

2960600162

GUIA PARA LA ELABORACION DE ESTUDIOS
PRELIMINARES DE FACTIBILIDAD DE PROYECTOS DE
CENTRALES HIDRAULICAS DE MEDIANA O DE
GRAN CAPACIDAD

TABLAS PARA LAS ESTIMACIONES DE LOS
METRADOS Y COSTOS DE CONSTRUCCION
DE LAS ESTRUCTURAS DE UNA CENTRAL
HIDRAULICA, DATOS PARA LOS CALCULOS
DE ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD Y EXPLICA-
CIONES SOBRE SUS APLICACIONES.

ENERO 1977

JICA LIBRARY



J 1126525 (3)

ING° TSUGUO NOZAKI

ASESOR DEL INIE
(INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ENERGETICAS Y
SERVICIOS DE INGENIERIA ELECTRICA)-ELECTROPERU

Experto enviado por el Gobierno del
Japón bajo el Plan de Cooperación
Técnica para los países latinoamericanos.

(J I C A)

Japan International Cooperation Agency

国際協力事業団	
受入 月日 '84. 7. -6	709
登録No. 08132	61.7
	EXS

PROLOGO

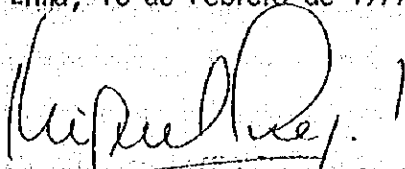
El Perú, como otros países en el área Latinoamericana, tiene un territorio donde la morfología y recursos hidráulicos permiten el desarrollo en condiciones ventajosas de Centrales Hidráulicas para satisfacer la demanda de energía requerida por sus centros urbanos, industriales y agrícolas contribuyendo al desarrollo socio-económico de sus poblaciones.

La explotación de estos recursos dentro de una política universal de máximo ahorro de combustible fósiles y utilización de otras fuentes para la generación de energía, entre las que la hidráulica tiene un sitio preferente, hacen prever una ardua tarea para la presente y futuras generaciones de Ingenieros que se dediquen a esta actividad.

Por esta razón, considero de gran valor y tengo sumo agrado en presentar la Guía elaborada por nuestro Asesor, Ingeniero Tsuguo Nozaki, que permite en forma muy simple y práctica contar con los elementos primarios para evaluar la bondad de los desarrollos hidráulicos, que se identifiquen con este fin.

Es, sin lugar a dudas merecedor de nuestro profundo reconocimiento el esfuerzo de este Técnico Japonés tan identificado con el sector eléctrico del Perú y me aúno a sus deseos para que esta Guía sea convenientemente aprovechada por los Profesionales avocados como nosotros en esta difícil e interesante labor.

Lima, 18 de Febrero de 1977


ING. MIGUEL SUAZO GIOVANNINI
DIRECTOR DEL INIE

国際協力事業団	
入 期52.5.6	T L
登録No. 5643	G 541N
	D3



1126525 [3]

OBJETO DE LA PREPARACION DE ESTA GUIA

En el año 1969, he publicado la "Guía para la Elaboración de Estudios Preliminares de Factibilidad de Proyectos de Centrales Hidráulicas de mediana o Gran Capacidad en el Perú", con la colaboración del Ex-Director de Electricidad del Ministerio de Fomento y Obras Públicas del Perú y los Ingenieros de dicha Dirección.

Pero, desde el año 1973, han subido mucho los precios de todos los productos, por motivo de crisis de petróleo, por éso la "Guía" anterior, necesitaba ser modificada en varias partes, con este motivo he revisado la edición anterior y he preparado esta nueva "Guía", considerando las siguientes condiciones:

1. Por las figuras se obtendrán los metrados de construcción de las estructuras desde la bocatoma hasta la casa de fuerza con algunas excepciones, para evitar problemas de cambio de costos unitarios.
2. Los costos de construcción en U.S.\$, se obtendrán por multiplicación del costo unitario por el metrado, para evitar cambios de moneda local.
3. Los costos de combustible para la central térmica diésel o a vapor para efectos de comparación económica, se ha utilizado 2.2 mill - 8.9 mill (\$ 0.022 - \$ 0.089) por litro de petróleo residual, porque el precio internacional actual es de 5 - 6 mill. por litro, pero los países latinoamericanos están aplicando el precio político.

Esta "Guía para la Elaboración de Estudios de Factibilidad de Proyectos de Centrales Hidráulicas de Mediana o Gran Capacidad en el Perú", tiene por objeto proporcionar a los Ingenieros proyectistas e Inspectores de proyectos de Centrales Eléctricas, bases y capacidad para elaborar proyectos de Centrales Eléctricas, bases y capacidad como proyectistas de Centrales Hidráulicas grandes, ya que mientras el Perú necesita desarrollar buen número de tales centra-

les para la electrificación del país; sin embargo, son pocos los Ingenieros especialistas en Proyectos de Centrales Hidráulicas.

En un estudio de factibilidad de un proyecto, los proyectistas deben confeccionar los estudios de mercado de energía eléctrica, hidrología del río, geología, topografía, ubicación del proyecto, estimación del costo de construcción, comparación de las alternativas y justificación del proyecto.

El trabajo de dicho estudio, es pesado; los cálculos del costo de las estructuras de las centrales proyectadas y las de justificación del proyecto son muy complicadas y laboriosas.

Esta "Guía" incluye varias tablas para la estimación de metrados y de costos de construcción de estructuras de centrales hidráulicas, datos para los cálculos del Estudio de factibilidad y las explicaciones para la aplicación de dichas tablas y datos.

Esta "Guía" puede aplicarse a centrales con capacidades de 1,000 KW a 1'000,000 KW para capacidades menores de 1,000 KW ver : "Guía para la Elaboración de Proyectos de Pequeñas Centrales Hidráulicas", destinada a la Electrificación Rural del Perú, preparada por el suscrito.

Ruego al lector que acoja con diligencia a este trabajo, que espero corregir y completar mediante sus indicaciones.

Si esta "Guía" puede aprovecharse para aliviar su trabajo, me sentiré bastante satisfecho.

Agradezco la cooperación de los señores Ingenieros que indico a continuación, quienes supieron brindarme su apoyo en todo momento. :

Ing° Miguel Suazo Giovannini

Director de ELECTROPERU - INIE

Ing° Carlos Linares Olguín

Sub-Director de ELECTROPERU-INIE

Y los Ingenieros de ELECTROPERU-INIE

LIBROS Y DATOS CONSULTADOS

1. Datos preparados por E.P.D.C. (Electric Power Development Co. of Tokyo)
2. Hand Book of Civil Engineering
(The Japan Society of Civil Engineer)
3. Estudio de Factibilidad de la Central Hidroeléctrica del río Mantaro
(Electroconsult Milano Italy)
4. Estudio Definitivo del Proyecto de las Centrales de Tacna
(E.P.D.C.)
5. Estudio Definitivo del Proyecto de las Centrales de Aricota
(E.P.D.C.)
6. Estudio de Factibilidad de 14 Centrales Hidroeléctricas
(Hidrotechnic Corporation, New York, U.S.A.)
7. Datos de ELECTROPERU - INIE

INDICE

Préambulo	1
Objeto de la preparación de esta Guía	2
Libros consultados	4

PARTE I

PASOS A SEGUIR EN UN ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

I-1	Estimación del costo de construcción	11
I-2	Justificación del proyecto	12

PARTE II

ESTIMACION DE LOS METRADOS DE CONSTRUCCION DE LAS ESTRUCTURAS Y MAQUINAS

II-1	Presa de derivación y obras de limpia	12
II-2	Presa de concreto de gravedad	13
II-3	Presa de escollera	14
II-4	Bocatoma (con regulación)	15
II-5	Bocatoma (sin regulación)	16
II-6	Desarenador	16
II-7	Túnel	17
II-8	Cámara de carga	18
II-9	Chimenea de equilibrio	19
II-10	Tubería de presión	19
II-11	Edificio de la central	24
II-12	Turbina	25
II-13	Generador	26
II-14	Puente grúa	27

II-15	Equipo de control y mando (incluye las estructuras del patio de llaves sin transformador) -----	28
II-16	Primera estimación del peso total de equipos electromecánicos de la central hidráulica -----	28
II-17	Líneas de transmisión -----	29

PARTE III

ESTIMACION DE LOS COSTOS DE CONSTRUCCION

III-1	Costos unitarios -----	30
III-2	Ejemplo del proyecto de Huallaga -----	31
III-3	Ejemplo del proyecto del Mantaro -----	37
III-4	Comparación de los costos estimados -----	43

PARTE IV

JUSTIFICACION ECONOMICA DE UN PROYECTO

IV-1	Fases del estudio -----	45
IV-2	Métodos simplificados -----	45
IV-3	Primer método simplificado -----	46
IV-4	Segundo método simplificado -----	48
IV-5	Inversión máxima permisible para el proyecto de una central hidráulica, comparando con la alternativa de una central térmica -----	54

PLANOS

- Plano - 1. Proyecto de Huallaga, disposición general -----
- Plano - 2. Proyecto de Huallaga, captación -----
- Plano - 3. Proyecto de Huallaga, casa de fuerza -----
- Plano - 4. Proyecto del Mantaro, plano general -----
- Plano - 5. Proyecto del Mantaro, casa de fuerza -----

LISTA DE TABLAS EN LA GUIA

- Fig. 1-1 Tirante de agua de rebose .
- Fig. 1-2 Volúmen de concreto y excavación para la presa de derivación y obras de limpia relativas.
- Fig. 1-3 Pesos de la compuerta para limpieza de arena y de los fierros.
- Fig. 2. Volúmen de concreto de una presa de arco .
- Fig. 3. Volúmen de concreto de una presa de gravedad .
- Fig. 3-1 Peso de compuertas de aliviaderos de presa .
- Fig. 4. Volúmen de presa de escollera .
- Fig. 5. Volúmen de excavación y concreto del aliviadero para la presa de escollera.
- Fig. 6-1 Volúmen de excavación y concreto de la bocatoma con regulación.
- Fig. 6-2 Peso de compuerta, rejilla y fierro de la bocatoma con regulación.
- Fig. 7-1 Volúmen de excavación y concreto de la bocatoma sin regulación.
- Fig. 7-2 Peso de compuerta, rejilla y fierro de la bocatoma sin regulación.
- Fig. 7-3 Volúmen de excavación y concreto, peso de compuerta, rejilla y fierro del desarenador.
- Fig. 8. Volúmen de obras y capacidad de descarga de túneles.
- Fig. 9. Volúmen de excavación y concreto, peso de rejilla, compuerta y fierro de la cámara de carga.
- Fig. 10-A Altura de la chimenea de equilibrio .
- Fig. 10-B Volúmen de excavación y concreto, peso de fierro de la chimenea de equilibrio.
- Fig. 11-A Pérdida de carga por fricción en tuberías de presión .
- Fig. 11-B Velocidad del agua en la tubería de presión.
- Fig. 12. Relación entre diámetro y espesor de tubería, con altura de caída neta.
- Fig. 13 Peso y diámetro de la tubería de presión.

- Fig. 14-A Volúmen de excavación y concreto de obras civiles de tubería de presión (tipo túnel)
- Fig. 14-B Volúmen de excavación y concreto de obras civiles de tubería de presión (tipo abierta)
- Fig. 15-A Volúmen de excavación y concreto, peso de fierro de la casa de máquinas (tipo abierta)
- Fig. 15-B Volúmen de excavación y concreto, peso de fierro de la casa de máquinas (tipo caverna)
- Fig. 16 Alcance y aplicación del tipo de turbina
- Fig. 17 Número de revoluciones de una turbina
- Fig. 18 Velocidad específica y R.P.M. de las turbinas
- Fig. 19 Curva de rendimiento máximo de las turbinas
- Fig. 20 Eficiencia del generador de inducción
- Fig. 21-A Peso de las turbinas del tipo Francis
- Fig. 21-B Dimensiones de las turbinas del tipo Francis
- Fig. 22 Peso de las turbinas del tipo Kaplan
- Fig. 23 Peso de las turbinas del tipo Pelton
- Fig. 24 Peso de los generadores
- Fig. 25 Longitud del puente grúa
- Fig. 27 Peso total de los equipos electromecánicos de la casa de máquinas y del patio de llaves.
- Fig. 28 Costo de los equipos de control y comando incluyendo las estructuras del patio de llaves (sin transformador)
- Fig. 29 Costo del transformador
- Fig. 30-A Costo de construcción y capacidad de una línea de transmisión
- Fig. 30-B Costo de construcción de línea de transmisión de baja tensión por Km.
- Fig. 30-C Costo de construcción de línea de transmisión de alta tensión por - Km.
- Fig. 31 Costo de construcción de una subestación
- Fig. 32-A Datos referentes a centrales térmicas
- Fig. 32-B Costo capitalizado de los costos de construcción, operación, mantenimiento y combustible.

- Fig. 32-C Inversión máxima permisible para el proyecto
- Fig. 33 Factor de capitalización en un pago único
- Fig. 34 Número de empleados de una central hidráulica
- Fig. 35 Factor de capitalización en una serie de pagos uniformes.
- Fig. 36 Factor de recuperación del capital
- Fig. 37 Factor de capitalización a un área de triángulo
- Fig. 38 Gráfico de la inversión máxima permisible para el proyecto de la central hidráulica (FC = 40%)
- Fig. 39 Gráfico de la inversión máxima permisible para el proyecto de la central hidráulica (FC = 50%)
- Fig. 40 Gráfico de la inversión máxima permisible para el proyecto de la central hidráulica (FC = 60%)
- Fig. 41 Pronóstico de máxima demanda y programa de ubicación de etapas de la central Huallaga y su reserva térmica
- Fig. 42 Pronóstico de máxima demanda y programa de ubicación de las Centrales térmicas como alternativas.
- Fig. 43 Pronóstico de demanda de energía y programa de suministro

I. PASOS A SEGUIR EN UN ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Cuando los proyectistas trabajan en un proyecto de la central hidroeléctrica sobre un mapa de topografía, deben considerar la factibilidad técnica-económica, de dicho proyecto, trabajo que requiere bastante experiencia y cálculos laboriosos, con el objeto de facilitar esta labor, a continuación se indicarán los pasos a seguir y el orden en que deben realizarse.

I - 1. Estimación del costo de construcción

El costo de construcción de las estructuras de las obras civiles y los equipos electromecánicos que se indican en los Items, pueden estimarse mediante las tablas y/o figuras de esta Guía a base de los datos siguientes:

Caudal captable	Q
Caída aprovechable	H
Capacidad de la central	kW
Cudal máximo del río	Q _{max}
Altura de presa	
Plano topográfico	escala : 1/5,000 - 1/200,000.

Items de metrados y costos, estimados mediante las tablas y/o figuras

Presa de derivación y obras de limpia

Presa de concreto de gravedad, escollera y arco

Bocatoma y desarenador

Túnel

Cámara de carga

Chimenea de equilibrio

Tubería de presión

Edificio de la central

Turbina

Generador

Otros equipos de la central

Línea de Transmisión

Sub-estación

Vías de acceso

Ingeniería

Imprevistos

Interés durante la construcción (Intereses Intercalarios).

I - 2. Justificación del proyecto

Estimada la demanda de energía eléctrica de una zona, se puede estimar el valor económico del proyecto mediante la relación Beneficio Costo, con las tablas y figuras de esta guía y algunos cálculos.

II. ESTIMACION DE LOS METRADOS DE CONSTRUCCION DE ESTRUCTURAS Y MAQUINAS.

II - 1. Presa de derivación y obras de limpia

En función del caudal máximo del río (avenida), y del ancho del río, se puede obtener, utilizando las figuras 1-1, 1-2, y 1-3, los volúmenes de excavaciones y concretos, y los pesos de la compuerta para limpieza de arena y los fierros para concretos.

Ejemplo : (Huallaga)

Caudal en la avenida máxima : $Q_a = 9,000 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Ancho del río $L = 110 \text{ m.}$

Altura de rebose (h) en función de ; Q y a se obtiene de la Fig. 1-1
 $h = 14 \text{ m.}$

Los volúmenes de concreto y excavación en función de h y a se obtiene de Fig. 1 - 2

$$V_c = 50,000 \times 1/2 = 25,000 \text{ m}^3$$

$$V_e = 50,000 \text{ m}^3$$

Los pesos de la compuerta (P_c) y los fierros (P_f) en función de a se obtiene de Fig. 1 - 3

$$P_c = 22 \text{ Tn}$$

$$P_f = 34 \text{ Tn}$$

II - 2. Presa de concreto de gravedad

En función de la altura, del ancho del fondo; del ancho de la cima de la presa, y del caudal de agua de máxima avenida, se puede obtener los volúmenes de concreto y excavación el peso de la compuerta del aliviadero utilizando las Figs. 3 y 3-1.

Ejemplo (Mantaro)

Altura de presa : $H = 75 \text{ m.}$; Ancho del fondo: $B = 25 \text{ m.}$

$L = 150 \text{ m.}$; Caudal de máxima : $3,500 \text{ m}^3/\text{seg.}$ ($L =$ Ancho de cima)

Volúmen de concreto.

$$\frac{B}{L} = \frac{25}{150} = 0.166, H^2 \times L = 75^2 \times 150 = 0.845 \times 10^6$$

El volúmen del concreto en función de: $\frac{B}{L}, H^2 \times L$

Se obtiene de la Fig. 3 :

$$\text{Volúmen de concreto} = 180,000 \text{ m}^3$$

El talud de la presa de la figura es de : 1: 0.8 con un máximo coeficiente, pero en el Perú se puede emplear 1: 0.7, luego :

$$\text{Volúmen de concreto} = 180,000 \times \frac{0.7}{0.8} = 157,000 \text{ m}^3$$

$$(\text{Proyecto original da : } 150,000 \text{ m}^3)$$

Volúmen de excavación estimado a la mitad del volúmen de concreto. $157,000 \times 0.5 = 78,500 \text{ m}^3$

Peso de la compuerta en función de la máxima avenida de $3,500 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y del coeficiente de descarga : $C = 2.1$, se obtiene de la Fig. 3 - 1).

Peso : $= 330 \text{ Tn.}$

Peso del fierro, se puede estimar 40% de peso total de compuerta $330 \times 0.4 = 142 \text{ Tn.}$

II - 3

Presá de escollera

En función de la altura, del ancho del fondo y del ancho de la cima de la presa, y el caudal de agua de máxima avenida, se obtiene el volúmen de la escollera de la presa, los volúmenes de excavación y concreto, y peso de compuerta del aliviadero, utilizando las figuras 3-1, 4 y 5.

Ejemplo : (San Antón).

Altura de la presa : $H = 55 \text{ m.}$; Ancho de fondo : $B = 350 \text{ m.}$

Ancho de la cima : $L = 550 \text{ m.}$

$$\frac{B}{L} = \frac{350}{550} = 0.64, \quad H^2 \times L = 55^2 \times 550 = 1.65 \times 10^6$$

Con estos datos, utilizando la figura 4, el volúmen de la escollera resulta ser de : $2'500,000 \text{ m}^3$
(Proyecto original : $2'740,000 \text{ m}^3$).

Volúmen de excavación y de concreto para la construcción del aliviadero.

En función del caudal de agua de máxima avenida y de la altura de presa la figura 5 da los volúmenes de excavación y concreto.

Ejemplo : (San Antón)

En función del caudal de máxima avenida, de $500 \text{ m}^3/\text{seg.}$ y la altura de presa de 55 m , la figura 5 da los volúmenes de excavación y concreto.

$$Q \times H = 500 \times 55 = 27,500$$

$$V_e = 40,000 \text{ m}^3$$

$$V_c = 5,500 \text{ m}^3$$

Peso de la compuerta en función de máxima avenida de $500 \text{ m}^3/\text{seg.}$ se obtiene de la Fig. 3 - 1

$$\text{Peso} = 75 \text{ Tn.}$$

II - 4 Bocatoma (con regulación)

El metrado de construcción se indica en las figuras 6-1, 6-2 asumiendo caudal, profundidad aprovechable del reservorio y radio del túnel, aquéllos utilizados en el proyecto de la central.

Ejemplo : (Mantaro)

Profundidad aprovechable del reservorio : $h_d = 28 \text{ m.}$

Caudal máximo para la central : $Q = 96 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Radio de túnel : $r = 2.4 \text{ m.}$

$$V(h_d + 2r) Q = 56.1$$

$$Q (h_d + 2r)^{1/9} = 141$$

El metrado de construcción en función de 56.1 y 141, se obtiene de las figuras de 6-1 y 6-2

$$V_e = \text{Volúmen de excavación} = 56,000 \text{ m}^3$$

$$V_c = \text{Volúmen de concreto} = 18,700 \text{ m}^3$$

$$P_c = \text{Peso de compuerta} = 76 \text{ Tn.}$$

$$Pr = \text{Peso de rejilla} = 32.5 \text{ Tn.}$$

$$Pf = \text{Peso de fierro} = 187 \text{ Tn.}$$

II - 5 Bocatoma (sin regulación)

El metrado de construcción se indica en las figuras 7-1 y 7-2, a sumiendo como caudal de agua y radio del túnel utilizado en el proyecto de la central.

Ejemplo : (Huallaga)

tipo : abierta

Radio del túnel : $r = 2.15 \text{ m.}$

$$\text{caudal : } Q = 55 \text{ m}^3/\text{seg.} \quad \sqrt{r \times Q} = \sqrt{2.15 \times 55} = 10.9$$

Las figuras de 7-1 y 7-2, dan :

$$Ve = 5,700 \text{ m}^3$$

$$Ve = 1,500 \text{ m}^3$$

$$Pc = 27.5 \text{ Tn.}$$

$$Pr = 11 \text{ Tn.}$$

$$Pf = 2.75 \text{ Tn.}$$

II - 6 Desarenador

En función de caudal de agua de diseño, se puede obtener utilizando la Fig. 7-3, el metrado de construcción del desarenador.

Ejemplo : (Huallaga)

$$\text{Caudal } Q = 55 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Ve = 33,000 \text{ m}^3$$

$$Ve = 4,600 \text{ m}^3$$

$$Pc = 27 \text{ Tn.}$$

$$Pr = 15 \text{ Tn.}$$

$$Pf = 2.7 \text{ Tn.}$$

II - 7 Túnel

En función del caudal de agua de diseño y de la pendiente del túnel se puede obtener utilizando la Fig. 8, las dimensiones del túnel, el volumen de excavación y de concreto, así como las áreas de encofrado.

Ejemplo (Huallaga)

Caudal : $Q = 55 \text{ m}^3/\text{seg.}$ Longitud de túnel 700 m
Pendiente : $1/500$

En función de la Tabla A de la Fig. 8, se obtiene un túnel de 4.3 m. de diámetro (proyecto original 4.5 m)

Los volúmenes de excavaciones y concreto obtenidos mediante la tabla B de la Fig. 8, son : $22 \text{ m}^3/\text{m.}$ y $6.4 \text{ m}^3/\text{m.}$, respectivamente.

Excavación : $22 \times 700 = 15,400 \text{ m}^3$

Concreto : $6.4 \times 700 = 4,480 \text{ m}^3$

Ejemplo : (Mantaro)

Caudal : $Q = 96 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Velocidad máxima en el túnel : 5.5 m/seg.

Longitud del túnel : 19,300 m

En función de la tabla A de la Fig. 8, se obtiene un túnel de 4.8 m. de diámetro y una pendiente de $1/450$.

Los volúmenes de excavación y de concreto obtenidos mediante la tabla B de la Fig. 8, son : $28 \text{ m}^3/\text{m.}$ y $8.5 \text{ m}^3/\text{m.}$, respectivamente.

Excavación : $28 \text{ m}^3/\text{m} \times 19,300 = 540,400 \text{ m}^3$

Concreto : $8.5 \text{ m}^3/\text{m} \times 19,300 = 164,050 \text{ m}^3$

Inyección de mortero.

El volúmen de mortero se puede estimar por la siguiente fórmula:

Volúmen de mortero = $(0.46 \times r + 0.4)m^3$ por metro de túnel.

$$r = 2.4 \text{ m. da : } 1.5 \text{ m}^3/\text{m} \times 19,300 = 28,950 \text{ m}^3$$

Inyección de cemento.

La longitud de perforaciones por metro de túnel para inyección de cemento son de 3 - 6 m, según la geología.

$$\text{Longitud de perforación} = 4.5 \text{ m} \times 19,300 = 86,850 \text{ m.}$$

Peso de fierro para concreto

$$Pf = 0.03 \times Vc = 164,050 \times 0.03 = 4,921 \text{ Tn.}$$

II - 8 Cámara de carga

Asignado el caudal de diseño se puede estimar el metrado de construcción de cámara de carga, utilizando la Fig. 9.

Ejemplo : (Huallaga)

Caudal : $55 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Tipo : Túnel

Metrado de construcción

$$Ve = 21,500 \text{ m}^3$$

$$Vc = 4,500 \text{ m}^3$$

$$Pc = 27.5 \text{ Tn.}$$

$$Pr = 11 \text{ Tn.}$$

$$Pf = 5.5 \text{ Tn.}$$

Aliviadero

Hay que planear un canal, túnel o tubería del aliviadero, en este caso necesitará 150 m. de túnel de un radio de 1.3 m.

$$Ve = 8 \times 150\text{m} = 1,200 \text{ m}^3$$

$$Vc = 2.5 \times 150\text{m} = 375 \text{ m}^3$$

Chimenea de equilibrio

En función del caudal y de la profundidad aprovechable del reservorio, y del diámetro y longitud del túnel de presión, se puede obtener la altura de la chimenea, utilizando la Fig. 10-A. Se determinará luego el metrado de construcción de la chimenea de equilibrio, utilizando la Fig. 10-B.

Ejemplo : (Mantaro)

Caudal : $Q = 96 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Profundidad aprovechable del reservorio : $h_d = 28 \text{ m.}$

longitud del túnel : $L = 19,300 \text{ m.}$

Diámetro del túnel : $\emptyset = 4.8 \text{ m.}$

En función de la Fig. 10-A, se puede obtener la altura de la chimenea.

$$H' = 60 \text{ m (Tabla A)}$$

$$H = H' + h_d = 60 + 28 = 88 \text{ m}$$

De la Fig. 10-B, se obtiene el metrado de construcción

Radio del túnel = 2.4 m.

Espesor de concreto de chimenea = 0.9 m. (función de radio)

Altura de chimenea = 88 m.

$$(4r + t)^2 H = (4 \times 2.4 + 0.9)^2 \times 88 = 9,702$$

$$10 \left(4r + \frac{t}{2}\right) H = 10 \left(4 \times 2.4 + \frac{0.9}{2}\right) \times 88 = 8,844$$

$$H^2 \times r^2 \times 0.01 \times 16 = 7,136$$

$$V_e = 30,000 \text{ m}^3$$

$$V_c = 2,770 \text{ m}^3$$

$$P_f = 1,926 \text{ Tn}$$

Tubería de presión

1. Diámetro del tubo de presión

Asignado el caudal de diseño, se determina el diámetro de tu

bería para una pérdida de carga del 1% (caída baja) al 2% (caída alta), empleando la Fig. 11-A; y para una velocidad máxima de 9 m/seg, empleando la Fig. 11-B.

2. Espesor del tubo de presión

Una vez determinado el diámetro del tubo y conocida la caída bruta, se puede obtener el espesor de la tubería de presión mediante la Fig. 12

3. Peso del tubo

Se puede determinar, para cada espesor, el peso del tubo, - empleando la Fig. 13

4. Metrado de obras civiles

Los metrados de obras civiles de los tipos abierto o de túnel se puede conseguir de la siguiente manera :

Tipo túnel

Metrado de obras civiles en función del diámetro de tubería se obtiene de la Fig. 14-A

Tipo abierto

Se obtiene del diámetro de tubería y número de línea de tubería, utilizando la Fig. 14-B

5. Ejemplo : *(Huallaga)

Longitud de la tubería : $L = 70 \text{ m}$

Caída : $H = 34 \text{ m}$

Caudal : $Q = 55 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Cálculo

a) Diámetro de la tubería de presión :

1% de caída : $34 \text{ m} \times 0.01 = 0.34 \text{ m.}$

Pérdida de carga por fricción, por 100 m : $0.34 \times 1/70 \times 100 = 0.49 \text{ m}/100 \text{ m.}$

De la Fig. 11, se obtiene un diámetro de $\varnothing = 3.8 \text{ m.}$

b) Espesor de la tubería

El espesor en función del diámetro, $\varnothing = 3.8$ m. y de la caída de 34 m, es de la Fig. 12.

Espesor : $t = 16$ mm. de SM 41

c) Peso de la tubería

El peso de la tubería en función del diámetro del tubo ($\varnothing = 3.8$ m) y del espesor ($t = 16$ mm), se obtiene de la Fig. 13.

Peso del tubo por metro : 1.5 Tn/m

Peso total : $1.5 \times 70 = 105$ Tn.

d) Costo de las obras civiles (tipo túnel)

Radio de la tubería de presión : 1.9 m.

Metrado de construcción del túnel, por metro (Ver Fig. 14-A).

Excavación : $18.4 \text{ m}^3/\text{m} \times 70 \text{ m} = 1,288 \text{ m}^3$

Concreto : $7 \text{ m}^3/\text{m} \times 70 \text{ m} = 490 \text{ m}^3$

6. Ejemplo : (Mantaro)

Tres líneas de tuberías de presión

$L = 1,680$ m.

$Q = 96 \text{ m}^3/\text{seg.} \times 1/3 = 32 \text{ m}^3/\text{seg.}$ cada tubería

$H = 820$ m.

a) Diámetro, clase de material y espesor de la tubería de presión.

2% de caída $= 820 \times 0.02 = 16.4 \text{ m} =$ Pérdida total de carga por fricción.

Velocidad máxima estimada : 9 m/seg.

En función de 16.4 m. de pérdida y 9 m/seg. de velo-

cidad máxima, se puede estimar los diámetros de la tubería, mediante la Fig. 11.

Para $16.4 \times 1/1,680 = 0.97$ m/100m de pérdidas promedio.

La Fig. 11 da : diámetro promedio : $D_p = 2.7$ m.

La Fig. 12 da : diámetro mínimo : $D_m = 2.2$ m.

Con estos valores del diámetro se puede estimar los correspondientes al espesor, material y otras características de distintos tramos de la tubería de presión, mediante las Figs. 11 y 12.

Diámetro (m)	Espesor t(mm)	Material	Caída (m) máx. de los tramos	Longitud de tubería (m)
3.2	16	SM41	78	$78 \cdot \frac{1,680}{820} = 156$
3.2	19	SM50	130	130 " = 260
3.0	19	SM58	220	220 " = 440
3.0	25	SM58	270	270 " = 540
3.0	38	SM58	450	450 " = 900
2.6	38	SM58	520	520 " = 1,040
2.4	38	SM70	630	630 " = 1,200
2.4	41	SM70	690	690 " = 1,380
2.2	41	SM70	790	790 " = 1,580
2.2	43	SM70	820	820 " = 1,640

b) **Peso de la tubería de presión**

En función de la Fig. 12, se puede calcular el peso de la tubería como se indica en la siguiente tabla :

Diámetro (m)	Espesor (mm)	Material	Peso
3.2	16	SM41	1.25 x 156 = 196
3.2	19	SM50	1.45 x 104 = 151
3.0	19	SM58	1.45 x 180 = 261
3.0	25	SM58	1.85 x 100 = 185
3.0	38	SM58	2.8 x 360 = 1010
2.6	38	SM58	2.4 x 140 = 336
2.4	38	SM70	2.2 x 220 = 484
2.4	41	SM70	2.4 x 120 = 288
2.2	41	SM70	2.3 x 200 = 460
2.2	43	SM70	2.36 x 60 = 142
TOTAL		SM41 = 196	x 3 = 588 Tn
		SM50 = 151	x 3 = 453 Tn
		SM58 = 1,792	x 3 = 5,376 Tn
		SM70 = 1,374	x 3 = 4,122 Tn

c) Metrados de obras civiles

Tipo túnel (400 m)

Radio de la tubería : 1.1 m

Metrado de construcción del túnel de 1.1 m. del radio de la tubería (Ver Fig. 14-A)

Excavación : $8.3 \text{ m}^3/\text{m.}$

Concreto : $4.3 \text{ m}^3/\text{m.}$

$$V_e = 8.3 \times 3 \times 400 = 9,960 \text{ m}^3$$

$$V_c = 4.3 \times 3 \times 400 = 5,160 \text{ m}^3$$

Tipo abierta (1,280 m).

3 líneas de tubería de radio promedio de 1.45 m. Metrado de la obra civil, se obtiene función de Fig. 14-8

$$V_e = 105 \text{ m}^3 \times 1,280 \text{ m} = 134,400 \text{ m}^3$$

$$V_c = 23 \text{ m}^3 \times 1,280 \text{ m} = 29,440 \text{ m}^3$$

II - 11 Edificio de la central

El metrado de construcción de la casa de fuerza, expresado en función de caudal, caída y número de generador de la central se obtiene mediante la Fig. 15.

Ejemplo : (Huallaga)

$$\text{Caudal} = 55 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\text{Caída} = 34 \text{ m}$$

$$\text{Número de unidad} = 3$$

Función de Fig. 15-A, da :

$$Q^{1/2} \times H^{1/3} \times N^{0.6} = 44.9$$

$$V_e = 25,000 \text{ m}^3$$

$$V_c = 9,300 \text{ m}^3$$

$$P_f = 460 \text{ Tn.}$$

Ejemplo : (Mantaro)

$$\text{Caudal} = 96 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\text{Caída} = 820 \text{ m}$$

$$\text{Número de unidad} = 6$$

$$Q^{1/2} \times H^{1/3} \times N^{0.6} = 267$$

Función de la Fig. 15-A, da :

$$V_e = 150,000 \text{ m}^3$$

$$V_c = 57,000 \text{ m}^3$$

$$P_f = 2,700 \text{ Tn.}$$

II - 12 Turbina

Se elige el tipo de turbina, en función de la caída y de la capacidad de la turbina empleando la Fig. 16, luego puede obtenerse el peso de la turbina, empleando las Figs. 21, 22, 23.

El Valor " N_s " de la velocidad específica el número de revoluciones " N " de la rueda, y los rendimientos de las turbinas se determinarán empleando las Figs. 17, 18, 19

Ejemplo : (Huallaga).

$$H = 34 \text{ m}$$

$$Q = \frac{55}{3} = 18.3 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$\text{Capacidad aproximada : } 34 \times 18.3 \times 8.5 = 5,300 \text{ kW}$$

$$\text{Número de unidades : } 3$$

Fig. 16 da : tipo Kaplan

$$\text{Fig 17 da : } N_s = \frac{20,000}{H + 20} = \frac{20,000}{34 + 20} = 370$$

$$N = \frac{370 \times 34^{5/4}}{5,300^{1/2}} = 420 \text{ rpm}$$

Fig. 18 da : 514 r.p.m.

En función de $N_s = 370$ y de la capacidad = 5,300 kW, la Fig. 19 da :

Rendimiento máximo de la turbina : $\eta = 90.0\%$

En función de la capacidad = 5,300 kW y de H=34m, la Fig. 22 da :

Peso de la turbina : 115 toneladas

$$(\text{función de } \text{kW}/\sqrt{H} = 5,300/\sqrt{34} = 910)$$

Ejemplo : (Mantaro)

H = 820 m.

Capacidad : 120,000 kW;

Número de unidades : 6

Fig. 16 da : tipo Pelton de 4 a 6 inyectores

$$\text{Fig. 17 da : } N_s = \frac{25,000}{H + 800} = \frac{25,000}{820 + 800} = 15.5$$

$$N = \frac{N_s \times H^{5/4}}{\sqrt{\text{kw}}} = \frac{15.5 \times 820^{5/4}}{\sqrt{20,000}} = 480 \text{ rp.m} = 514 \text{ rpm.}$$

$$(\text{Capacidad : } 20,000 \text{ kW} = \frac{120,000 \text{ kW}}{6 \text{ inyector}})$$

$$\text{En función de la relación : } \frac{\text{Capacidad (KW)}}{\sqrt{\text{Salto (H)}}} = \frac{120,000}{\sqrt{820}} = 4,200$$

La Fig. 23 da :

Peso de la turbina : 500 Tn.

Peso total de las 6 unidades : $500 \times 6 = 3,000 \text{ Tn.}$

II - 13. Generador

El peso del generador y la eficiencia del generador, en función de su potencia (KVA) y del número de revoluciones (N), se calculan mediante la Fig. 24 y la Fig. 20, respectivamente.

Ejemplo : (Huallaga)

Capacidad : $3 \times 5,500 \text{ kW} \times 0.95 \times 1/0.8 = 3 \times 6,500 \text{ KVA.}$

Número de revoluciones : 514 rpm.

$$\frac{\text{KVA}}{\text{rpm}} = \frac{6,500}{514} = 12.4$$

La Fig. 24 da : peso de un generador = 59 Tn.

Peso total = $3 \times 59 = 177 \text{ Tn.}$

Ejemplo (Mantaro)

Capacidad : $6 \times 120,000 \text{ kW} \times 0.975 \times 1/0.85 = 6 \times 138,000 \text{ KVA}$

Número de revoluciones : 514

$$\frac{\text{KVA}}{\text{rpm}} = \frac{138,000}{514} = 268$$

La Fig. 24 da : peso de un generador = 460 Tn

Peso total de los generadores = $6 \times 460 = 2,760 \text{ Tn}$

II - 14 Puente grúa

La longitud de la grúa en función de la capacidad (kW) de la central y de la caída (H), se calcula mediante la Fig. 25.

El peso total del puente grúa en función de la capacidad (Tn.) de la grúa y de la longitud del puente grúa (B), se calcula mediante la Fig. 26

Ejemplo : (Huallaga)

Longitud de la grúa :

$$B = 11 \text{ m. (en función de: } \frac{\text{kw}}{\sqrt{H}} = \frac{5,300}{\sqrt{34}} = 910 \text{ (mediante la Fig. 25))}$$

Capacidad de la grúa = $59 \text{ Tn} \times 2/3 = 40 \text{ Tn.}$

Peso de la grúa = 30 Tn (en función de: $40 \text{ t} \times 11 \text{ m.} = 440$, mediante la Fig. 26)

Ejemplo : (Mantaro)

Longitud de la grúa : $B = 15.5 \text{ m.}$ (en función de :

$$\frac{120,000}{\sqrt{820}} = 4,200, \text{ mediante la Fig. 25)}$$

Capacidad de la grúa : 330 Tn ($500 \text{ Tn.} \times 2/3$)

Peso de la grúa : 170 Tn (en función de: $330 \text{ t} \times 15.5 \text{ m} = 5,100$, mediante la Fig. 26)

II - 15 Equipo de control y comando (incluye las estructuras del patio de llaves con transformador).

El peso total del equipo de control y comando (incluye las estructuras del patio de llaves, con transformador) se puede estimar su peso en 60% (tamaño chico) ~ 40% (tamaño grande) del peso total de turbina y generador de la central.

Ejemplo : (Huallaga)

Peso total de turbina y generador = $345 + 177 = 522 \text{ Tn.}$

Peso total de equipos de control y comando = $522 \times 0.6 = 313 \text{ Tn.}$

Ejemplo : (Mantaro)

Peso total de turbina y generador = $3,000 + 2,760 = 5,760 \text{ Tn}$

Peso total de equipos de control y comando :

$$5,760 \times 0.4 = 2,304 \text{ Tn.}$$

II - 16 Primera estimación del peso total de equipos electromecánicos de la central Hidráulica

El peso total de los equipos electromecánicos en función de caudal, caída y número de unidades de turbina, se estima mediante la Fig. 27.

Ejemplo : (Huallaga)

$$Q = 55 \text{ m}^3$$

$$H = 34 \text{ m}^3$$

$$n = 3 \text{ unidades}$$

$$Q^{3/4} \times H^{1/2} = 117.8 \text{ Tn}$$

$$\text{Fig. 27 da : } 840 \text{ Tn.}$$

(cálculo total anterior es de 825 Tn.)

Ejemplo : (Mantaro)

$$Q = 96 \text{ m}^2/\text{seg}$$

$$H = 820 \text{ m.}$$

$$n = 6 \text{ unidades}$$

$$Q^{3/4} \times H^{1/2} = 877$$

La Fig. 27 da : 7,800 Tn.

(el cálculo total anterior es 8,064 Tn.)

II - 17

Líneas de Transmisión

Se elige la tensión de transmisión de la línea en función de la capacidad y de la distancia de transmisión, empleando la Fig. 29

Ejemplo : (Huallaga)

Capacidad : 10,000 kW (una terna)

Longitud : 95 Km

Fig. 30-A, da : Voltaje : 66 KV

Ejemplo : (Mantaro)

Lima - Mantaro : Distancia = 320 Km

(2 - Terna) : Capacidad = 140 MW x 2

Pisco - Mantaro : Distancia = 250 Km

(2 - Terna) : Capacidad = 170 MW x 2

Fig. 29 da : Voltaje = 220 KV

Pisco - Lima : Distancia = 210 Km

(1 - Terna) : Capacidad = 50 MW

Fig. 30 da : Voltaje = 138 KV

III. ESTIMACION DE COSTO DE CONSTRUCCION

Se puede estimar el costo de construcción de una Central Hidroeléctrica, utilizando los metrados anteriormente anotados, y los costos unitarios que indican las siguientes listas :

III-1	<u>Costo unitario</u>	<u>Proyecto Sheque</u> <u>(Perú)</u>	<u>Inter-</u> <u>nacional</u>
1.	Excavación abierta (base de 5,000 m ³) \$/m ³		
	Material suelto	4.	3.
	Roca	9.	8.
2.	Excavación del túnel \$/m ³		
	Ø 7 m	35	42
	Ø 2 m.	67	70
	Caverna de la casa de fuerza con soporte	35 1.2 veces	43 1.2 veces
	Pique o inclinada	2.0 veces	1.4 veces
3.	Concreto \$/m ³		
	Presa de concreto	70	50
	Abierto normal	120	80
	Abierto con fierro	200	130
	Túnel	160-200	130-160
	Caverna	130	90
4.	Materiales para relleno \$/m ³ (base de más de 1'000,000 m ³)		
	Escollera para presa	8	4
5.	Fierro \$/Tn (Incluyendo colocación)	800	600

6.	Inyección	Proyecto Sheque (Perú)	Internacional
	Mortero \$/m ³	100	65
	Cemento \$/m ³	100	65
7.	Blindaje \$/Tn.		
	SM 41	1,700	1,300
	SM 50	1,900	1,500
	SM 60	2,200	1,800
	SM 70	2,500	2,200
8.	Equipo electro-mecánico		
	\$/Tn		6,000-9,000 (100MW-3MW)
9.	Compuerta y rejilla		
	\$/Tn.		4,000

III - 2 Ejemplo (Hualaga)

1. Presa de derivación y obras de limpia (II ~ 1)

$$V_c = 25,000 \text{ m}^3$$

$$V_o = 50,000 \text{ m}^3$$

$$P_c = 22 \text{ Tn.}$$

$$P_f = 34 \text{ Tn}$$

Costo de construcción

$$\text{Excavación} = 50,000 \text{ m}^3 \times 0.8 \times 4 + 50,000 \times 0.2 \times 9 = 250,000$$

$$\text{Concreto} = 25,000 \text{ m}^3 \times 70 = 1'750,000$$

$$\text{Compuerta} = 22 \text{ tonelada} \times 6,000 = 132,000$$

$$\text{Fierro} = 34 \text{ Tn} \times 800 = 27,200$$

$$\text{Total} = 2'159,200$$

(Proyecto original \$ 1'671,400)

2. Bocatoma (sin regulación) y desarenador

(a) Bocatoma (II-5)

$$V_e = 5,700 \text{ m}^3$$

$$V_c = 1,500 \text{ m}^3$$

$$P_r = 11 \text{ Tn}$$

$$P_f = 2.75 \text{ Tn}$$

$$P_c = 27.5 \text{ Tn.}$$

Costo de construcción

$$\text{Excavación} = 5,700 \times 0.8 \times 4 + 5,700 \times 0.2 \times 9 = \$ 28,500$$

$$\text{Concreto} = 1,500 \times 120 = \$ 180,000$$

$$\text{Compuerta} = 27.5 \times 6,000 = \$ 165,000$$

$$\text{Rejilla} = 11 \times 6,000 = \$ 66,000$$

$$\text{Fierro} = 2.75 \times 800 = \$ 2,200$$

$$\text{Sub-TOTAL} = \$ 441,700$$

(b) Desarenador (II - 6)

$$V_e = 33,000 \text{ m}^3$$

$$V_c = 4,600 \text{ m}^3$$

$$P_c = 27 \text{ Tn.}$$

$$P_r = 15 \text{ Tn}$$

$$P_f = 2.7 \text{ Tn}$$

Costo de construcción

$$\text{Excavación} = 33,000 \times 0.8 \times 4 + 33,000 \times 0.2 \times 9 = \$ 165,000$$

$$\text{Concreto} = 4,600 \times 120 = \$ 552,000$$

$$\text{Compuerta} = 27 \times 6,000 = \$ 162,000$$

$$\text{Rejilla} = 15 \times 6,000 = \$ 90,000$$

$$\text{Fierro} = 2.7 \times 800 = \$ 2,160$$

$$\text{Sub-TOTAL} = \$ 971,160$$

$$\text{TOTAL} \$ 552,200 + \$ 971,160 = \$ 1'523,360$$

(Proyecto original : \$ 1'170,000)

3. Túnel (II - 7)

$$\text{Excavación} = 15,400 \text{ m}^3$$

$$\text{Concreto} = 4,480 \text{ m}^3$$

Costo de construcción

$$\text{Excavación} = 15,400 \times \left\{ 35 + (67 - 35) \frac{(7 - 4.3)}{(7 - 2)} \right\} = 805,112$$

$$\text{Concreto} = 4,480 \times \left\{ 160 + (200 - 160) \frac{(7 - 4.3)}{(7 - 2)} \right\} = 813,568$$

$$\text{Total} \quad \quad \quad \$1'618,860$$

(Proyecto original \$ 1'900,000)

4. Cámara de carga (II-8) y aliviadero

$$V_e = 21,500 \text{ m}^3$$

$$V_c = 4,500 \text{ m}^3$$

$$P_c = 27.5 \text{ Tn}$$

$$P_r = 11 \text{ Tn}$$

$$P_f = 5.5 \text{ Tn}$$

Aliviadero

$$V_e = 1,200 \text{ m}^3$$

$$V_c = 375 \text{ m}^3$$

Costo de construcción

$$\text{Excavación} = 21,500 \times 35 = 752,500$$

$$\text{Concreto} = 4,500 \times 160 = 720,000$$

$$\text{Compuerta} = 27.5 \times 6,000 = 165,000$$

$$\text{Rejilla} = 11.5 \times 6,000 = 69,000$$

$$\text{Fierro} = 5.5 \times 800 = 4,400$$

$$\text{Excavación} = 1,200 \times 67 = 80,400$$

$$\text{Concreto} = 375 \times 200 = 75,000$$

$$\text{TOTAL} = 1'866,300$$

(proyecto original \$ 1'310,000)

5. Tubería de presión (II - 10)

SM 41 105 Tn

$V_e = 1,288 \text{ m}^3$

$V_c = 490 \text{ m}^3$

Costo de construcción

$$\text{Excavación} = 1,288 \times 35 + (65 - 35) \frac{(7 - 48)}{(7 - 2)} = 124,163$$

$$\text{Concreto} = 490 \times 160 + (200 - 160) \frac{(7 - 48)}{(7 - 2)} = 87,024$$

$$\text{Tubería de presión} = 105 \times 1,700 = 178,500$$

$$\text{Total} = 389,687$$

(proyecto original \$ 483,000)

6. Edificio de la central (II - 11)

$V_e = 25,000 \text{ m}^3$

$V_c = 9,300 \text{ m}^3$

$P_f = 460 \text{ Tn}$

Costo de construcción

$$\text{Excavación} = 25,000 \times 0.2 \times 4 + 25,000 \times 0.8 \times 9 = 200,000$$

$$\text{Concreto} = 9,300 \times 120 = 1,116,000$$

$$\text{Fierro} = 460 \times 800 = 368,000$$

$$\text{Total} = 1,684,000$$

(proyecto original \$ 930,000)

7. Turbina (II - 12)

345 Tn

Costo

$$345 \times 8,000 = \$ 2,760,000$$

(proyecto original \$ 3,105,900)

8. Generador (II - 13)

177 Tn

Costo

$$177 \times 8,000 = \$ 1'416,000$$

(proyecto original \$ 1'657,000)

9. Otros equipos de la central (II - 15)

313 Tn

Costo

$$313 \times 8,000 = \$ 2'504,000$$

(proyecto original \$ 2'868,000)

10. Línea de transmisión (II - 17)

Longitud : 95 Km (zona difícil)

Tipo de soporte : torre de acero

Voltaje : 66 kV

Fig. 30 da : \$ 30,000/Km (doble terna)

$$\text{para una terna } 30,000 \div 1.5 = \$ 20,000/\text{Km}$$

zona difícil 1.5 veces

$$20,000 \times 1.3 = \$26,000/\text{Km}$$

$$\text{Costo de construcción} = 95 \times 26,000 = \$ 2'470,000$$

(proyecto original \$ 2'450,000)

11. Sub-estaciones

En función de la capacidad de la sub-estación (MVA), se puede estimar el costo de construcción mediante la Fig. 31.

Huánuco 7.5 MVA Fig. 31 da : \$ 725,000

(proyecto original \$ 707,500)

Tingo María	4.7 MVA Fig. 31 da	:	\$ 500,000
	(proyecto original		\$ 540,000)
Otros	4.1 MVA Fig. 31 da	:	\$ 460,000
	(proyecto original		\$ 202,000)
Total	16.3 MW	:	\$ 1'685,000
	(proyecto original		\$ 1'449,500)

12. Vías de acceso

El costo de construcción de las vías de acceso se estiman en un 5% a 15% de la suma de los costos de los rubros (1) y (2) :

Suma de los costos de los rubros (1) + (11) = \$ 19'965,727

Este proyecto requiere un costo del camino de acceso :

$$5\% \times 19'965,727 = \$ 984,273$$

13. Otros gastos (ingeniería, imprevistos e intereses)

Se estiman los siguientes valores :

Costo de ingeniería : 10 - 15%

Imprevisto : 15 - 20%

Interés durante la construcción

$0.4 \times r \times t \times (\text{costo directo} + \text{costo de ingeniería} + \text{imprevisto})$

r = Taza de interés

t = Tiempo durante la construcción

Ingeniería : $20'950,000 \times 0.15 = \$ 3'142,500$

Imprevisto : $20'950,000 \times 0.15 = \$ 3'142,500$

Intereses : $20'950,000 \times 0.4 \times 0.08 \times 3 \times 1.3 = \$ 2'614,560$

Total \$ 8'899,560

(proyecto original) \$ 7'974,021)

Ejemplo (Mantaro)

1. Presa de concreto de gravedad (II - 2)

$$V_e = 78,500 \text{ m}^3$$

$$V_c = 175,000 \text{ m}^3$$

$$P_c = 330 \text{ Tn}$$

$$P_f = 142 \text{ Tn}$$

Costo de construcción

$$\text{Excavación : } 0.2 \times 78,500 \times 4 + 0.8 \times 78,500 \times 9 \quad 628,000$$

$$\text{Concreto : } 70 \times 1.5 \times 175,000 \quad 18'375,000$$

(Incluyendo desvío de agua e inyección de cemento)

$$\text{Compuerta : } 330 \times 4,000 \quad 1'320,000$$

$$\text{Fierro : } 142 \times 800 \quad 113,600$$

$$\text{Total} \quad \$ \quad 20'436,600$$

(proyecto original : \$ 18'450,000)

2. Bocatoma (con regulación) (II - 4)

$$V_e = 66,000 \text{ m}^3$$

$$V_c = 18,700 \text{ m}^3$$

$$P_c = 76 \text{ Tn}$$

$$P_r = 32.5$$

$$P_f = 187 \text{ Tn}$$

Costo de construcción

$$\text{Excavación : } 56,000 \times 0.3 \times 4 + 56,000 \times 0.7 \times 9 \quad 449,200$$

$$\text{Concreto : } 18,700 \times 120 \quad 2'244,000$$

$$\text{Compuerta : } 76 \times 4,000 \quad 304,000$$

$$\text{Rejilla : } 32.5 \times 4,000 \quad 130,000$$

$$\text{Fierro : } 187 \times 800 \quad 149,600$$

$$\text{Total} \quad \$ \quad 3'246,800$$

(proyecto original \$ 2'450,000)

3. Túnel (II - 7)

$$V_e = 540,400 \text{ m}^3$$

$$V_c = 164,050 \text{ m}^3$$

Inyección de cemento y mortero

$$\text{Mortero} = 28,950 \text{ m}^3$$

$$\text{Cemento} = 86,850 \text{ m}$$

$$\text{Pf} = 4,921 \text{ Tn}$$

Costo de construcción

$$\text{Excavación} = 540,400 \times \left\{ 35 + \frac{67-35}{7-2} \times (4.8-2) \right\} = 28'597,968$$

$$\begin{aligned} \text{Concreto} &= 164,050 \text{ m}^3 \times \left\{ 160 + \frac{200-160}{7-2} \times (4.8-2) \right\} \\ &164,050 \times 182.4 = 29'922,720 \end{aligned}$$

$$\text{Inyección de Mortero} = 28,950 \times 100 = 2'895,000$$

$$\text{Inyección de cemento} = 86,850 \times 100 = 8'685,000$$

$$\text{Fierro} = 4,921 \times 800 = 3'936,800$$

$$\text{Total} = \$ 74'037,488$$

(proyecto original \$ 67'900,000)

4. Chimenea de equilibrio (II - 9)

$$V_e = 30,000 \text{ m}^3$$

$$V_c = 2,770 \text{ m}^3$$

$$\text{Pf} = 1,926 \text{ Tn}$$

Costo de construcción

$$\text{Excavación} = 30,000 \times 35 \times 2 = 2'100,000$$

$$\text{Concreto} = 2,770 \times 160 = 443,200$$

$$\text{Fierro} = 1,926 \times 800 = 1'540,800$$

$$\text{Total} = \$ 4'084,000$$

(proyecto original \$ 2'635,000)

Este volúmen está calculado por tipo simple de chimenea de equilibrio, por eso para el proyecto que tiene un túnel largo, resulta un volúmen alto.

5. Tubería de presión (II - 10)

SM 41	588 Tn
SM 50	453 Tn
SM 58	5,375 Tn
SM 70	4,122 Tn

Excavación de túnel	9,960 m ³
Concreto de túnel	5,160 m ³
Excavación abierta	134,400 m ³
Concreto abierta	29,440 m ³

Costo de construcción

SM 41	588 x 1,700	=	999,600
SM 50	453 x 1,900	=	860,700
SM 58	5,375 x 2,200	=	11' 825,000
SM 70	4,122 x 2,500	=	10' 305,000
Sub-Total		=	\$ 23'990,300
Excavación del túnel	$2 \times 9,960 \times \left\{ \frac{7-3.35}{7-2} \times \frac{65-35}{2} + 35 \right\}$		
		=	1' 145,400
Concreto de túnel	$5,160 \times \left\{ \frac{7-3.25}{7-2} \times (200-160) - 160 \right\}$		
		=	980,400
Excavación abierta	$134,400 \times \frac{4+9}{2}$		
		=	873,600
Concreto abierta	$29,440 \times 120$		
		=	3'532,800
Sub-Total		=	\$ 6'532,200
(proyecto original	\$ 6'500,000)		
Total		=	\$ 30'522,500
(proyecto original	\$ 31'700,000)		

6. Edificio central (II - 11)

$$V_e = 150,000 \text{ m}^3$$

$$V_c = 57,000 \text{ m}^3$$

$$P_f = 2,700 \text{ Tn}$$

Costo de construcción

$$\text{Excavación} : 150,000 \times 0.5 \times 4 + 150,000 \times 0.5 \times 9 = 975,000$$

$$\text{Concreto} : 57,000 \times 120 = 6'840,000$$

$$\text{Fierro} : 2,700 \times 800 = 2'160,000$$

$$\text{Total} : = \$ 9'975,000$$

(proyecto original \$ 10'380,000)

7. Turbina (II - 12)

$$\text{Peso total de tuberías} = 3,000 \text{ Tn.}$$

$$\text{Costo de equipo} : 3,000 \times 6,000 = \$ 18'000,000$$

(proyecto original : \$ 16'100,000)

8. Generador (II - 13)

$$\text{Peso total de generadores} = 2,760 \text{ Tn}$$

$$\text{Costo de equipo} : 2,700 \times 6,000 = \$ 16'560,000$$

(proyecto original \$ 17'800,000)

9. Otros equipos electromecánicos (II - 15)

(Incluye las estructuras del patio de llaves, transformador, grúa y otros) = 2,304 Tn

$$\text{Costo de equipos} = 2,304 \times 6,000 = \$ 13'824,000$$

(proyecto original \$ 12'400,000)

10. Línea de transmisión (II - 17)

Mantaro - Lima

Distancia : 320 Km
 Capacidad : 140 MW x 2
 Voltaje : 220 KV
 Topografía : difícil en sierra

Doble terna

Fig. 30 da : \$ 60,000

Zona difícil 1.3 veces

Costo por Km $60,000 \times 1.3 = 78,000/\text{Km}$

$78,000 \times 320 : \$ 24'960,000$

(proyecto original \$ 26'000,000)

Mantaro - Pisco

Distancia : 250 Km

Capacidad : 170 MW x 2

Terna : Doble

Voltaje : 220 KV

Topografía : sierra difícil

Costo por Km. igual que Mantaro - Lima

$78,000 \times 250 = \$ 19'500,000$

(proyecto original \$ 18'000,000)

Pisco - Marcona

Distancia : 210 Km

Capacidad : 100 MW x 2

Terna : Doble

Voltaje : 220 KV

Topografía : fácil

Costo por Km. = $60,000 \times 0.9 = 54,000$

$54,000 \times 210 = \$ 11'340,000$

(proyecto original \$ 78'300,000)

Pisco - Lima

Distancia : 210 Km
 Capacidad : Línea de Interconexión
 Terna : una
 Voltaje : 220 KV
 Topografía : fácil

Costo por Km : $60,000 \div 1.5 \times 0.9 = 36,000/\text{Km}$

$210 \times 36,000 = \$ 7'560,000$

(proyecto original \$ 9'130,000)

Total : 63'360,000

(proyecto original \$ 61'520,000)

11. Sub-Estaciones

En función de la capacidad de la sub-estación (MVA), se puede estimar su costo de construcción mediante la Fig. 31

Ciudad	Capacidad (MVA)	Costo de construcción (\$)
Huancayo	50	3'200,000
Pachachaca	50	3'200,000
Lima Norte	160	7'800,000
Lima Sur	160	7'800,000
Asia	50	3'200,000
Independencia	100	5'500,000
Ica	50	3'200,000
Changuillo	50	3'200,000
Marcona	140	7'000,000
Total	810	\$ 44'100,000

(proyecto original \$ 48'200,000)

12. Vías de acceso

El costo de construcción de las vías de acceso se estima en un 14% de la suma del costo de los rubros (I) - (II).

$$\text{Suma de (I) - (II)} = \$ 308'611,740$$

$$\text{Vías de acceso} = 298'146,388 \times 0.14 = \$ 41'853,612$$

(proyecto original \$ 43'000,000)

13. Otros gastos

Ingeniería : 10%

Imprevistos : 15%

Tiempo de construcción : 6 años

Interés : 7%

$$\text{Ingeniería : } 340'000,000 \times 0.1 = 34'000,000$$

$$\text{Imprevisto : } 340'000,000 \times 0.15 = 51'000,000$$

$$\text{Interés : } 340'000,000 \times 0.4 \times 0.07 \times 6 \times 1.25 = 71'000,000$$

$$\text{Total : } = \$ 156'400,000$$

III-4. Comparación de los costos estimados

Las comparaciones de los costos estimados y de los costos originales se indican en la siguiente tabla.

COMPARACION ENTRE LOS COSTOS DEL PROYECTO ORIGINAL Y LOS OBTENIDOS APLICANDO LOS METODOS

DE ESTA GUIA

	Huallega		Mantaro	
	Este Estudio (\$)	Original (\$)	Este Estudio (\$)	Original (\$)
Presa de derivación y obras de Limpia.	2'159,200	1'671,400		
Presa de Concreto de Gravedad			20'436,600	18'450,000
Bocatoma	1'412,860	1'170,000	3'246,800	2'450,000
Túnel	1'618,680	2'140,000	74'037,488	67'900,000
Camara de Carga	1'866,300	1'310,000		
Chimenea de equilibrio			4'084,000	2'635,000
Tubería de Presión	389,687	543,400	30'522,500	31'700,000
Edificio de la Central	1'684,000	930,000	9'975,000	10'380,000
Turbina	2'760,000	3'105,900	18'000,000	16'100,000
Generador	1'416,000	1'657,000	16'560,000	17'800,000
Otros Equipos de la Central	2'504,000	2'868,000	13'824,000	12'400,000
Línea de Transmisión	2'470,000	2'450,000	63'360,000	61'520,000
Sub-estaciones	1'685,000	1'449,500	44'100,000	48'200,000
Sub-Total	19'965,727	19'295,200	298'146,388	289'535,000
Vías de Acceso	984,273	1'000,000	41'853,612	43'000,000
Costo Directo	20'950,000	20'259,200	340'000,000	332'535,000
Otros Gastos	8'899,560	7'974,021	156'400,000	152'968,000
Total	29'849,560	28'233,221	496'400,000	485'503,000