

3.3 DESCRIPCION DEL PROGRAMA SETQ

3.3.1 Introducción

Con el fin de automatizar la corrección del Banco de Datos de Proyectos Hidroeléctricos, concerniente a la información hidrológica, se elaboró el programa SETQ, que reactualiza en los archivos de proyectos hidroeléctricos esta información.

3.3.2 Objetivos

Los objetivos son reactualizar el Código de la curva de energía, ver si esta curva existe; los caudales de ocurrencia cada 10 años (Q10) para construcción; los caudales de ocurrencia cada 1000 años (Q1000) para diseño de vertederos.

Esta reactualización lo hace en forma automática para una serie de proyectos cuyos nombres están almacenados en un archivo; la información lo extrae del archivo POUT.ST, que es generado por el programa SORTOUT.

3.3.3 Metodología

La metodología consiste en leer un archivo que contiene el nombre del proyecto, buscar este proyecto en el archivo con las características hidrológicas. Una vez determinada esta información, busca el archivo que contiene los datos que definen el proyecto en mención; chequea la existencia de la curva de energía asociada a ese proyecto, y reactualiza el código de la curva de energía, igualmente busca los elementos que requieren los caudales Q10 y Q1000, reactualizándolos también. Una vez hecho esto, copia todos los demás elementos del proyecto sin modificación y pasa a leer otro proyecto, con el cual sigue el mismo procedimiento, hasta que finaliza el archivo con la relación de proyectos.

3.3.4 Limitaciones del Programa

Dada su estructura, el programa SETQ, prácticamente no tiene ninguna limitación.

3.3.5 Ejecución del Programa

El programa se ejecuta, invocando SETQ. El programa pide el nombre del archivo que contiene la relación de proyectos hidroeléctricos que se desea, se reactualicen.

3.3.6 Datos de Entrada

Los datos de entrada son:

- El archivo POUT.ST, que es la salida del programa SORTOUT
- Los archivos del Banco de Datos de Proyectos Hidroeléctricos

- Un archivo que contiene los nombres de los proyectos que se desean reactualizar, el nombre de este archivo es solicitado por el programa.

3.3.7 Descripción de las Salidas

Las salidas son los archivos de los Proyectos Hidroeléctricos, con la corrección de las características hidrológicas anteriormente señaladas.

3.3.8 Relación con Bancos de Datos

Relaciona el resumen del banco de datos hidrológicos, con el banco de datos de Proyectos Hidroeléctricos.

3.3.9 Aplicación

Tener actualizado los archivos de los Proyectos Hidroeléctricos con las características hidrológicas.

3.4 DESCRIPCION DEL PROGRAMA VUTIL

El Programa VUTIL.FR está conformado además por cuatro subrutinas(ABC.FR, VOUM,FR, NTRI.FR, INTERP.FR) que se encuentra enlazadas y que intervienen junto al programa en la lectura, verificación y ejecución del programa.

3.4.1 Introducción

Ante la necesidad de sistematizar el cálculo de presas y sus respectivos embalses en base a un criterio uniforme en la simulación de todas las características constitutivas de los diferentes tipos de presa (tierra, enrocado, concreto), así como la capacidad del volumen UTIL aprovechable, se realizó la creación del Programa VUTIL.FR al que se le asignó un directorio y físicamente se encuentra en disco móvil y tiene almacenado su propio banco de datos.

3.4.2 Objetivos del Programa

Realizar el cálculo de los siguientes parámetros:

- Cálculo de los volúmenes de embalse
- Cálculo del volumen UTIL del embalse (MC)
- Cálculo en días de QM utilizables en el volumen UTIL
- Cálculo de la longitud de corona
- Cálculo de la superficie inundada por el embalse
- Ancho de la presa en el punto de coronación
- Ancho de la base en las presas de tierra, enrocado y hormigón
- Cálculo de la longitud de túneles de desvío para cada tipo de presa
- Cálculo de longitud de vertederos al aire libre y en túnel
- Cálculo del volumen de presa para tierra, enrocado y hormigón
- Relación entre el volumen UTIL de la presa y el volumen de embalse

3.4.3 Metodología

El programa, haciendo uso del perfil del valle que toma el banco de datos, interpola la longitud de corona en la altura deseada, el cuerpo de la presa es calculada a partir del nivel de coronación descendiendo por todos los niveles cortados en el perfil del valle determinándose para cada segmento, su proyección y volumen para cada uno de los tipos de presa (tierra, enrocada y hormigón).

Tomando como base la proyección de las distancias al eje de presa en los niveles topográficos el programa calcula las longitudes del túnel de desvío, túnel ver

tedero y canal vertedero. Para el cálculo de embalses, toma como base las áreas en Km² que lee de los datos de ingreso, y realiza la sumatoria de los volúmenes hasta llegar al nivel de coronación el que es interpolado entre los niveles inmediatos inferiores y superiores, en base a estos resultados el programa realiza el cálculo de todos los parámetros restantes.

3.4.4 Limitaciones del Programa

El Programa tiene definidas 4 limitaciones que son:

Limitaciones en el ingreso de datos

- acepta como máximo un total de 20 curvas de nivel descritas
- y como mínimo 2 curvas de nivel después del centro del valle

Limitaciones en la ejecución del programa

- calcula un máximo de 5 alturas de presa en cada vez, en el programa se ha acondicionado la salida al formato DIN A4.
- el cálculo de las presas tiene como límite superior la diferencia de nivel entre la primera curva descrita en los datos de ingreso y la cota de valle.

3.4.5 Ejecución del Programa

En el banco de datos se ingresan las bases topográficas en archivos con el nombre del proyecto a que pertenecen, los comandos para la ejecución del programa son realizados en forma interactiva con el terminal en que se trabaje, una vez realizado los cálculos deseados es impreso una salida con la información lista a ser utilizada, regresando las bases topográficas al banco de datos.

3.4.6 Datos de Entrada

Son ingresados del banco de datos

- | | |
|--------|--|
| NOMBRE | - Nombre del Proyecto |
| IE | - Número de curvas de nivel |
| EQUI | - Equidistancia entre curvas |
| ZV | - Cota de valle |
| Z (1) | - Cota de la primera curva después de (ZV) |
| BV | - Ancho del valle |
| QM | - Caudal medio. |

- S (I) - Valores de las áreas en Km² desde Z (I) a IE
- C (I) - Longitudes hasta (IE) en el perfil del valle
- CV - Longitud al centro del valle

3.4.7 Descripción de la Salida

La salida del programa VUTIL es por cada proyecto y calcula un máximo de 5 alturas de presa, y se adapta al formato DIN A4, contiene como título el nombre del proyecto y a continuación 2 textos, el primero "dedicado" a la réplica de los datos de entrada, consta de 7 líneas:

- Distancia entre curvas
- Cota del valle
- Ancho del río
- Caudal promedio
- Cotas (m.s.n.m.) que son cortadas por el eje de presa
- Superficies en Km² para cada una de las cotas anteriores
- Volumen total (MMC) en Millones de metros cúbicos para cada una de las superficies.

El segundo texto cuenta con un listado de cada tipo de cálculos que el programa realiza para cada una de las presas y que consta de 30 líneas:

- Alturas de presas (M) las alturas de presas que se desean calcular
- Volumen Util (MMC) calcula en base del volumen almacenado en el tercio superior de la altura de presa.
- Volumen Util en días de QM - La cantidad de días que se regula en el embalse, sin que intervenga el Q mínimo.
- Longitud de corona en metros es calculada por interpolación
- Ancho Corona - Dependiente del volumen de embalse y las necesidades de transporte de equipos.
- Ancho de base para presa de tierra es calculado dependiendo de la altura por un coeficiente de 4.9.
- Para presa de enrocado es multiplicada la altura por 3.8
- Y para presa de concreto por 0.8
- Túnel de desvío para cada tipo de presa se ha considerado una longitud mayor al ancho de base en un 50%.
- Longitud del vertedero. Es calculado para canal vertedero en roca y desagüe fuera del pie de presa.

- Túnel vertedero tiene en cuenta la pendiente de los flancos, el ancho de base y su margen de seguridad para no erosionar la base de la presa.
- Volumen de presa.- El programa calcula para los 3 tipos de presa el volumen en MMC.
- Relación entre el volumen Util y el volumen de presa.

3.4.8 Relación con Bancos de Datos

Al Programa VUTIL.FR se le asignó un directorio VUTIL.DR, en él se encuentra el Banco de Datos Topográficos para el cálculo de presas y embalses para cada proyecto que se ha analizado en los lugares de presa.

3.4.9 Aplicación

Los resultados obtenidos en la salida de Vutil se utiliza como fuente de información para los datos de entrada en la codificación de proyectos que procesa el Programa EVAL.

Además, la salida Vutil ofrece al usuario una visión real de las características del embalse, su regulación y parámetros principales de las presas.

3.5 DESCRIPCION DEL PROGRAMA EVAL

3.5.1 Introducción

El programa EVAL fue desarrollado como un instrumento de apoyo para los trabajos de evaluación de los proyectos hidroeléctricos. A través del programa EVAL se reduce el trabajo del ingeniero civil a las tareas básicas de planificación e ingeniería, como ubicación de los elementos del proyecto hidroeléctrico y el establecimiento de la composición del proyecto. Las demás tareas que incluyen un gran volumen de cálculo numérico como: dimensionamiento de los elementos, cálculo de las cantidades de material, cálculo de los valores característicos de energía y potencia, determinación de los costos de inversión y cálculo de parámetros económicos de comparación, se efectúan automáticamente por medio del programa.

Estos parámetros luego sirven para que se comparen con otras alternativas del mismo o de otros proyectos, para luego ser seleccionados, ya sea individualmente ó como integrante de una Cadena.

Esta comparación se hace automáticamente a través del Programa CADENAS (Véase Capítulo 3.6 en este mismo volumen).

Un proyecto normalmente se define por el punto donde se capta el agua en un río, siendo sus diferentes alternativas, las que se analizan ya sea con diferentes alturas de presa, con diferentes túneles y diferentes caídas, o cualquier otra variación que tenga factibilidad técnica para ser estudiada.

Si se requiere, el programa genera automáticamente el catálogo de proyectos hidroeléctricos que se utiliza como dato de entrada en el proceso de simulación de la secuencia óptima de cubrimiento de la demanda eléctrica. El programa fue diseñado para utilizarse como instrumento de cálculo correspondiente a la fase de estudio integral de recursos hidroeléctricos o diseño preliminar. La utilización del mismo programa para las fases de prefactibilidad o factibilidad es posible, pero se requiere un mayor refinamiento del diseño de los proyectos y las adaptaciones correspondientes del programa actual.

3.5.2 Objetivos del Programa

Conociendo los parámetros de definición* de las alternativas de proyectos hidroeléctricos, las características generales de energía y potencia condicionadas por la hidrología del sitio y el volumen útil de embalse, el programa efectúa:

* Por parámetros de definición se entienden las dimensiones físicas (como longitud de túnel, altura y longitud de corona de la presa, etc.), caudal promedio, caudal de crecida, etc.

- Dimensionamiento de los principales elementos del proyecto (como túneles, tuberías, blindajes, canales, vertederos, casas de máquinas, chimeneas de equilibrio, etc.) para cada uno de los caudales turbinables instalados. También efectúa el cálculo de volúmenes para los elementos cuyas dimensiones no son función del caudal turbinable (como presas, pantallas de impermeabilización, etc.).
- Cálculo de la potencia instalada, potencia garantizada, energía primaria y energía secundaria en función del caudal turbinable y volumen útil del embalse.
- Determinación de los costos por elemento del proyecto y los costos totales (considerando imprevistos, ingeniería y administración e intereses durante la construcción).
- Cálculo de los factores económicos de comparación para cadenas de proyectos hidroeléctricos.

Los resultados del programa EVAL constituyen la base de decisión para el ingeniero. Le facilita la decisión con respecto a la alternativa de proyecto a elegirse y da una idea sobre la potencia instalada económica*.

El último objetivo importante del programa es generar automáticamente la data correspondiente al Catálogo de Proyectos Hidroeléctricos que constituye una parte de la data de entrada para un modelo de optimización por simulación.

3.5.3 Metodología del Programa

3.5.3.1 Elementos de Definición de los Proyectos Hidroeléctricos

La definición de los Proyectos Hidroeléctricos se efectúa a través de las características de sus principales elementos y el programa utiliza en total 15 elementos de definición enumerados en la Tabla 3.5.1.

Los costos que no se pueden asignar a ninguno de los 15 elementos de definición y son en general originados por obras especiales se consideran a través de los costos especiales.

Los beneficios secundarios explícitos de los proyectos de uso múltiple se pueden tomar en consideración en la evaluación económica de los proyectos.

3.5.3.2 Consideración de las Condiciones Geológicas

Los costos de la mayoría de los elementos de proyecto enumerados en la Figura 3.5.1 están influidos por las condiciones geológicas. El programa toma en consi

* Una decisión definitiva con respecto a la potencia instalada de un proyecto hidroeléctrico que funcionará en un sistema interconectado, se puede tomar solamente con la ayuda de un sistema de optimización por simulación (cuya función objetiva es la minimización del valor presente de todos los costos de inversión y mantenimiento).

deración una clasificación geológica a través de factores cualitativos que influyen directamente en los costos de los respectivos elementos.

Las consideraciones geológicas, su forma de calificación y cómo influyen en los costos de los elementos del Proyecto, están descritos detalladamente en el Capítulo 5.2.3 del Volumen 2.

3.5.3.3 Dimensionamiento y Cálculo de los Costos de Elementos de Proyectos Hidroeléctricos

El dimensionamiento y el cálculo de los costos de los elementos de proyectos hidroeléctricos se puede considerar válido para otros países como el Perú para el caso que no se requiere un grado más detallado del diseño.

Las funciones de costos utilizados corresponden al nivel de costos de 1978 en el Perú reajustes temporales para el eventual uso futuro en el Perú y una revisión completa si se las quiere aplicar en otros países.

En los siguientes capítulos se encuentra una descripción detallada del dimensionamiento y de la evaluación de los costos para cada uno de los elementos de definición de los Proyectos Hidroeléctricos. Los costos se calculan en US\$. a Enero de 1978.

3.5.3.3.1 Presas

El programa tiene la opción de calcular los volúmenes de las presas con las siguientes fórmulas o ingresar los volúmenes correspondientes calculados externamente en el programa VUTIL.

- Presa de tierra

$$VP = XL * HPR ** 2 \quad (m^{**3})$$

- Presa de enrocamiento con núcleo central

$$VP = 0.8 * XL * HPR ** 2 \quad (m^{**3})$$

- Presa de enrocamiento con pantalla de hormigón

$$VP = 0.64 * XL * HPR ** 2 \quad (m^{**3})$$

- Presa de hormigón de gravedad

$$VP = 0.16 * XL * HPR ** 2 \quad (m^{**3})$$

- Presa de hormigón de arco

$$VP = 0.00607 * (0.8 * XL * HPR ** 2) ** 1.17 \quad (m^{**3})$$

El cálculo de los volúmenes de las presas de tierra, de enrocamiento y de hormigón de gravedad se efectuó a través del programa VUTIL (Véase descripción).

XL = longitud de la corona
HPR = altura de la presa

El cálculo de los costos de las presas fue realizado bajo las consideraciones de que así la cantidad del volumen como la disponibilidad de material influye los costos considerablemente. Los costos de las presas resultan de la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{CPR} &= \text{CM} * \text{COSTO} * \text{VPR} \quad (\text{US\$}) \\ \text{CM} &= 0.9 + 0.2 * (\text{FM} - 1.0) / 2 \\ \text{FM} &= \text{Factor de material entre 1.0 y 4.0} \\ \text{VPR} &= \text{Volumen de la presa} \quad (\text{m}^3) \end{aligned}$$

- Presa de tierra

$$\text{COSTO} = 10.8105 * (\text{VP}) ** (0.0224 * \text{AL} - 0.219) \quad (\text{US\$})$$

- Presa de enrocamiento

$$\text{COSTO} = 12.674 / (\text{VP}) ** 0.1149 \quad (\text{US\$})$$

- Presa de enrocamiento con pantalla de hormigón

$$\text{COSTO} = 20.28 - 9.2 * \text{AL} + 2.0 (\text{AL}) ** 2 - 0.15 * (\text{AL}) ** 3 \quad (\text{US\$})$$

- Presa de hormigón de gravedad

$$\begin{aligned} \text{COSTO} &= 129.72 / (\text{VP}) ** 0.106 \quad (\text{US\$}) \\ \text{CM} &= 1 + (\text{CM} - 1) / 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{donde : VP} &= \text{VPR} / 1000 \quad (\text{m}^3) \\ \text{AL} &= \text{ALOG}_{10} (\text{VP}) \end{aligned}$$

Presa pequeña (Azud)

$$\text{CPR} = (\text{C1} + \text{C2} + \text{C3} + \text{C4} + \text{C5}) * 1.25 * \text{CM} (\text{US\$})$$

$$\text{C1} = ((0.7 * \text{HPR} ** 2 + 3.5 * \text{HPR}) * \text{XL} * (1.4 * \text{HPR} ** 2 + 1.75 * \text{HPR} * \text{HT}) * 2 * \text{TM}) * \text{CC}$$

$$\text{C2} = (\text{BT} * \text{TM} * (2 * \text{HT} - (\text{HR} + 1.5)) + 1.2 + \text{BT} * (\text{HT} - (\text{HR} + 1.5))) * \text{CC}$$

$$\text{C3} = (3.3 * \text{HPR} * \text{XL} + 7. * \text{HPR} * \text{TM} + 2. * \text{BT} * \text{TM}) * 3.5 * \text{CE}$$

$$\text{C4} = 1000. * \text{QT} ** 0.787 * (\text{HM1} ** 0.61 * \text{IZ} ** 0.9 + \text{HM2} ** 0.61)$$

$$\text{C5} = 1460. * \text{QT} ** 0.89 * \text{IZ} ** 0.89$$

$$\text{CM} = 1 + (\text{CM} - 1) / 3.3$$

Donde:

HT= altura total (incluido la altura de descarga) (m)

$$HT = HPR + HSPIL + 1.5$$

HSPIL= altura de descarga (m)

$$HSPIL = 0.57 * QUV^{**} 0.667 \text{ y}$$

$$QUV = QMAX / XL$$

TM= Ancho de los muros laterales en relación con HT (m)

$$TM = (HT + 3) / 5.3$$

HR= altura de la bocatoma (m)

$$HR = QT/BT$$

IZ= Número de compuertas previstas debido al ancho de la bocatoma (-)

$$IZ = 0.8 * BT / (0.8 * (HR + 1.5)) + 0.5$$

HM1= Presión de agua en los centros de las compuertas de la bocatoma (m)

$$HM1 = HSPIL + 1.5 + HR/2$$

HM2= Presión de agua en el centro de la compuerta del "By Pass" (m)

$$HM2 = 0.5 * HPR + HSPIL + 1.5$$

y donde:

XL = Longitud de corona (m)

BT = Ancho previsto para bocatoma (m)

HPR = Altura de la presa (m)

QT = Caudal turbinable debido a la capacidad instalada (m³/s)

CE = Costo unitario de la excavación (estado actual 6.75 \$/m³)

CC = Costo unitario del hormigón debido al volumen total
(estado actual dentro 75 - 100 \$/m³, Enero 78)

El costo de la pantalla de inyecciones está influido directamente por la geología. El cálculo de los costos de la pantalla de inyección se hace para todos los tipos de presa con la siguiente fórmula:

$$CPJ = 155 * CG * HPANT * NPERF \text{ (US\$)}$$

$$CG = 1. + 0.125 * (FGO - 1.) / 2$$

HPANT= Profundidad de perforaciones debido a la geología (dentro 0.5HPR y 1.0HPR) (m)

$$\begin{aligned} \text{FGO} > 2.6 & \quad \text{HPANT} = \text{HPR} \\ 2.6 \geq \text{FGO} > 1.8 & \quad \text{HPANT} = 0.8 \text{ HPR} \\ 1.8 \leq \text{FGO} & \quad \text{HPANT} = 0.5 \text{ HPR} \end{aligned}$$

NPERF = Número de perforaciones

$$\text{NPERF} = 3. * \text{XLG} / \text{DEF} \quad (-)$$

DEF = Distancia entre las perforaciones debido a la geología (m)

$$\begin{aligned} \text{HPR} \leq 50 & \quad \text{DEF} = 4.60786 / \text{FGO}^{1.00651} \\ 50 < \text{HPR} < 100 & \quad \text{DEF} = \frac{3.19712}{(0.5271 + 0.8475 * \text{LCG}(\text{FGO}))} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{HPR} \geq 100 & \quad \text{DEF} = 3.4364 - 0.8955 * \text{FGO} \\ \text{DEF} \leq 0.6 & \quad \text{DEF} = 0.6 \end{aligned}$$

XLG = Longitud total de la pantalla (m)

$$\text{XLG} = \frac{\text{XL} + 2.22223 * \text{HPR}^2}{\text{XL}}$$

FGO = Factor geológico dentro 1.0 y 4.0

HPR = Altura de la presa (m)

3.5.3.3.2 Tierras de Expropiación

Las tierras de expropiación están divididas en 5 categorías en función de su uso:

- Tierra poblada FC = 12 500 000

-	Tierra agrícola buena			
	Región Costa	:	FC =	47 852
	Región Sierra	:	FC =	20 252
	Región Selva	:	FC =	9 573
-	Tierra agrícola media			
	Región Costa	:	FC =	40 387
	Región Sierra	:	FC =	14 740
	Región Selva	:	FC =	4 770
-	Tierra agrícola regular			
	Región Costa	:	FC =	18 148
	Región Sierra	:	FC =	12 620
	Región Selva	:	FC =	3 858
-	Tierra incultivable			
	Región Costa	:	FC =	1 000
	Región Sierra	:	FC =	3 400
	Región Selva	:	FC =	1 000

$$CT = FC * ST \quad (\text{US\$})$$

$$ST = \text{Superficie de tierra de expropiación (Km ** 2)}$$

$$FC = \text{El costo en US\$ por Km ** 2 de terreno}$$

3.5.3.3.3 Túneles de Aducción, Derivación y Desvío

El caudal de cálculo de los túneles se establece en funciones del tipo del túnel:

- Para túnel de derivación (que conduce agua de una cuenca o subcuenca a la otra con el fin de incrementar el caudal turbinable de un proyecto)

$$QT = 1.2 * QAM \quad (\text{m**3/s})$$

$$QAM = \text{El caudal promedio anual (m**3/s)}$$

- Para túneles de aducción de agua a la turbina o de desfogue:

$$QT = CFI * \sum_{l=1}^{IKE} QAM (l) + QCON \quad (\text{m**3/s})$$

IKE = El número total de derivaciones (-)

$$CFI = \frac{QT}{\sum_{I=1}^{IKE} QAM (I)}$$

CFI = Factor de potencia instalada que representa la fracción entre el caudal turbinable y el caudal promedio anual captado en el punto de la bocatoma.

IKE

$\sum_{I=1} QAM (I)$ = La suma de los caudales promedios anuales captados por todas las derivaciones correspondientes al proyecto.

QCON

= El caudal de derivación que se transporta en un túnel de desfogue que alimenta otro esquema hidroeléctrico aguas abajo. Este caudal es constante independientemente del caudal de desfogue (función de CFI).

Túnel de desvío

Este tipo de túnel se utiliza generalmente para desviar el río en el período de construcción de presa.

QT = QAM = Caudal de crecida de cálculo para el período de construcción de la presa (en general se considera 10 años).

El cálculo del diámetro de los túneles se efectúa con las siguientes dos fórmulas :

$$DX = K * QT ** 0.43 \quad (m)$$

$$DY = 1.5463 * (TL / (0.1 * HBTU)) ** 0.1875 * (QT / KK) ** 0.375$$

$$D = \text{MAX} (DX, DY)$$

$$D = \text{Diámetro interior del túnel} \quad (m)$$

Para túneles con plantilla revestida se consideró

$$K = 0.85 \quad KK = 48$$

Para túneles revestidos se consideró

$$K = 0.72 \quad KK = 70$$

QT = Caudal de cálculo (m³/s)

TL = Longitud del túnel (m)

HBTU = Caída bruta (m)

El diámetro que resulta mayor de las dos fórmulas se consideró como válido. Si el diámetro resulta menor que 2.0, se adopta por razones constructivas 2.0 m. Si el diámetro resulta mayor que 12.0 se repite el cálculo del diámetro con 2 túneles etc.

El diámetro que resulta para túneles de desvío se divide por 2, lo que corresponde a una velocidad de escorrentía en el túnel de 16 m/3.

El cálculo de los costos de los túneles se efectúa de la siguiente manera para el túnel con plantilla revestida:

CTA = PU * TL * ICOREC (US\$)

TL = Longitud del túnel (m)

ICOREC = Número de túneles (-)

PU = $322.7 * D^{1.1284} * CG * (PENAL/100.+1.0)$ (US\$/m)

CG = $1.0 + 0.1 * FG$

FG = Factor geológico entre 1.0 y 4.0 (-)

D = Diámetro de túnel (m)

PENAL = $(FCP - 1.0) * 100.$ (%) Factor de corrección de los costos, debido a las longitudes de tramos sin ventanas mayores de 4000 m.

FCP =
$$\frac{\sum FC_i * LKM_i}{\sum LKM_i} \quad (-)$$

LKM = Longitud del segmento de túnel sin ventanas (Km)

FC = $(0.964 + 0.014 * LKM)$ (-)

N = Número de tramos sin ventanas

Se considera que estos túneles se construyen solamente en condiciones geológicas buenas.

Para el túnel revestido:

CTA = $(PU * TL + KP) * ICOREC$ (10⁶ US\$)

PU = $872. * D^{1.1476} * CG * (PENAL/100.+1.0)$ (US\$/m)

CG = $1.0528 - 0.444 * FG + 0.2088 * FG^{2}$

$$KP = 765. * QT ** 0.596 * TBLI$$

$$TBLI = \text{Longitud de túnel blindado (si es necesario) (m)}$$

Los otros parámetros véase como está indicado arriba

3.5.3.3.4 Canales de Aducción y Derivación

El caudal de cálculo se establece principalmente de la misma manera que para los túneles. Los costos para los dos tipos de canal que se consideran, se calculan de la siguiente manera:

- Canal trapezoidal

$$CC = CG * PU * CL \quad (\text{US\$})$$

$$CL = \text{Longitud del canal (m)}$$

$$CG = 1. + (0.4 * (FG - 1.)) / 2. \quad (-)$$

$$FG = \text{Factor geológico entre 1.0 y 4.0 (-)}$$

$$PU = 291.5 * QC ** (0.0984 + 0.15 * ALOG 10 (QC)) \quad (\text{US\$})$$

$$QC = \text{El caudal de cálculo (m**3/s)}$$

- Canal rectangular

$$CC = CG * PU * CL \quad (\text{US\$})$$

$$PU = 240. * QC ** (0.1061 + 0.1316 * ALOG 10 (QC)) \quad (\text{US\$/m})$$

$$CG = 0.9 + (0.2 * (FG - 1.)) / 2.$$

3.5.3.3.5 Tuberías Forzadas

El caudal de cálculo corresponde al caudal turbinable:

$$QTF = QM * CFI \quad (\text{m** 3/s})$$

$$QM = \text{Caudal promedio correspondiente (m** 3/s)}$$

$$CFI = \text{Factor de potencia instalada (-)}$$

El diámetro de la tubería se calcula:

$$DTF = 0.85 * QTF ** 0.43 * LL ** 0.14 / HB ** 0.20$$

$$HB = \text{Caída bruta correspondiente (m)}$$

$$LL = \text{Longitud de la tubería multiplicada por 1.1 (m)}$$

El diámetro DTF de la tubería también depende de restricciones de la caída bruta, del golpe de ariete y del tipo de turbina. La siguiente restricción no se debe sobrepasar para turbinas PELTON y FRANCIS.

$$D_{CONT} = DTF * (GP + HB) / (2. * 19200.) = 0.07$$

Para turbinas KAPLAN y FRANCIS

$$GP = (32. + 9. * LL/HB - (0.028 + 0.008 * LL/HB) * HB) * HB / 100 \quad (m)$$

con un límite de:

$$GP = 0.5 * HB \quad (m)$$

Para turbinas PELTON

$$GP = 0.15 * HB \quad (m)$$

En el caso de que se sobrepase un diámetro mayor que 7.0 m o la restricción indicada hay que aumentar el número de las tuberías.

- Números de las tuberías

Los costos de las tuberías son:

$$CT = 7600. * (GK + G2) ** 0.9 * 1.1 * N ** 0.9 * GEO \quad (US\$/m)$$

$$N = \text{Número de tuberías} \quad (-)$$

Tubería enterrada

$$GEO = 0.9 + 0.05 * FG \quad (-)$$

Tubería clásica

$$GEO = 1.0 + 0.05 * FG \quad (-)$$

$$FG = \text{Factor geológico entre 1.0 y 4.0} \quad (-)$$

$$GK = (0.037 * DTF ** 2 + 0.136 * DTF) * XLL \quad (t)$$

$$G2 = 0.64 * 1E - 3 * DTF ** 2 * PZ * (LL - XLL) \quad (t)$$

$$XLL = (PK - HO) * LL / (GP + HB - HO)$$

Presión en la parte arriba de la tubería:

$$PK = 57.2 + 211.2/DTF$$

Presión en la parte baja de la tubería:

$$PZ = (GP + HB + PK) / 2.$$

Para turbinas KAPLAN:

$$HO = HVU + DTF / 2.$$

Para turbinas FRANCIS y PELTON:

$$HO = HVU + 0.0015 * TL$$

HVU = Altura del volumen útil (m)

TL = Longitud del túnel correspondiente (m)

i XLL es mayor que LL se considera XLL como LL.

Para $HB \geq 150$ m y $TL \geq 4000$ m se consideran válvulas de seguridad para las turbinas FRANCIS y PELTON

Los costos para las válvulas son:

$$CV = 2600. * DTF ** 2. * HO ** 0.5 * (1. + 1.65 / (DTF ** 0.35 * HO ** 0.125)) \quad (\text{US\$})$$

Los costos totales de las tuberías forzadas se calculan:

$$CTT = CT + (CV * N) \quad (\text{US\$})$$

.5.3.3.6 Pozos Blindados

El caudal de cálculo corresponde al caudal turbinable

$$QPB = QM * CFI \quad (\text{m}^{**} 3/\text{s})$$

QM = Caudal promedio correspondiente ($\text{m}^{**} 3/\text{s}$)

CFI = Factor de potencia instalada (-)

El diámetro del pozo blindado se calcula:

$$DPB = 0.85 * QPB ** 0.43 * (LL ** 0.14 / HB ** 0.20) \text{ (m)}$$

$$HB = \text{Caída bruta (m)}$$

$$LL = \text{Longitud del pozo multiplicado por 1.1 (m)}$$

Por razones de la construcción del diámetro se debe encontrar entre 2.0 y 12.0 m.

Los costos del blindaje de los pozos se calculan:

$$CP = 7600. * (GK + GZ) ** 0.9 * N ** 0.9$$

Los demás parámetros véase en "Tuberías forzadas".

Los costos para la excavación se calculan:

$$CEX = 872. * DPB ** 1.1476 * CG * LL \text{ (US\$)}$$

$$CG = 1.0528 - 0.444 * FG + 0.2088 * FG ** 2 \text{ (-)}$$

$$FG = \text{Factor geológico entre 1.0 y 4.0 (-)}$$

Para $HB \geq 150 \text{ m}$ y $TL \geq 4000 \text{ m}$ se consideran válvulas de seguridad para las turbinas de FRANCIS y PELTON.

Los costos para las válvulas se calculan:

$$CV = 2600. * DPB ** 2. * HO ** + 0.5 * (1. + 1.65 / (DPB ** 0.35 * HO ** 0.125)) \text{ (US\$)}$$

Los costos totales de los pozos blindados se calculan entonces:

$$CPT = CP + (CEX + CV) * N \text{ (US\$)}$$

3.5.3.3.7 Casa de Máquinas

El caudal turbinable se calcula en forma parecida que para los elementos anteriormente mencionados, dependientes del caudal, a través del factor de capacidad instalada (CFI).

El cálculo de las pérdidas lineales en túneles largos de aducción:

$$DH = 10.2935 * QT ** 2 * TUN / (4900 * DTUN ** 5.33) \text{ (m)}$$

$$QT = \text{Caudal turbinable (m}^3\text{/s)}$$

$$TUN = \text{Longitud del túnel (m)}$$

$$DTUN = \text{Diámetro del túnel (m)}$$

La caída neta se calcula:

$$HN = HB - DH - 0.333 * HVU \text{ (m)}$$

$$HB = \text{Caída bruta (m)}$$

$$HVU = \text{Altura del volumen útil (m)}$$

En el caso de estaciones de bombeo las pérdidas son:

$$DH = - DH \text{ (m)}$$

La potencia instalada de la central se calcula:

$$PI = 0.00834 * HN * QT \text{ (MW)}$$

La potencia instalada de estación de bombeo se calcula:

$$PIB = 0.0115 * HN * QB \text{ (MW)}$$

$$QB = \text{Caudal de bombeo (m**3/s)}$$

En los siguientes párrafos se presenta el cálculo de los costos del equipo mecánico y eléctrico.

El tipo de turbina se elige automáticamente en función de la caída neta.

$$HN \leq 25 \quad : \quad \text{Turbinas Kaplan}$$

$$25 < HN \leq 450 \quad : \quad \text{Turbinas Francis}$$

$$450 < HN \leq 650 \quad : \quad \text{Turbinas Pelton, 6 inyectores}$$

$$650 < HN \quad : \quad \text{Turbinas Pelton, 4 inyectores}$$

El cálculo del número de Turbinas NU y la potencia por unidad PU, se efectúa según el siguiente algoritmo:

Para turbinas tipo Kaplan:

Si PI es menor que $24. * HN$

$$NU = 0.853 * (PI / HN) ** 0.613 \text{ (-)}$$

Si PI es mayor que $24. * HN$

$$NU = PI / (4. * HN) \text{ (-)}$$

Para turbinas tipo Francis:

Si PI es menor que $73.2 * HN^{**} 0.433$

$$NU = (1.049 / HN^{**} 0.2) * PI^{**} 0.406 \quad (-)$$

Si PI es mayor que $73.2 * HN^{**} 0.433$

$$NU = 0.082 * PI / HN^{**} 0.493$$

Para turbinas tipo Pelton:

Si PI es menor que 930

$$NU = 0.39 * PI^{**} 0.4 \quad (-)$$

Si PI es mayor que 930

$$NU = PI / 155 \quad (-)$$

El número de las unidades se estima al valor entero más próximo.

El número mínimo de las turbinas instaladas es 2.

La potencia instalada por unidad se calcula:

$$PU = PI / NU \quad (MW)$$

Los costos para la turbina se calculan:

$$CTU = (XK / 2.1) * PU1 * 1E3 * (NU + 0.1) * (RNT / RNR)^{**} 0.5 \quad (US\$)$$

$$PU1 = PU / 0.94 \quad (MW)$$

$$RNT = 675. * HN^{**} 0.29 / QU^{**} 0.5 \quad (RPM)$$

$$RNR = 3600 / IP \quad (RPM)$$

$$IP = \text{Número de polos entre 2 y 10}$$

$$QU = QT / NU \quad (m^{**}3/s)$$

Debe ser cumplida la siguiente condición:

$$RNR < RNT \leq RNR (IP - 1)$$

En caso de que esta condición no está cumplida hay que aumentar la cantidad de polos.

Para turbinas Kaplan:

$$4 < HN \leq 10$$

$$XK = 6918. / HN^{** 1.163} \quad (-)$$

$$10 < HN \leq 25$$

$$XK = 2678. / HN^{** 0.751} \quad (-)$$

- Para turbinas Francis:

$$PU1 < 50 \text{ y } HN \leq 300$$

$$XK = 2050. / ((PU1^{** 0.268}) * (HN^{** 0.473})) \quad (-)$$

$$PU1 < 50 \text{ y } 300 < HN \leq 450$$

$$XK = 4.935 * (HN^{** 0.584} / (PU1^{** 0.268})) \quad (-)$$

$$PU1 > 50 \text{ y } HN \leq 300$$

$$XK = 901. / ((PU1^{** 0.052}) * (HN^{** 0.473})) \quad (-)$$

$$PU1 > 50 \text{ y } 300 < HN \leq 450$$

$$XK = 2.170 * (H^{** 0.584} / (PU1^{** 0.052})) \quad (-)$$

- Para turbinas Pelton:

$$PU1 \leq 100$$

$$XK = 1620. / (PU1^{** 0.322} * HN^{** 0.267}) \quad (-)$$

$$PU1 > 100 \quad (-)$$

$$XK = 368. / HN^{** 0.267} \quad (-)$$

Las válvulas

Para las turbinas Kaplan se calculan costos de compuertas de emergencia (Stoplogs)

Los costos para las compuertas se calculan:

$$CST = (C * B^{** 1.22} * (1.5 * HM)^{** 0.61} * ZB^{** 0.9}) * ND \quad (\text{US\$})$$

$$B = 0.79 * QTT^{** 0.5} \quad (\text{m})$$

$$ZB = 0.63 * QTT^{** 0.5} / 1.5$$

$$ND = NU / 4.0 + 0.999$$

El número mínimo ND de las compuertas son 2.

$$HM = HVU + (ZB - 1) * 1.5/2 \quad (\text{m})$$

Para $B \leq 9$ se considera $C = 1000$

Para $B > 9$ se considera $C = 760$

$QTT = QT/NU$ Caudal turbinable por unidad (m^3/s)

$HVU =$ Altura del volumen útil (m)

$NU =$ Número de las turbinas instaladas (-)

Los costos para las guías de las compuertas de emergencia se calculan:

$$CG = (CST/ND) * (NU - ND) * 0.1 \quad (\text{US\$})$$

Los costos para el equipo de izaje se calculan:

$$CI = 4900. * QT ** 0.43 \quad (\text{US\$})$$

Los costos totales de las compuertas de emergencia (Stoplogs) se calculan entonces:

$$CSTT = CST + CG + CI \quad (\text{US\$})$$

Para las turbinas Francis se consideran válvulas mariposa y válvulas esféricas debido a la presión abajo.

Válvulas mariposa por $HB \leq 200$ m.

Los costos de las válvulas mariposas se calculan entonces:

Para un diámetro $1.5 \leq DD \leq 2.0$ de la válvula mariposa

$$CVM = 3994. * DD * 1.8 * BH ** 0.5 * (NU + 0.1) \quad (\text{US\$})$$

Para un diámetro $2.0 < DD \leq 4.0$

$$CVM = 3447. * DD ** 2 * BH ** 0.5 * (NU + 0.1) \quad (\text{US\$})$$

Válvulas esféricas para $HB > 200$ m

Para un diámetro $1.5 \leq DD \leq 2.0$ de la válvula esférica, los costos se calculan:

$$CVE = 3810. * DD ** 2.2 * BH ** 0.6 * (NU + 0.1) \quad (\text{US\$})$$

Para turbinas Pelton no se considera válvulas, los costos para ellas ya están incluidos en las turbinas.

$$\begin{aligned}
 DD &= 1.15 * A \\
 A &= (((26.2 + 0.62 * RNT) * HN ** 0.5) / RNR)^* \\
 &\quad (1.2 - 6.586/RNT) \quad (m) \\
 BH &= (HB + GP) * 1.3 \quad (m) \\
 HB &= \text{Caída bruta} \quad (m) \\
 HN &= \text{Caída neta} \quad (m) \\
 GP &= \text{Golpe de ariete} \quad (\text{vea tuberías forzadas}) \quad (m) \\
 NU &= \text{Número de unidades instaladas} \quad (-) \\
 RNR, RNT &= \text{Velocidad de la turbina (vea turbinas)} \quad (RPM)
 \end{aligned}$$

- Compuertas de emergencia de las turbinas aguas abajo (Stoplogs)

Los ctos para las compuertas se calculan:

$$\begin{aligned}
 CSTA &= (C * B ** 1.22 * (1.5 * HM) ** 0.61 * ZB ** 0.9) \\
 &\quad * ND \quad (US\$)
 \end{aligned}$$

Los costos para las guías de las compuertas se calculan:

$$CGA = (CSTA / ND) * (NU - ND) * 0.1 \quad (US\$)$$

Los costos para el equipo de izaje de las compuertas se calculan:

$$CIA = 4900 * QTT ** 0.43 \quad (US\$)$$

Los costos totales de las compuertas de emergencia de las turbinas aguas abajo se calculan entonces:

$$CSTAT = CSTA + CGA + CIA \quad (US\$)$$

Los parámetros para los tres tipos de turbinas se calculan en la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 QTT &= QT / NU \quad (m^{**3}/s) \\
 QT &= \text{Caudal turbinable} \quad (m^{**3}/s) \\
 NU &= \text{Número de turbinas instaladas} \quad (-)
 \end{aligned}$$

Para turbinas Kaplan

$$\begin{aligned}
 B &= 1.026 * QTT ** 0.5 \quad (m) \\
 ZB &= 0.304 * QT ** 0.5 \\
 HM &= -HSM + 0.684 * QTT ** 0.5 - 0.75 \quad (m) \\
 HSM &= 9.8 - 0.0011 * HA - 4.24 * HN ** 0.333 \quad (m)
 \end{aligned}$$

HSM = debe resultar en un valor negativo, si no se pone cero

HN = Caída neta (m)

HA = Cota de la salida del agua turbinada (m.s.n.m.)

Para turbinas Francis

B = $0.918 * QTT^{**} 0.5$ (m)

ZB = $0.317 * QTT^{**} 0.5$ (-)

HSM = $9.8 - 0.0011 * HA - 7.44 * HN^{**} 0.12$

HSM = debe resultar en un valor negativo, si no se pone cero

TH = $0.34 * QTT * 0.5 * (1.89 + 68/RNT)$ (m)

RNT = Velocidad específica de la turbina (RPM) (vea turbinas Francis)

HM = $- HSM + TH - 0.75$ (m)

Para turbinas Pelton

B = $0.9 * QTT^{**} 0.5$ (m)

ZB = $0.47 * QTT^{**} 0.5$ (-)

HM = $0.7 * QTT^{**} 0.5$ (m)

El factor C se calcula a 1000, si $B \leq 9$ m y a 760 para $B > 9$ m

El número de las compuertas de emergencia se calcula

ND = $NU/4$ (-)

El número ND de las compuertas se estima al valor entero más próximo. El número mínimo de las compuertas es 2.

Los costos para los generadores se calculan:

CGEN = $4147030 * NU * \text{SQRT} (PUN/RNR)$ (US\$)

NU = Número de unidades (-)

PUN = $PU / (0.90 * EFIC)$ (MVA)

PU = Potencia instalada por unidad (MW)

EFIC = $1.0 - 0.5E^{-4} * CA$

CA = Cota de la casa de máquinas (m.s.n.m.)

RNR = Velocidad de la turbina / generador (RPM) (vea Turbinas)

0.90 = Factor de potencia.

Los costos para los transformadores se calculan:

$$\text{CTR} = 45\,000 \cdot \text{PUN}^{**} 0.6622^{**} \text{NU} \quad (\text{US\$})$$

$$\text{PUN} = \text{Potencia aparente} \quad (\text{MVA})$$

Los costos para el equipo eléctrico de control y mando y el patio de llaves se calculan:

$$\text{CS} = 0.914745 \cdot \text{CEC} \cdot (1.12176)^{**} \text{NU} \quad (\text{US\$})$$

$$\text{NU} = \text{Número de unidades} \quad (-)$$

$$\text{CEC} = (240\,000 \cdot \text{PUN}^{**} 0.4633 - 45\,000 \cdot \text{PUN}^{**} 0.6622)^{**} \text{NU} \quad (\text{US\$})$$

$$\text{PUN} = \text{Potencia aparente} \quad (\text{MVA})$$

Costos adicionales de la casa de máquinas

Los costos para la grúa principal se calculan:

$$\text{CGR} = 0.85 \cdot 1.E6 \cdot \text{PU}^{**} 0.555 / \text{RNR}^{**} 0.416 \quad (\text{US\$})$$

$$\text{PU} = \text{Potencia instalada por unidad (MW)} \quad \text{vea turbinas}$$

$$\text{RNR} = \text{Velocidad de la turbina (RPM)} \quad \text{vea turbinas}$$

Los costos para drenaje y agua refrigerante se calculan:

$$\text{CDR} = \text{NU} \cdot 21\,000 + 630 \cdot \text{PI} \quad (\text{US\$})$$

$$\text{PI} = \text{Capacidad instalada (MW)}$$

$$\text{NU} = \text{Número de unidades} \quad (-)$$

Los costos para el taller se calculan:

$$\text{Para} \quad \text{PI} < 30 \text{ MW}$$

$$\text{CT} = 40\,000 \quad (\text{US\$})$$

$$\text{Para} \quad 30 < \text{PI} \leq 80 \text{ MW}$$

$$\text{CT} = 70\,000 \quad (\text{US\$})$$

$$\text{Para} \quad \text{PI} > 80 \text{ MW}$$

$$\text{CT} = 100\,000 \quad (\text{US\$})$$

Los costos para refrigeración en general se calculan:

$$\text{CRG} = 15\,000 \cdot \text{PI}^{**} 0.75 \quad (\text{US\$})$$

En el siguiente párrafo se presentan los costos de la casa de máquinas para las obras civiles:

$$VQHN = QT ** 0.667 * HN ** 0.25 * NU ** 0.3333$$

$$QT = \text{Caudal turbinable (m**3/s)}$$

$$HN = \text{Caída neta (m)}$$

$$NU = \text{Número de unidades instaladas (-)}$$

Para casas de máquinas al aire libre los costos resultan

$$CCM = 4925. * VQHN ** 1.4683 \quad (\text{US\$})$$

Para casas de máquinas en caverna los costos se calculan

$$CCM = CBZ * CGC \quad (\text{US\$})$$

$$CBZ = 7710. * VQHN ** 1.4683$$

$$CGC = 1.0 + ((1.2 - 1.0) * (FG - 1.0)) / 2. \quad (-)$$

$$FG = \text{Factor geológico entre 1.0 y 4.0} \quad (-)$$

Para casas de máquinas enterradas los costos se calculan:

$$CCM = 6318. * VQHN ** 1.4683 \quad (\text{US\$})$$

Para casas de máquinas en la presa (de concreto de gravedad) los costos se calculan

$$CCM = 0.9 * CBZ \quad (\text{US\$})$$

$$CBZ = 4925. * VQHN ** 1.4683$$

Para casas de máquinas que soportan la presión de agua (planta fluvial) los costos se calculan

$$CCM = 1.2 * CBZ \quad (\text{US\$})$$

$$CBZ = 4925. * VQHN ** 1.4683$$

Los costos totales de las casas de máquinas resultan de la suma de los varios elementos

$$CTC = \sum_{i=1}^K \text{COSTO}_i$$

COSTO = Costo del elemento i

i = elemento componente de la central

K = número total de elementos que componen la central

Si se trata de casa de máquinas de una estación de acumulación por bombeo se consideran grupos reversibles bombas/turbinas y respectivamente motor/generador, y se considera de manera simplificada que el número de horas de bombeo son iguales que el número de horas de generación.

En este caso los costos son mayores que los normales en un 30% para turbinas y generadoras, y así tenemos:

$$CTU = 1.3 * CTU$$

$$CG = 1.3 * CG$$

Para agua salada, debido a la corrosión, se aumentan los costos de algunos elementos en un 10% sobre el total, esto es:

$$CTU = 1.1 * CTU$$

$$CG = 1.1 * CG$$

$$CVE = 1.1 * CVE$$

$$CBA = 1.1 * CBA$$

3.5.3.3.8 Vertederos

Los costos para los tres tipos de vertederos se calculan:

Para el vertedero incorporado en la presa de hormigón de gravedad se considera solamente costos para las compuertas radiales.

$$\begin{aligned} \text{COMPU} &= 1300. * AV ** 1.24 * (HV * HV) ** 0.62 * \\ &\quad \text{INUM} ** 0.9 \quad (\text{US\$}) \end{aligned}$$

$$AV = 10. ** ((\text{ALOG } 10 (QVV) - 0.0554828) / 2.498848)(m)$$

$$HV = 10. ** ((\text{ALOG } 10 (QVV) - 0.502806) / 2.4867848)(m)$$

Si HV (altura de la compuerta) resulta más de 15 m., hay que aumentar el número de compuertas radiales.

$$QVV = QV / \text{INUMV}$$

$$QV = \text{Caudal de crecida (m}^3/\text{s)}$$

$$\text{INUMV} = \text{Número de las compuertas (-)}$$

En los costos de los vertederos tipo canal están incluidos los costos para excavación, movimiento de tierra y las obras civiles

$$\begin{aligned} CV &= ((10. ** (\text{ALOG } 10 (QV) + 0.522879)) * VL) * \\ &\quad 1.1304 + \text{COMPU} \quad (\text{US\$}) \end{aligned}$$

$$VL = \text{Longitud del canal de descarga (m)}$$

$$\text{COMPU} = \text{vea arriba}$$

Para los túneles vertederos los costos se calculan:

$$CV = FT * VL * \text{ICOREC} + \text{COMPU} \quad (\text{US\$})$$

$$FT = CG * 872. * DA ** 1.1476$$

$$CG = 1.0528 - 0.444 * FG + 0.2088 * FG ** 2.$$

$$FG = \text{Factor geológico entre 1.0 y 4.0 (-)}$$

3.5.3.3.9 Carreteras

Las carreteras consideradas pueden ser carreteras de acceso a diferentes puntos de construcción de la obra hidroeléctrica o carreteras de uso general que deben removerse por el proyecto hidroeléctrico. Los costos por Km (A US\$) se calculan en la siguiente manera:

Terreno	Ancho (m)	6	8	10	12
Muy accidentado	CC = 36 000	123 070	138 460	192 300	
Accidentado	CC = 27 000	92 300	115 380	176 920	
Plano	CC = 18 000	61 540	107 690	138 460	

$$CCR = CC * LC \quad (\text{US\$})$$

$$LC = \text{Longitud de la carretera (Km).}$$

3.5.3.3.10 Ferrocarriles

Los costos por Km (en US\$) utilizados en el programa se pueden observar en la siguiente tabla.

Terreno tipo carril	Normal	Angosto
Muy accidentado	CF = 88 000	62 000
Accidentado	CF = 80 000	56 000
Plano	CF = 72 000	50 000

$$CFER = CF * LF \quad (\text{US\$})$$

$$LF = \text{Longitud de la línea ferrocarril (Km)}$$

3.5.3.3.11 Chimeneas de Equilibrio

La chimenea de equilibrio se considera siempre del tipo funcional con una cámara cilíndrica de expansión.

- Cálculo del diámetro de la chimenea de equilibrio:

$$DCH = 10.7 * DT ** 1.6667 / \text{SQRT} (HB - DH)$$

$$HB = \text{Caída bruta (m)}$$

$$DH = 10.2935 * QT ** 2 * TL / (4900. * DT ** 5.3333) \quad (\text{m})$$

$$DT = \text{Diámetro del túnel correspondiente (m)}$$

$$TL = \text{Longitud del túnel correspondiente (m)}$$

$$QT = \text{Caudal turbinable (m**3/s)}$$

$$DCH = \text{Mínimo} = 1.5 * DT$$

- Cálculo del costo de excavación:

$$\text{EXCAV} = 0.7854 * (DCH + 1.0) ** 2 * \text{ACHI} * 41. * \text{FC (m**3)}$$

$$\text{ACHI} = 0.0015 * TL + \text{HVU} \quad (\text{m})$$

$$\text{HVU} = \text{Altura del volumen útil (m)}$$

Tipo de chimenea	Factor de corrección FC
Subterránea	1.0
Enterrada	0.5
Al aire libre	0.0

- Cálculo del costo para el concreto:

$$\text{CC} = (4. * DCH + 4.) * 0.785 * \text{HVU} * 95 \quad (\text{US\$})$$

Los costos totales de la chimenea de equilibrio se calculan:

$$\text{CCHT} = \text{EXCAV} + \text{CC} \quad (\text{US\$})$$

3.5.3.3.12 Bocatomas

Los costos para las obras civiles se calculan

$$\text{COC} = 3675. * \text{SQRT} (\text{AE} * \text{HBC}) \quad (\text{US\$})$$

AE = Area de la entrada del agua (m²)

HBC = Presión del agua en la solera (m)

Los costos para la compuerta vagon se calculan:

CV = 1000. * QBC ** 0.787 * HM ** 0.61 (US\$)

QBC = Caudal que entra a la bocatoma (m³/s)

HM = Presión en el centro de la compuerta (m)

Los costos para la compuerta de revisión (stop log) se calculan:

CCR = FC * DT ** 1.22 * (1.5 * HM) ** 0.61 +
+ 4900. * QBC ** 0.43 (US\$)

DT = Diámetro del túnel correspondiente (m)

Para DT ≤ 9m FC = 1000

Para DT > 9m FC = 760

Los costos de la rejilla de entrada se calculan:

CRE = 2000. * QBC ** 0.9 (US\$)

Los costos totales de las bocatomas se calculan entonces

CTB = (COC + CV + CCR + CRE) * NB ** 0.9 (US\$)

NB = Número de las bocatomas (-)

3.5.3.3.13 Desarenadores

La función del tipo funcional del túnel o canal correspondiente al desarenador, el caudal de cálculo se determina:

- Aducción: QDC = QM * CFI (m³/s)
QM = Caudal promedio (m³/s)
CFI = Factor de capacidad instalada (-)
- Derivación: QDC = 1.2 * QM (m³/s)

Los costos de los desarenadores se calculan:

CD = C 9 * (D1 + D2) (US\$)

$$\begin{aligned}
 C9 &= 1.0 \text{ al aire libre} \\
 C9 &= 1.5 \text{ enterizo} \\
 C9 &= 2.0 \text{ en caverna} \\
 D1 &= 10\,000. * QD^{**} 1.15 * 1.1304 \\
 D2 &= CG * QD^{**} 1.41 \\
 QD &= \text{Caudal turbinable (m**3/s)} \\
 CG &= 825. + ((1650. - 825.) * (FG - 1.0)) / 2. (-) \\
 FG &= \text{Factor geológico entre 1.0 y 4.0}
 \end{aligned}$$

3.5.3.3.14 Puentes

Los puentes calculados pueden ser puentes de carretera, puentes de canal o tubería para el transporte de agua a las turbinas

Los costos de los puentes se calculan con la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 CPU &= TP * (2600. * PUL + 70 HPU) * AM \quad (\text{US\$}) \\
 TP &= \text{Factor del tipo de puente} \\
 TP &= 1.3 \text{ Puente de acero, } TP = 1.0 \text{ Puente de hormigón} \\
 PUL &= \text{Longitud del puente (m)} \\
 HPU &= \text{Altura máxima del puente (m)} \\
 AM &= \text{Factor de corrección para el ancho del puente} \\
 AM &= 0.6 \text{ Ancho del puente} = 6 \text{ m, } AM = 0.8 \text{ Ancho del puente} = 8 \text{ m.} \\
 AM &= 1.0 \text{ Ancho del puente} = 10 \text{ m, } AM = 1.2 \text{ Ancho del puente} = 12 \text{ m.}
 \end{aligned}$$

3.5.3.4 Cálculo de los Valores característicos de Energía y Potencia de los Proyectos Hidroeléctricos

En el programa EVAL la determinación de valores característicos de energía y potencia se hace con la subrutina ENGIP. En esa subrutina se ejecutan interpolaciones sucesivas en las familias de curvas de energía discretizadas que se obtuvieron con la ayuda del programa DIREC (véase la descripción detallada del programa DIREC que se encuentra en este volumen).

3.5.3.5 Cálculo de los Costos Totales

El programa EVAL calcula los costos totales de todas las alternativas fun

cionales y de potencia instalada de un proyecto como suma de los costos parciales de los varios elementos de definición del proyecto, dimensionados en el modelo mismo mediante la información básica suministrada.

Para el cálculo de los costos totales de inversión y los costos anuales totales, se utilizaron las siguientes fórmulas:

Costos totales de inversión : C_T

$$C_T = C * (1.0 + C_{IMPR}) * (1.0 + C_{IDC} + C_{INAD}) \quad (10^6 \text{ US\$})$$

C = Costos directos, determinados a través de las funciones analíticas de costos de los parámetros técnicos de los proyectos.

C_{IMPR} = Coeficiente de imprevistos

C_{IDC} = Coeficiente de intereses durante la construcción, incluidos como una fracción de los costos directos más imprevistos y determinados en función de los años de construcción, los desembolsos anuales y la tasa de interés.

C_{INAD} = Coeficiente de costos de ingeniería y administración, incluidos como un porcentaje de los costos directos más imprevistos.

En nuestro caso el costo total, tiene una reactualización entre Enero 1978 a Enero 1979 en un 4%, es decir:

$$C_T = C_T * 1.04.$$

Los costos anuales se calculan de la siguiente manera:

$$K_a = a + m - b \quad (10^6 \text{ US\$/año})$$

a = Anualidad de la inversión total C_T

m = Costos anuales de operación y mantenimiento (porcentaje de la inversión total)

b = Beneficios secundarios anuales.

El programa permite el cálculo de los costos totales para varias combinaciones:

- Con o sin la consideración de líneas de transmisión
- Con o sin intereses durante la construcción
- Con o sin la consideración de los beneficios secundarios.

3.5.3.6 Factores Económicos de Comparación

La selección de alternativas y la comparación entre los diferentes proyectos se efectúa en base a dos factores económicos de comparación:

- Costo unitario de producción de energía