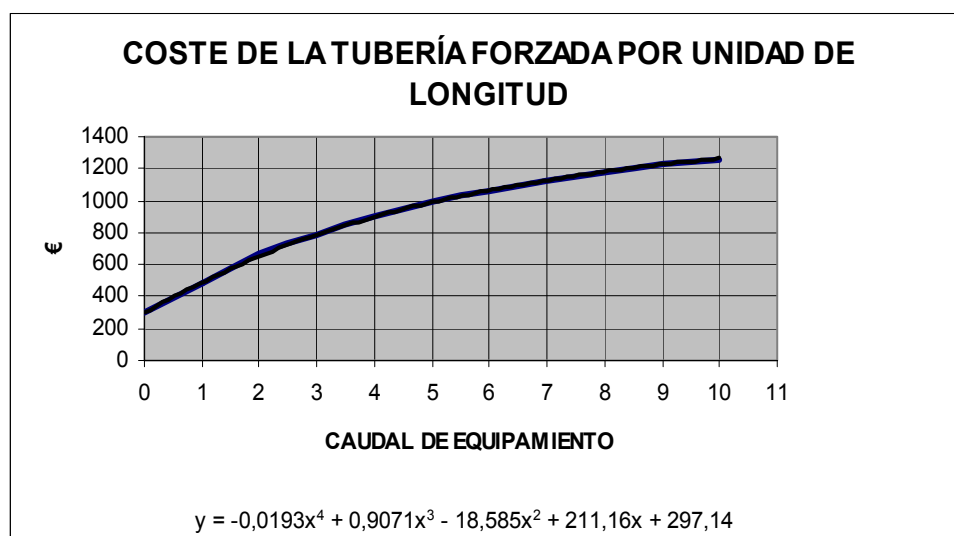


Figura 7.- Coste de la tubería forzada por unidad de longitud

A.6 Edificio de la central

Es un elemento complejo e importante dentro de un aprovechamiento hidroeléctrico. En su interior se alberga la turbina con su correspondiente bancada, generadores, cuadros eléctricos, etc.

Debe tener practicadas las conducciones necesarias para llevar el agua hasta la turbina con las menores pérdidas de carga posibles y también debe facilitarse el desagüe hacia el canal de descarga.

La configuración física del edificio depende del tipo y número de máquinas a utilizar y del tamaño de las mismas, que dependerá a su vez del caudal de equipamiento y del salto del aprovechamiento. El edificio de la central debe diseñarse minimizando los costes de construcción y el impacto visual y debe situarse teniendo en cuenta los estudios topográficos y geológicos-geotécnicos así como la accesibilidad al mismo.

En el gráfico se muestra el coste total de la obra civil en el edificio de la central en función del caudal de equipamiento.

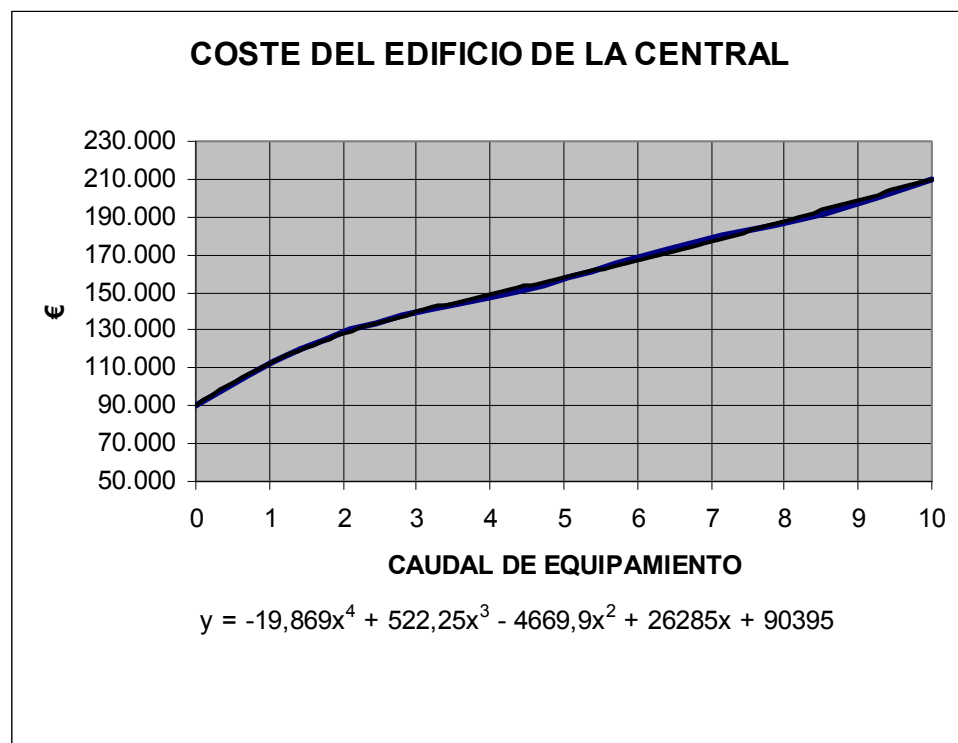


Figura 8.- Coste del edificio de la central

A.7 Turbinas Hidráulicas

La turbina es un elemento importante dentro de la inversión total de una minicentral hidroeléctrica. Existen diferentes tipos de turbinas, como ya se ha descrito con anterioridad, y cada tipo tendrá un precio característico en función de los materiales empleados y dificultad de fabricación.

Según esto, es difícil valorar exactamente el coste de una turbina para un determinado aprovechamiento. No obstante, para intentar dar una idea aproximada del coste de la turbina con todo su equipamiento (válvula, grupo de presión y lubricación), en función del caudal de equipamiento y el salto, se han dividido las turbinas en tres grupos. Para cada uno de ellos se han elaborado unas curvas de costes totales de turbina y todo su equipamiento.

A continuación se muestran los costes de las turbinas Pelton, Francis y Kaplan en función del caudal de equipamiento y la altura del salto.

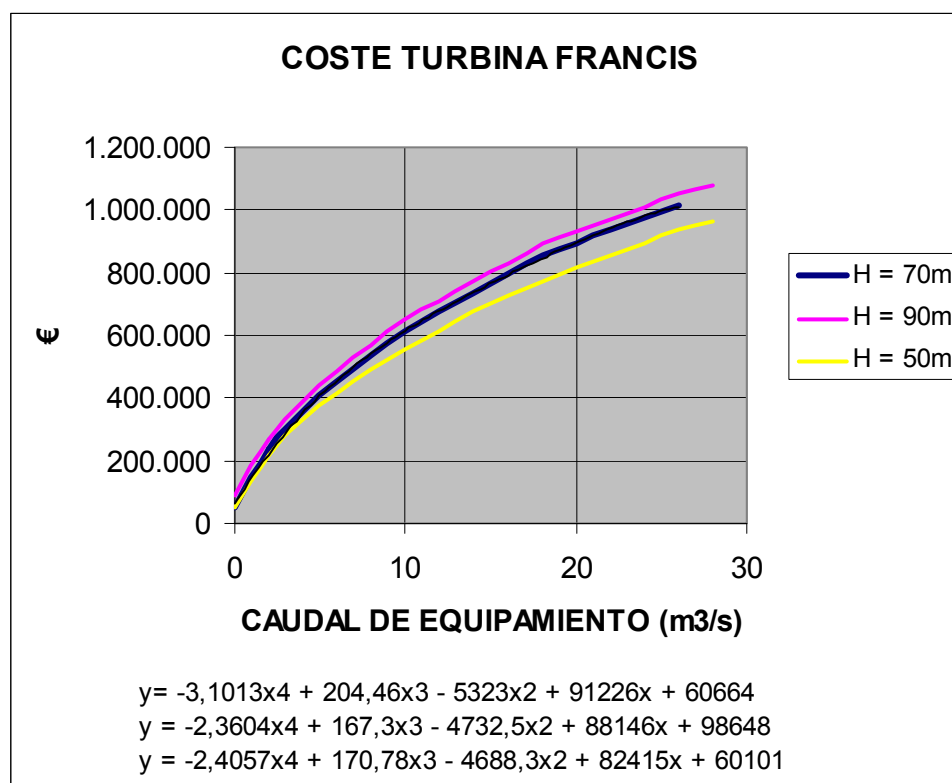


Figura 9.- Coste de la turbina Francis en función del salto

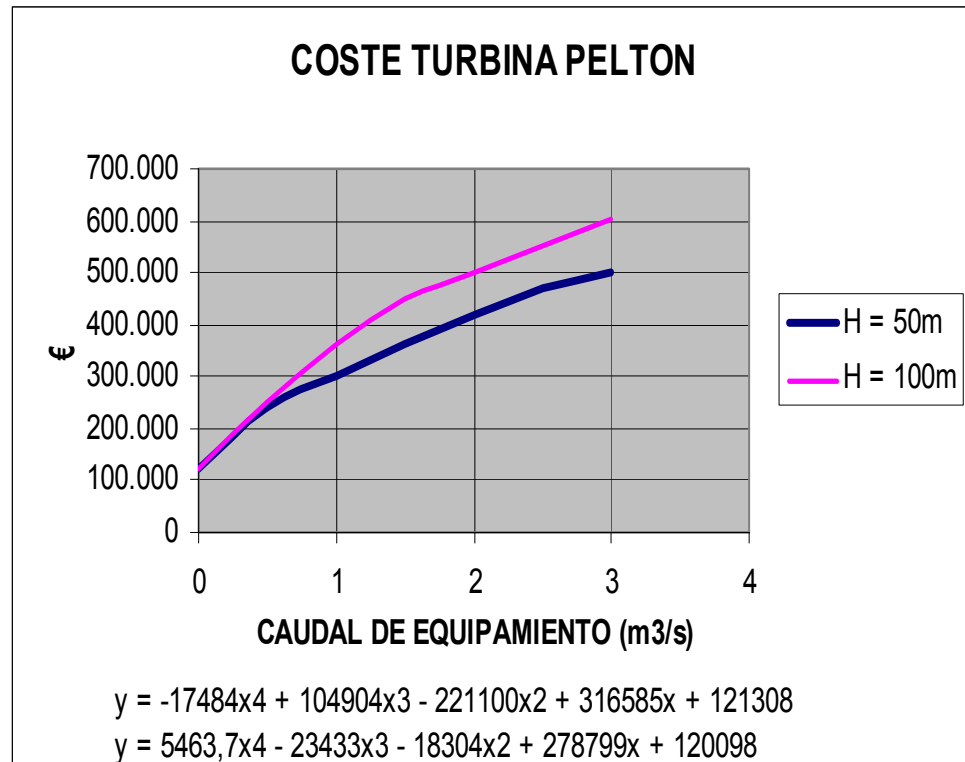


Figura 10.- Coste de la turbina Pelton en función del salto

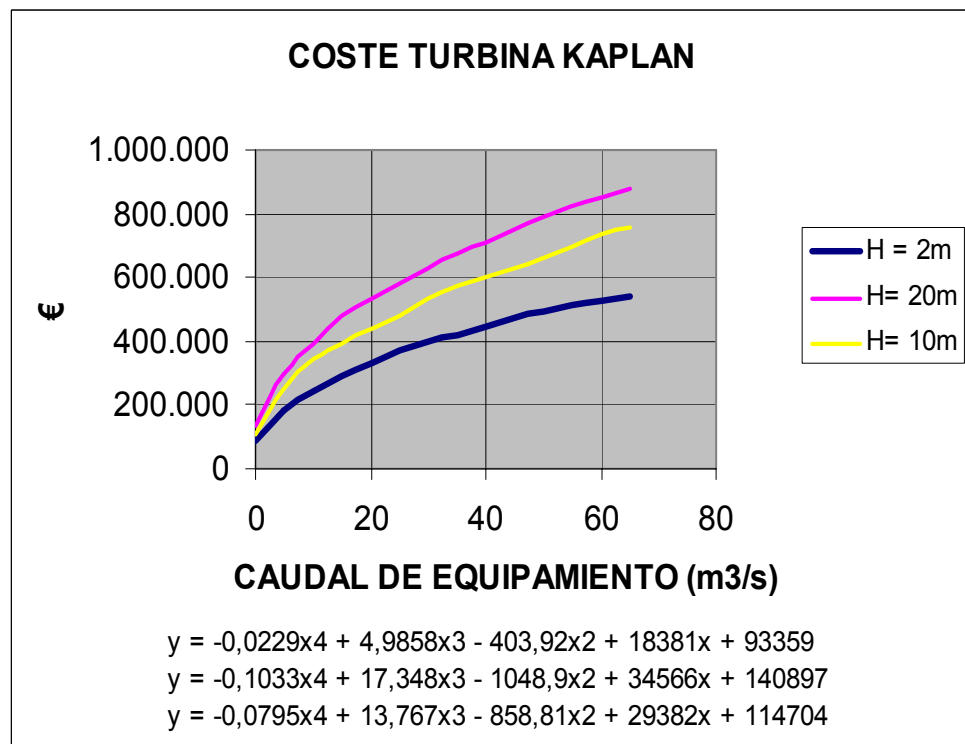


Figura 11.- Coste de la turbina Kaplan en función del salto

A.8 Generador

El generador tiene como misión transformar en energía eléctrica la energía mecánica suministrada por la turbina. En un principio se utilizaban generadores de corriente continua; actualmente, salvo rarísimas excepciones, sólo se utilizan alternadores trifásicos de corriente alterna. En función de la red que debe alimentar, se puede escoger entre generadores síncronos o asíncronos.

Entre la turbina y el generador puede instalarse un multiplicador de velocidad. Este mecanismo aumenta la velocidad de giro del rotor del generador en condiciones normales de funcionamiento, disminuyendo su tamaño y, por tanto, su coste. El multiplicador de velocidad produce pérdidas mecánicas, alcanzando un rendimiento próximo al 98%.

A.8.1 Generador síncrono.

Están equipados con un sistema de excitación asociado a un regulador de tensión para que, antes de ser conectados a la red, generen energía eléctrica con el mismo voltaje, frecuencia y ángulo de desfase que aquella, así como la energía reactiva requerida por el sistema una vez conectados. Los alternadores síncronos pueden funcionar aislados de la red. Normalmente se emplea este tipo de generador si la potencia sobrepasa los 5.000 kVA.

A.8.2 Generador asíncrono.

Son simples motores de inducción con rotor en jaula de ardilla, sin posibilidad de regulación de tensión, que giran a una velocidad directamente relacionada con la frecuencia de la red a la que están conectados. De esa red extraen su corriente de excitación y de ella absorben la energía reactiva necesaria para su propia magnetización. Esta energía reactiva puede compensarse, si se estima conveniente, mediante bancos de condensadores. No pueden generar corriente cuando están desconectados de la red ya que son incapaces de suministrar su propia corriente de excitación. Se emplean siempre que la potencia sea inferior a 500 kVA. Entre 500 kVA y 5.000 kVA la elección viene condicionada por la capacidad de la red de distribución.

Los alternadores síncronos son más caros que los asíncronos y se utilizan para alimentar redes pequeñas, en las que su potencia representa una proporción sustancial de la carga del sistema, o en todo caso, cuando la potencia de la turbina supera los 5.000 kVA. Los asíncronos se utilizan en grandes redes, en las que su potencia

representa un porcentaje insignificante de la carga del sistema. Su rendimiento, en todo el campo de funcionamiento, es de un 2÷4% inferior al de los alternadores síncronos.

Para este elemento, como en el resto de equipamiento electromecánico, se puede encontrar una gran dispersión de precios, en función de las características del equipo y del fabricante. El gráfico da un precio medio del generador en función de la potencia instalada y el tipo.

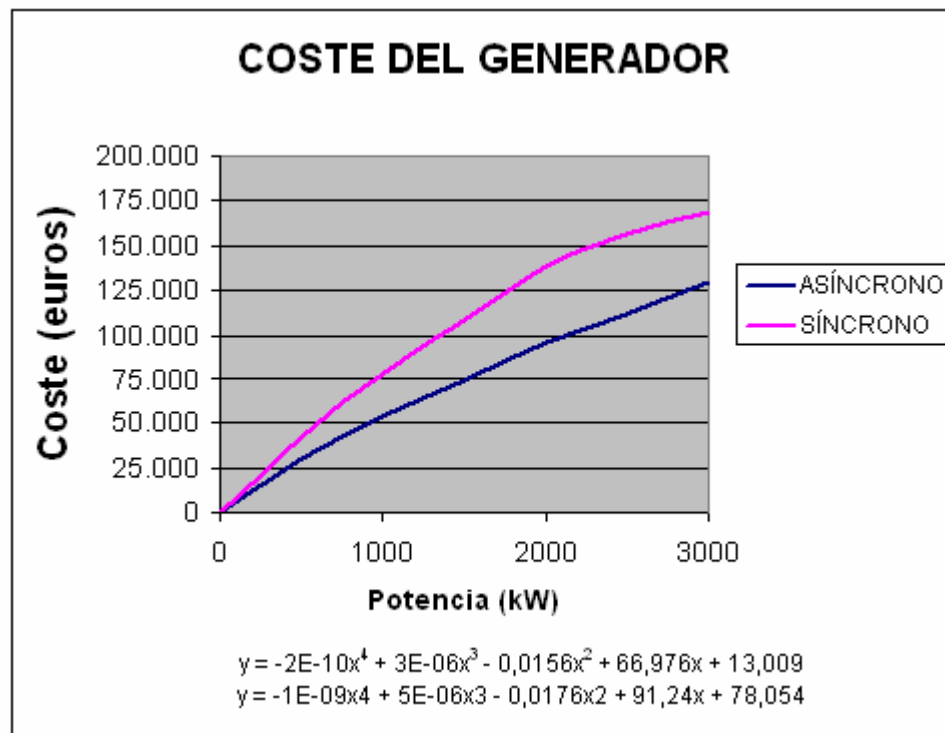


Figura 12.- Coste del generador en función del tipo

A.9 Equipo eléctrico general

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

Un elemento fundamental lo constituye el transformador. Dependiendo de la tensión de trabajo del generador, la transformación puede ser de baja/media o media/alta tensión. Su objetivo es elevar la tensión al nivel de la línea existente para hacer posible un transporte sin pérdidas excesivas. El transformador debe estar refrigerado, ya sea mediante convección natural o bien por circuito cerrado de aceite o silicona. Es habitual instalarlo en el interior del edificio de la central, aunque en ocasiones, por reducir la obra civil los transformadores grandes se instalan a la intemperie.

Entre los equipos eléctricos necesarios se encuentran:

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

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

El coste del sistema eléctrico general de una minicentral depende enormemente de los equipos instalados, los fabricantes de los mismos y los requerimientos fijados para el proyecto. En el gráfico se muestran los costes del transformador y del sistema eléctrico general para un solo equipo en función de la potencia instalada.

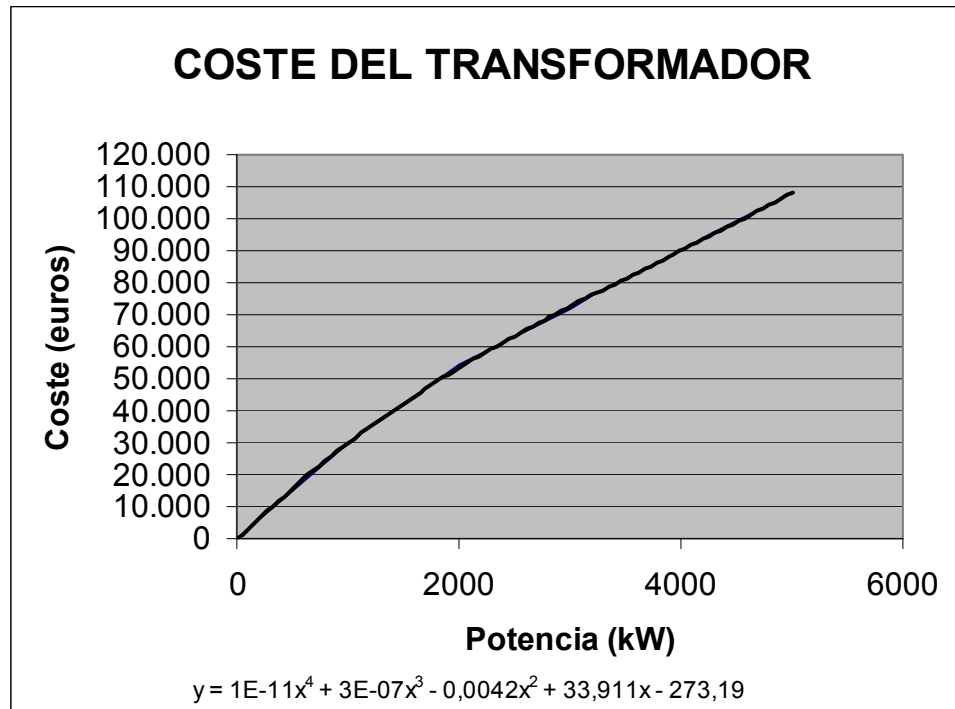


Figura 13.- Coste del transformador

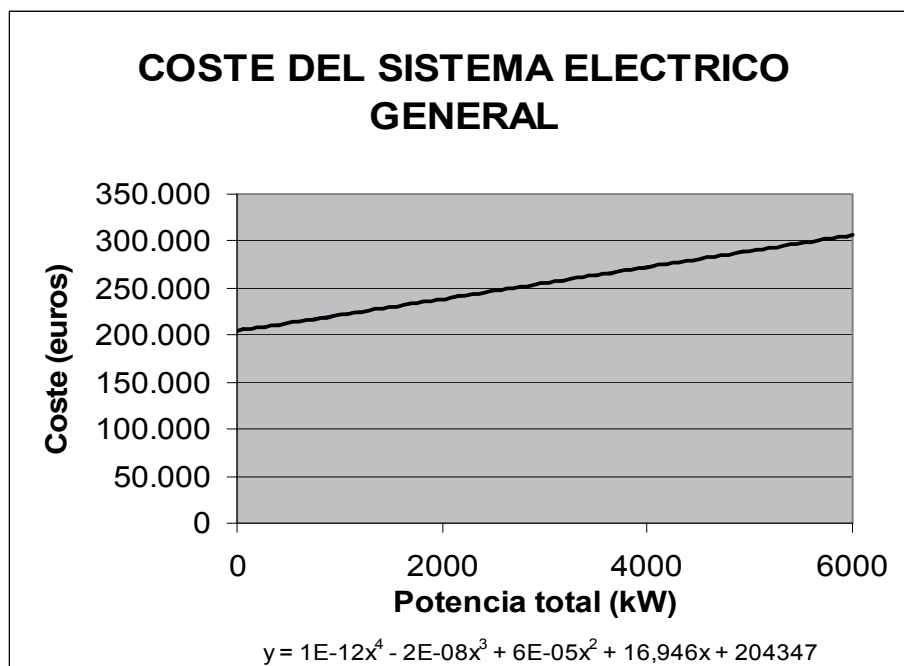


Figura 14.- Coste del sistema eléctrico general

A.10 Línea eléctrica

Otro punto a tener en cuenta es la línea eléctrica necesaria para transportar la energía producida hasta los centros de consumo o hasta la red de distribución. El alto coste de la línea es un dato importante a tener en cuenta, puesto que puede influir en la viabilidad económica del proyecto, dependiendo de su longitud.

El coste de la línea eléctrica depende de la tensión de la línea, de su longitud y de la dificultad que ofrezca el terreno para su ejecución. El siguiente gráfico muestra una estimación del coste por unidad de longitud de una línea eléctrica, en función de la tensión de suministro la dificultad que presente el terreno, para lo que se ha clasificado este en llano (1), ondulado (2) y accidentado (3). (rosa-44 kV, azul-15 kV)

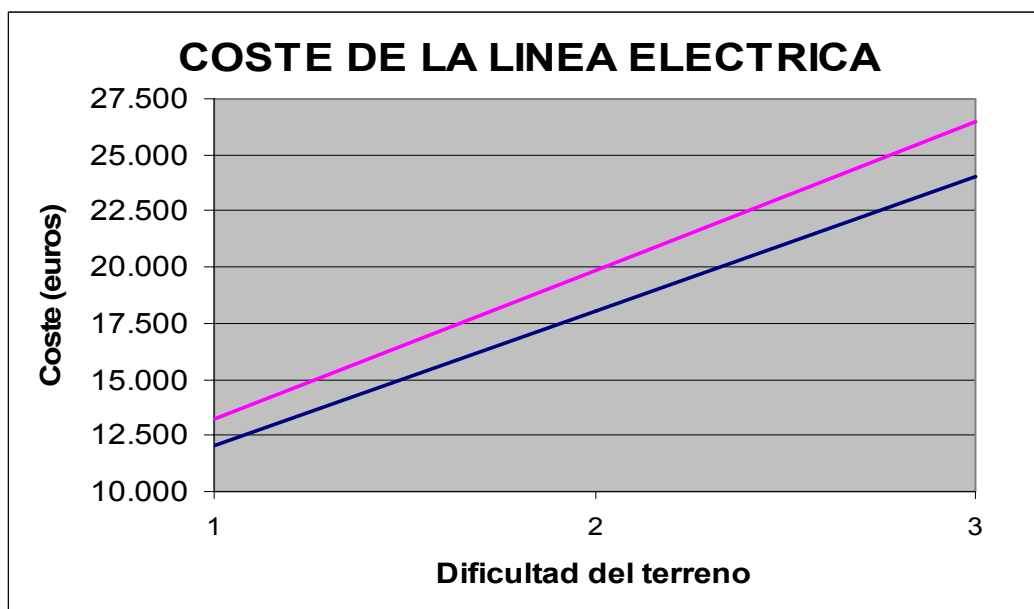


Figura 15.- Coste de la línea eléctrica en función de la dificultad del terreno

A.11 Accesos

Como media, se toma un coste de 18 € por preparación de un metro de acceso nuevo en un terreno ligeramente accidentado.

A.12 Ingeniería, dirección de obra y honorarios

Los costes derivados de la confección del proyecto de obras e instalaciones, y del posterior seguimiento de la obra y dirección de la misma por parte de un profesional competente o una empresa de ingeniería, pueden oscilar entre un 6% y un 10% del coste total de Ejecución del Material de la central hidroeléctrica.

A.13 Costes de mantenimiento y seguro de la central

Suelen depender de la potencia instalada y del tipo de automatización con la que cuente la central, suponiendo entre un 2% y un 4% del presupuesto de ejecución material.