

---

# **SECCIÓN II**

## **PROYECTO DE PREFACTIBILIDAD**

---

En el nivel de Proyecto de Prefactibilidad los costos de los componentes hidromecánicos se determinan mediante las respectivas fórmulas que comprenden los costos de fabricación (incluida la ingeniería), transporte y montaje.

## **1. COMPUERTAS, ATAGUÍAS, REJAS, LIMPIARREJAS Y VÁLVULAS**

Se establece una única fórmula matemática correspondiente a cada una de las distintas estructuras y componentes de los Proyectos: Aliviadero, Obra de Toma, Casa de Máquinas, Descargador de Fondo y Esclusa de Navegación.

### **1.1. OBRA DE DESVIO, OBRA DE RESTITUCION Y ALIVIADERO**

Corresponde al equipamiento hidromecánico de vertederos con capacidad de regulación del flujo.

La fórmula utilizada toma en consideración el caudal de diseño del vertedero capaz de ser regulado Q.

Estructura de la Fórmula

$$\text{\$} = 1749 (Q^{0,91})$$

Donde

Q = Caudal de diseño a regular, en m<sup>3</sup>/seg.

### **1.2. OBRA DE TOMA**

La fórmula utilizada toma en consideración la potencia instalada de la Central Hidroeléctrica (N) y el salto hidráulico (diferencia entre el nivel máximo normal del embalse y la cota de restitución = Ho). La estructura de compuertas puede estar en la obra de toma o en la central (caso de casa de máquinas a pie de presa). Se deberá colocar la estructura de compuertas, rejatas y limpiarrejatas en la obra de toma solamente.

Estructura de la Fórmula:

$$\text{\$} = 942.000(N / H_0)$$

Donde:

N = Potencia instalada de la Central, en MW

Ho = Salto hidráulico (diferencia entre el nivel máximo normal del embalse y la cota de restitución), en m.

### **1.3. CASA DE MÁQUINAS**

Todo el equipamiento hidromecánico tanto al ingreso de la toma como a la salida de los tubos de aspiración, si los hubiera se computan dentro del equipamiento de la Obra de Toma. En consecuencia en la central sólo deben considerarse las válvulas que controlan el ingreso a las turbinas.

Estructura de la fórmula:

$$\text{\$} = 11 \cdot Q^{1.5} H_o k_s$$

Donde:

Q = caudal total turbinado máximo, en m<sup>3</sup>/s

H<sub>o</sub> = Salto hidráulico (diferencia entre el nivel máximo normal del embalse y la cota de restitución), en m.

K<sub>s</sub> = factor de corrección por zona sísmica o golpe de ariete. (Apartado 6 – Sección I)

Como el costo es directamente proporcional al peso deberán efectuarse los ajustes correspondientes al peso por zona sísmica y golpe de ariete, como fue expuesto para válvulas en Proyecto Básico, Sección I – Apartado 6.

### **1.4. DESCARGADOR DE FONDO**

En el caso que exista descargador de fondo, la fórmula del costo del equipamiento hidromecánico serán los siguientes:

a. Si el equipamiento está constituido por compuertas, rejas y ataguías el costo será:

$$\text{\$} = 60 Q \cdot h$$

Donde:

Q = caudal del descargador

h = carga hidráulica

b = Si el equipamiento está constituido por válvulas, rejas y ataguías

$$\text{\$} = 16 Q^{1.5} h \cdot k_s$$

Donde k<sub>s</sub> es el factor de corrección por zona sísmica o golpe de ariete calculado según se indica en el Apartado 6 de la Sección I.

### **1.5. ESCLUSA DE NAVEGACIÓN**

Corresponde al equipamiento hidromecánico de Esclusa de Navegación.

La fórmula utilizada toma en consideración el ancho del Cuenco w y el Salto hidráulico (diferencia entre el nivel máximo normal del embalse y la cota de restitución = H<sub>o</sub>)

$$S = 2500 \cdot H_o^{1,1} \cdot w^{1,6}$$

Donde

w: Ancho del Cuenco en m

H<sub>o</sub>: Salto hidráulico (diferencia entre el nivel máximo normal del embalse y la cota de restitución), en m

## **2. GRÚAS**

En el Plan de Cuentas se ha previsto la posibilidad de introducir, ya sea para grúas pórtico o puentes grúa tres equipos de diferentes capacidad para cada categoría denominándose cada uno como Tipo I, Tipo II y Tipo III.

### **2.1. GRÚA PÓRTICO**

Se establece una única fórmula matemática correspondiente a cada una de las Grúas Pórtico del Proyecto, en función de su capacidad, (en toneladas), la luz libre o trocha, la altura de izaje y la luz transversal de la grúa pórtico (longitud de la Central).

Estructura de la Fórmula.

$$\text{\$} = 85 \cdot (l_1 \cdot l_2 \cdot H) \cdot 0,45 \cdot Q + 3300 \cdot Q + 1000 \cdot h + 180 \cdot d$$

Donde:

$l_1$ = luz libre de la grúa pórtico (trocha), en m

$l_2$ = luz transversal de la grúa pórtico, en m

Q= Carga máxima, en ton

h = Recorrido de gancho de izaje, en m

d= Distancia entre los extremos del recorrido del pórtico, en m

H= Altura total de la Grúa Pórtico

### **2.2. PUENTE GRÚA**

Se establece una única fórmula matemática correspondiente a cada uno de los Puentes Grúas del Proyecto, en función de su capacidad, (en toneladas), la luz libre, la altura de izaje y el recorrido del puente grúa (longitud de la Central)

Estructura de la Fórmula.

$$\text{\$} = (45 \cdot l^{1,3} \cdot Q + 3300 \cdot Q + 1000 \cdot h + 180 \cdot d)$$

Donde:

l= luz libre del puente grúa, en m

Q= Carga máxima, en ton

h = Recorrido de gancho de izaje, en m

d= Distancia entre los extremos del recorrido del puente grúa, en m

### 3. TURBINAS

Este costo incluye la provisión, transporte, montaje y ensayos necesarios para la puesta en servicio.

Los parámetros que se utilizan para la determinación del costo son la potencia nominal de cada unidad (N) en MW y el salto máximo ( $H_0$ ) en metros.

Se distinguen en este nivel de proyecto cuatro tipos de turbinas, Pelton, Francis, Kaplan y Bulbo.

En el Plan de Cuentas, además de los cuatro tipos de turbinas mencionadas se ha previsto la posibilidad que el Usuario puede introducir en cada caso tres máquinas de distinta potencia, las que han sido denominadas genéricamente Tipo I, Tipo II y Tipo III.

#### 3.1. PELTON

Costo en US\$	Rango de Potencias	Rango de Alturas / Salto máximo
$u\$s = 129,68 \cdot 10^6 \cdot (N/H_0)^{1,52}$	$5MW \leq N \leq 200MW$	$100m \leq H_0 \leq 1100 m$

#### 3.2. FRANCIS

Costo en US\$	Rango de Potencias	Rango de Alturas / Salto máximo
Si $\frac{H_0}{N} > 1$ $U\$S = 0,83 \cdot 10^6 \left( \frac{N^{0,80}}{H_0^{0,33}} \right)$	$5MW \leq N \leq 300MW$	$30m \leq H_0 \leq 250m$
Si $\frac{H_0}{N} < 1$ $U\$S = 0,668 \cdot 10^6 \left( \frac{N^{0,80}}{H_0^{0,33}} \right)$	$5MW \leq N \leq 300MW$	$30m \leq H_0 \leq 250m$

#### 3.3. KAPLAN

Costo en US\$	Rango de Potencias	Rango de Alturas / Salto máximo
$u\$s = 0,92 \cdot 10^6 \cdot (N^{0,87} / H_0^{0,44})$	$5MW \leq N \leq 200MW$	$10m \leq H_0 \leq 40m$

#### 3.4. BULBO

Costo en US\$	Rango de Potencias	Salto máximo
$US\$ = 1,326 \cdot 10^6 \cdot (N^{0,87} / H_0^{0,44})$	$5MW \leq N \leq 50MW$	$H_0 \leq 20 m$

#### **4. TRANSFERENCIA DE PECES**

##### **4.1. EQUIPAMIENTO HIDROMECAÁNICO**

Se encuentran computados en esta fórmula los costos correspondientes a la fabricación, transporte y montaje.

V = Volumen útil del tanque de transferencia en m<sup>3</sup>

H = Salto hidráulico en m.

k<sub>aut</sub> = Coeficiente de automatismo

k<sub>aut</sub> = 1,00 Para Instalaciones totalmente automatizadas y equipadas.

k<sub>aut</sub> = 0,90 Para Instalaciones parcialmente automatizadas y equipadas.

k<sub>aut</sub> = 0,80 Para las instalaciones con un bajo nivel de automatización y de equipamiento.

k<sub>conc</sub> = Coeficiente que determina la existencia del Carro Concentrador

k<sub>conc</sub> = 1,00 con Carro Concentrador

k<sub>conc</sub> = 0,88 sin Carro Concentrador

k<sub>bomb</sub> = Coeficiente de alimentación del agua de atracción

k<sub>bomb</sub> = 1,0 instalaciones alimentadas sólo por gravedad

k<sub>bomb</sub> = 1,6 instalaciones alimentadas sólo por bombeo

k<sub>bomb</sub> = 1,9 instalaciones alimentadas por gravedad y bombeo alternativamente.

$$\text{\$} = 65.000 \cdot V \cdot H^{0,3} \cdot k_{\text{aut}} \cdot k_{\text{conc}} \cdot k_{\text{bomb}}$$

## **5. GENERADORES**

### **5.1. GENERADORES PRINCIPALES**

En el Plan de Cuentas se ha previsto para cada rango de revoluciones, la posibilidad de especificar tres equipos de diferente potencia, los que son denominados como Tipo I, Tipo II y Tipo III.

#### **5.1.1. Fabricación y Montaje**

El cálculo del precio final de los generadores se obtiene de una fórmula en la cual se ingresa la potencia N teniendo ya asumido un rango de velocidad (en rpm).

El costo unitario corresponde a la provisión y el montaje de las máquinas, y también está incluido en el mismo el costo de las barras de fase.

$$P(G) = K1 N + K2$$

Donde

P(G)= Precio del generador en US\$/unidad a abril de 2006.

N = Potencia nominal del generador en kVA.

K1 constante.

K2 constante.

Desarrollo: Se distinguen cuatro rangos de velocidad

a) Para revoluciones entre  $50 < \text{rpm} < 300$ , la fórmula aplicada es:

$$P(G) = 50.4 N + 2.880.000$$

Donde

P(G)= Precio de fabricación del generador en US\$/unidad a abril de 2006.

N = Potencia nominal del generador en kVA.

rpm = Revoluciones por minuto.

b) Para revoluciones entre  $300 < \text{rpm} < 500$ , la fórmula aplicada es:

$$P(G) = 49.2 N + 2.640.000$$

Donde

P(G)= Precio del generador en US\$/unidad a abril de 2006.



N = Potencia nominal del generador en kVA.

c) Para revoluciones entre  $600 < \text{rpm} < 800$ , la fórmula aplicada es:

$$P(G) = 48 N + 2.400.000$$

Donde

P(G)= Precio del generador en US\$/unidad a abril de 2006.

N = Potencia nominal del generador en kVA.

d) Para revoluciones entre  $900 < \text{rpm} < 1200$ , la fórmula aplicada es:

$$P(G) = 36 N + 2.400.000$$

Donde

P(G)= Precio del generador en US\$/unidad a abril de 2006.

N = Potencia nominal del generador en kVA.

### **5.1.2. Transporte**

Para el cálculo del costo del transporte de los generadores se recomienda utilizar la fórmula:

$$P(TG) = 0,487 \frac{\text{u\$s}}{\text{t} \times \text{km}} \times d(\text{km}) \times \text{tn}(\text{t})$$

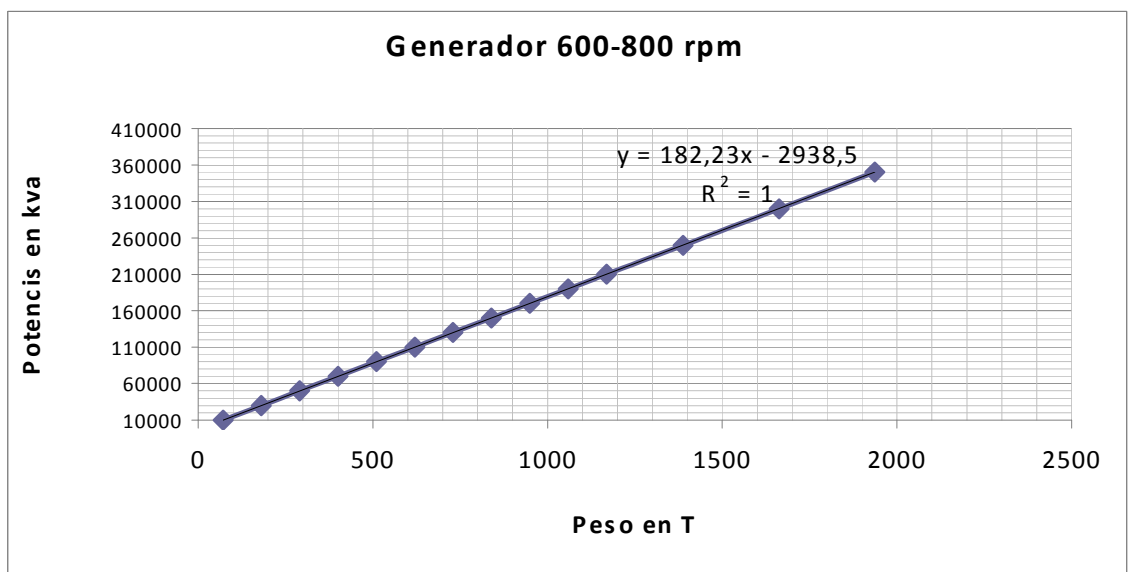
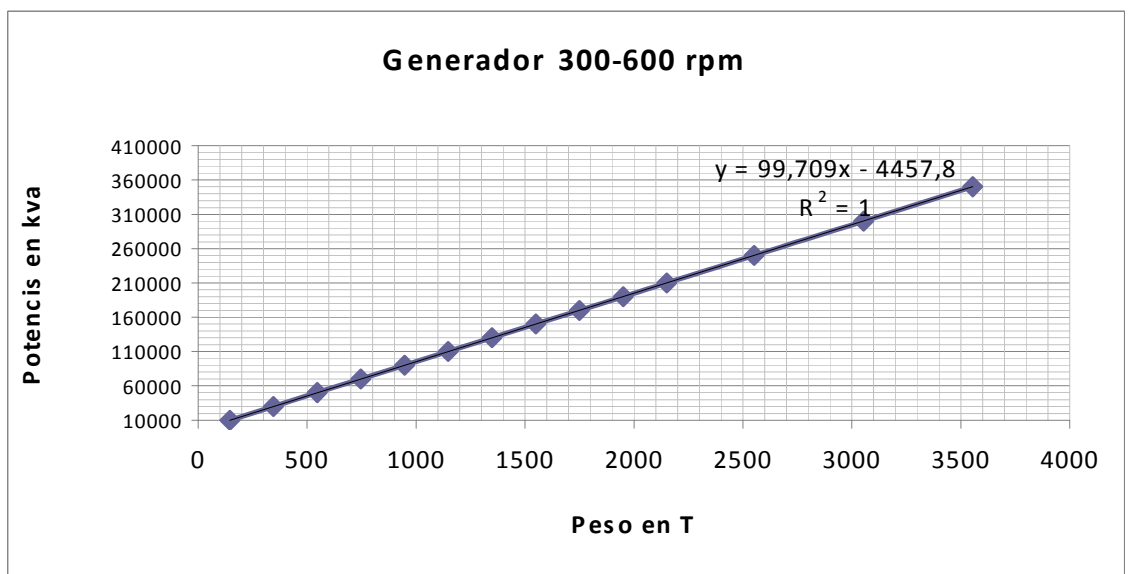
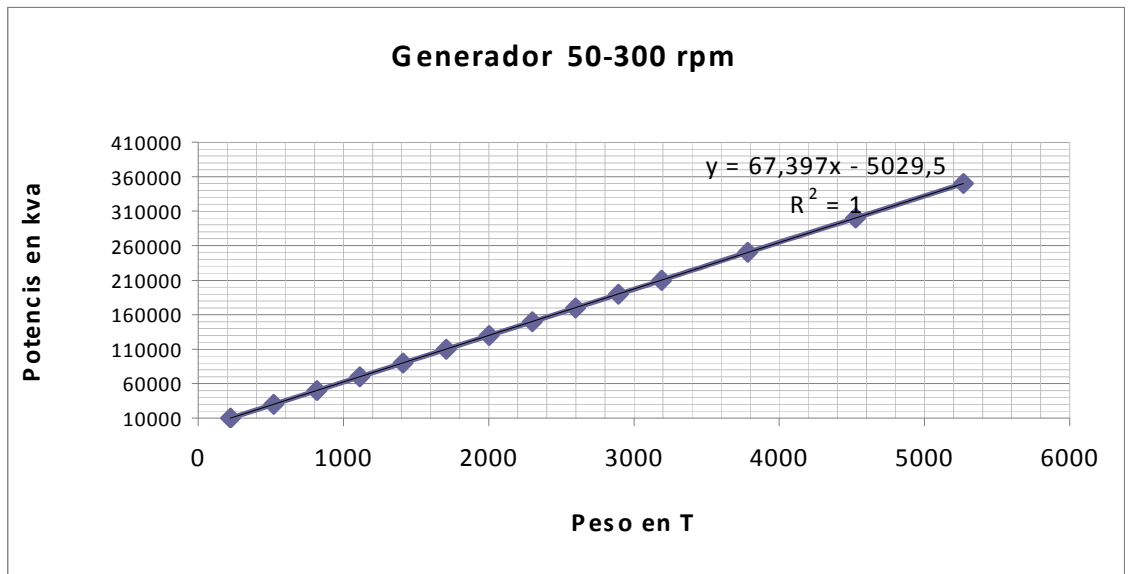
Donde:

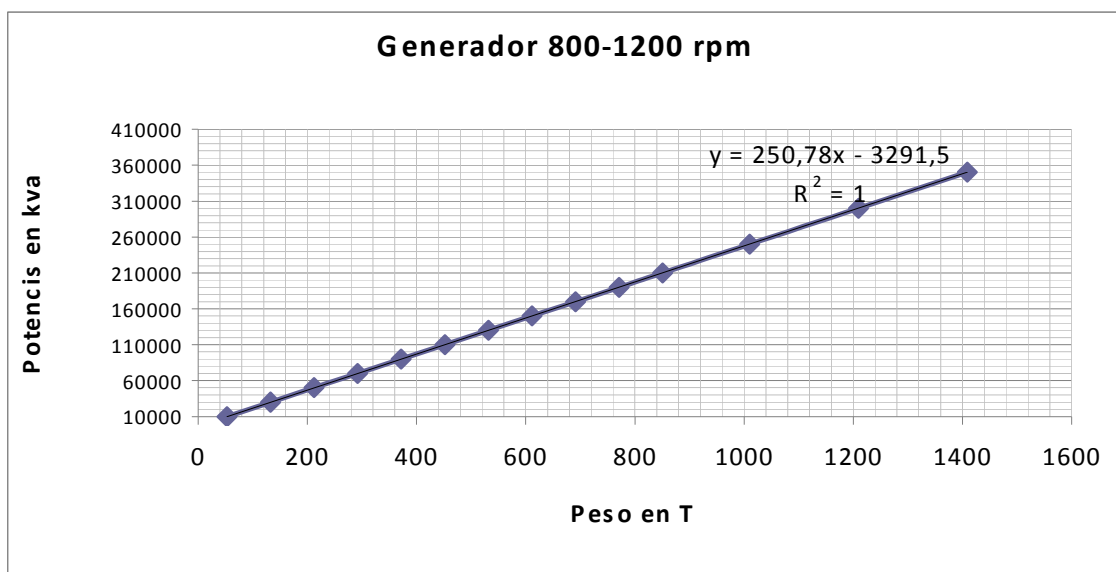
P(TG) Precio de transporte en US\$/unidad.

d (Km): kilómetros a transportar.

tn: Peso en toneladas de la máquina.

Para el cálculo del peso de los generadores ver los cuatro gráficos adjuntos, uno para cada rango de velocidad.





## **6. TRANSFORMADORES**

### **6.1. TRANSFORMADORES PRINCIPALES**

#### **6.1.1. Fabricación y montaje**

El cálculo del costo de los transformadores se obtiene de una fórmula en la cual se debe ingresar la potencia nominal, teniendo asumida una tensión secundaria determinada, obteniendo de esta forma el precio final en US\$ por unidad del mismo.

El costo unitario incluye la provisión y el montaje.

$$P(TXP) = K1 N + K2$$

Donde

P(TXP)= Precio del transformador en US\$/unidad a abril 2006.

N = Potencia nominal del transformador en MVA.

K1 Constante.

K2 constante.

Desarrollo: Se distinguen tres casos de acuerdo a la potencia nominal y a la tensión secundaria.

- a) Para una potencia N de  $10 < \text{MVA} \leq 50$ , se asume una tensión de 132 kV y la fórmula aplicada es:

$$P(\text{TXP}) = 9625 N + 288750$$

Donde US\$

P(TXP)= Precio del transformador en /unidad a abril 2006.

N = Potencia nominal del transformador en MVA.

- b) Para una potencia N de  $50 < \text{MVA} < 100$ , se asume una tensión de 220 kV y la fórmula aplicada es:

$$P(\text{TXP}) = 5500 N + 660.000$$

Donde

P(TXP)= Precio del transformador en US\$/unidad a abril 2006.

N = Potencia nominal del transformador en MVA.

- c) Para una potencia N de  $100 < \text{MVA} < 350$ , se asume una tensión de 500 kV y la fórmula aplicada es:

$$P(\text{TXP}) = 11.000 N + 1.100.000$$

Donde

P(TXP)= Precio de fabricación del transformador en US\$/unidad a abril 2.006.

N = Potencia nominal del transformador en MVA.

### **6.1.2. Transporte**

Para el cálculo del costo del transporte de los transformadores se recomienda

$$P(\text{TTXP}) = 0.487 \frac{\text{US\$}}{\text{txkm}} \times d(\text{km}) \times t_n(\text{t})$$

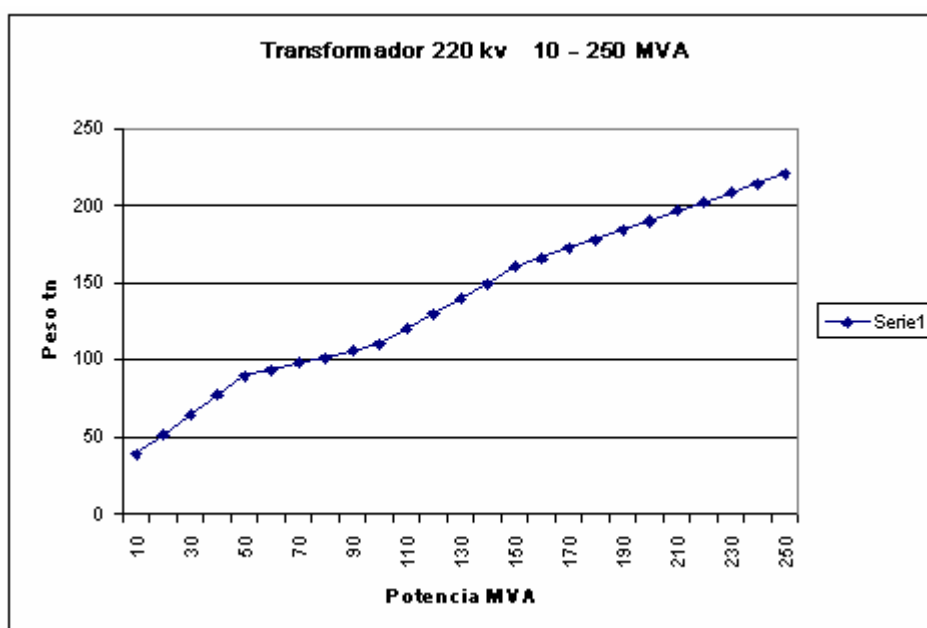
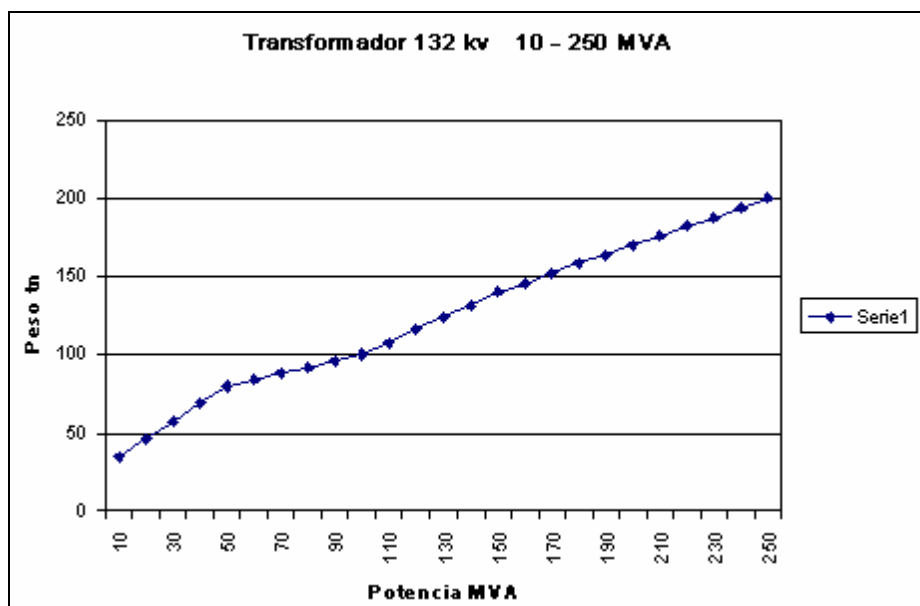
Donde

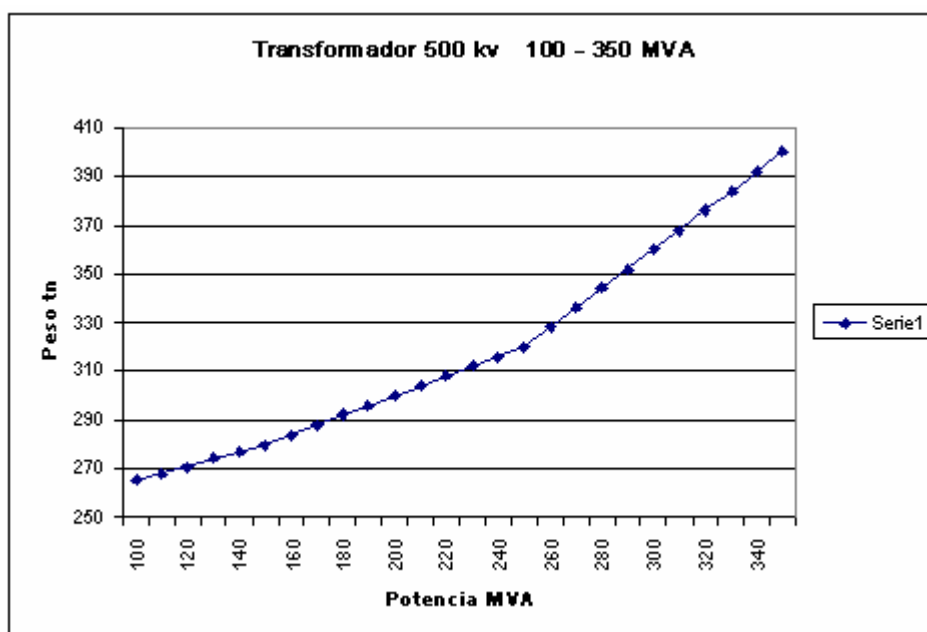
P(TTXP) Precio de transporte en US\$/unidad.

d (Km): Kilómetros a transportar.

tn: Peso en toneladas de la maquina.

Para el cálculo del peso de los transformadores ver los tres gráficos adjuntos, uno para cada tensión secundaria.





## **7. SERVICIOS ELÉCTRICOS AUXILIARES**

### **7.1. SERVICIOS ELÉCTRICOS AUXILIARES**

El costo del equipamiento para los servicios eléctricos auxiliares de la central se calcula en función de la capacidad en MW del generador.

El costo total de los servicios eléctricos auxiliares se calcula en base al costo correspondiente a la suma de todas las unidades generadoras (generadores + transformadores) y se recomienda adoptar el 15 % de dicho costo.

### **7.2. Tensión de servicios auxiliares 380 / 220 V**

Se incluye en esta cuenta a todo el equipamiento y accesorios de tensión 380/220 V, necesarios para la transformación y distribución de la energía en corriente alterna, y la conversión en corriente continua, para el funcionamiento de la central y la playa de maniobras, incluyendo también la generación de emergencia GDE.

También están incluidos en este punto la iluminación y fuerza motriz normal y de emergencia.

Este rubro abarca el 5% del rubro 7.1.

### **7.3. Tensión intermedia 3.300 o 6.600 / 380 / 220 V**

Se incluye en esta cuenta a todo el equipamiento y accesorios de tensión 3.300 ó 6.600 V, necesarios para la transformación y distribución de la energía en corriente alterna, con una tensión intermedia, y la conversión en corriente continua, para el funcionamiento de la central y la playa de maniobras, incluyendo también la generación de emergencia GDE.

También están incluidos en este punto la iluminación y fuerza motriz normal y de emergencia.

Este rubro abarca el 10% del rubro 7.1.

**8. SISTEMAS DE CONTROL, PROTECCIÓN, COMUNICACIÓN Y MEDICIÓN**

El costo de los equipamientos para los sistemas de control protección comunicación y medición se calcula en función de la capacidad en MW del generador.

El costo total de los equipos para los sistemas de control protección comunicación y medición se calcula en base al costo correspondiente a la suma de todas las unidades generadoras y se recomienda adoptar el 20 % de dicho costo.



## **9. PLAYA DE MANIOBRAS**

### **9.1. CONVENCIONAL (AISLADA EN AIRE)**

El cálculo del costo de la playa de maniobra se realiza por celdas.

El costo de la unidad incluye todo el equipamiento (interruptor, seccionadores, barras colectoras, instrumentos, transformadores de medición y cables), el transporte, la obra civil asociada y el montaje correspondiente.

Para 132 kV y un esquema de doble barras interruptor y medio el costo es:

Celda de transformación: US\$ 1.500.000 / unidad mas el costo del transformador.

Celda de medición: US\$ 700.000 / unidad.

Celda de salida de línea: US\$ 1.500.000 /unidad

Para 220 kV y un esquema de doble barras interruptor y medio el costo es:

Celda de transformación: US\$ 2.800.000 / unidad mas el costo del transformador.

Celda de medición: US\$ 1.300.000 / unidad.

Celda de salida de línea: US\$ 2.800.000 / unidad

Para 500 kV y un esquema de doble barras interruptor y medio el costo es:

Celda de transformación: US\$ 5.000.000 / unidad mas el costo del transformador.

Celda de medición: US\$ 2.500.000 / unidad.

Celda de salida de línea: US\$ 5.000.000 / unidad

### **9.2. AISLADA EN SF6**

El cálculo del costo de la playa de maniobra aislada en SF6 se realiza por celdas.

El costo de la unidad incluye todo el equipamiento (interruptor, seccionadores, barras colectoras, instrumentos, transformadores de medición y cables), el transporte, la obra civil asociada y el montaje correspondiente.

Para 132 kV y un esquema de doble barras interruptor y medio el costo es:

Celda de transformación: US\$ 4.500.000 / unidad mas el costo del transformador.

Celda de medición: US\$ 2.100.000 / unidad.

Celda de salida de línea: US\$ 4.500.000 / unidad

Para 220 kV y un esquema de doble barras interruptor y medio el costo es:

Celda de transformación: US\$ 8.400.000 / unidad mas el costo del transformador.

Celda de medición: US\$ 3.900.000 / unidad.

Celda de salida de línea: US\$ 8.400.000 / unidad

Para 500 kV y un esquema de doble barras interruptor y medio el costo es:

Celda de transformación: US\$ 15.000.000 / unidad mas el costo del transformador.

Celda de medición: US\$ 7.500.000 / unidad.

Celda de salida de línea: US\$ 15.000.000 / unidad

## **10. CONDUCCIÓN FORZADA**

### **a. Descripción**

El presente rubro se refiere al cálculo del costo correspondiente a la tubería forzada -a veces también denominada tubería a presión-- fabricada en acero, desde su inicio en la chimenea de equilibrio hasta la brida de la válvula de acceso a las turbinas en la central.

### **b. Nomenclatura**

Se establecieron fórmulas matemáticas en función de los siguientes parámetros:

H = Carga hidráulica en cada tramo en m.

D = Diámetro de la conducción en m

L = Longitud de la conducción (descontando la longitud de piezas especiales) en m

Le = Longitud equivalente de piezas especiales en m

$\gamma$  = Peso específico del agua.

$\sigma$  = Tensión admisible para el acero seleccionado en Kg/cm<sup>2</sup>

$\gamma_{ac}$  = Peso específico del acero.

e = Espesor de la chapa de acero

W = Peso de la tubería por metro lineal.

Los elementos que integran la conducción forzada contemplan para cada uno de ellos la discriminación de sus costos en:

- Fabricación
- Transporte
- Montaje

### **c. Medición**

La medición se realiza por unidad de longitud (m).

En el plan de Cuentas se ha previsto la posibilidad de ingresar tres tramos de conducto de diferentes diámetros y longitudes denominados Tramo I, Tramo II y Tramo III.

## **10.1. TUBERÍA DE ACERO**

Comprende la tubería recta sin considerar las piezas especiales.

La estimación del peso se efectúa de acuerdo al siguiente procedimiento:

$$e = \gamma \frac{H.D}{2\sigma}$$

$$W = k.\gamma_{ac}.e.\pi.D$$

Donde K es un coeficiente que tiene en cuenta el incremento de peso debido a la necesidad de anillos de refuerzo.

Si  $e/D < 0,004$   $k = 1,05$

Si  $e/D > 0,004$   $k = 1,00$

La tensión admisible (sigma adm) depende del tipo de acero seleccionado.

Para proceder al costeo de las tuberías se adoptó como criterio separar el diseño de las mismas en función del rango del valor HD (en m<sup>2</sup>), o sea el valor dado por el producto de la altura de presión (en m), por el diámetro de la misma (también en m).

Este producto ha evolucionado desde el año 1970 en forma pronunciada y permite de manera general adoptar una correspondencia entre cuatro tipos de acero de acuerdo con su tensión admisible, y el rango de HD correspondiente:

Entre 0 y 1.000 m <sup>2</sup> se adopta el acero con tensión admisible de	1.200 kg/cm <sup>2</sup>
Entre 1.000 y 3.000 m <sup>2</sup> se toma el acero con sigma	1.800 kg/cm <sup>2</sup>
Entre 3.000 y 6.000 m <sup>2</sup> se toma el acero con sigma	2.400 kg/cm <sup>2</sup>
Entre 6.000 y 10.000 m <sup>2</sup> se toma el acero con sigma	3.000 kg/cm <sup>2</sup>

Asociados a estos aceros se calcularán los respectivos espesores, pesos y costos de provisión, transporte y los distintos ítems de la fabricación in situ de la tubería.

### 10.1.1. Fabricación

Costo por unidad de medida:

$$\$ = [C_0 W K_r + (C_r \Sigma C_{gi} + \pi C_{gp}) \times D] \times K$$

Donde K<sub>r</sub> y C<sub>r</sub> son coeficientes de rango que toman los siguientes valores:

Rango	1200	1800	2400	3000
K <sub>r</sub>	1	1,1	1,2	1,3

$C_r$                       3                      6                      9                      12

y los coeficientes generales son (en US\$/m):

$C_o$  = Costo unitario chapa de acero (Código 49 de la Planilla de Materiales)

$C_{g1}$  = 50 (Corte y Perfilado)

$C_{g2}$  = 50 (Rolado)

$C_{g3}$  = 150 (Soldadura)

$C_{gp}$  = 100 (Pintura)

$k$  = coeficiente de subcontrato = 1,45

### **10.1.2. Transporte**

Transporte terrestre sin considerar origen y destino (para una distancia media de 300 km) por unidad de medida.

$$\text{\$} = 100 W k$$

[W] = toneladas

### **10.1.3. Montaje**

$$\text{\$} = 250 W k \text{ (por unidad de medida)}$$

[W] = toneladas

## **10.2. PIEZAS ESPECIALES**

Las piezas especiales se costean a través de una longitud equivalente. El costo unitario se obtiene del mismo modo que la tubería propiamente dicha de igual diámetro, multiplicado por un coeficiente de complejidad que de acuerdo a los estudios realizados se adoptó igual a 1,44 para las siguientes piezas especiales estándar: reducción, curvas, bifurcación, trifurcación, etc. La longitud equivalente se calcula como (ver figura pagina 134):

$$L_e = 1,44 \sum \frac{L_i D_i}{D}$$

Donde:

$L_i$  = Longitud de tramos de diámetro  $D_i$

$D$  = Diámetro de la tubería principal.

En el caso de juntas de expansión y apoyos deslizables longitudinales el coeficiente de complejidad es 3 y 2 respectivamente por lo cual las longitudes equivalentes se expresan como:

i) Unión y junta de expansión

$$Le = 3 \times 0,2 D = 0,6 D$$

ii) Apoyos deslizables

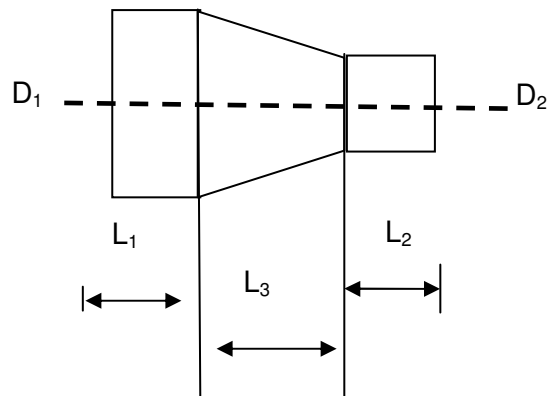
$$Le = L/15$$

Lo cual incluye el número total de apoyos ( $L/3D$ ) y el largo equivalente de cada apoyo ( $D/10$ )

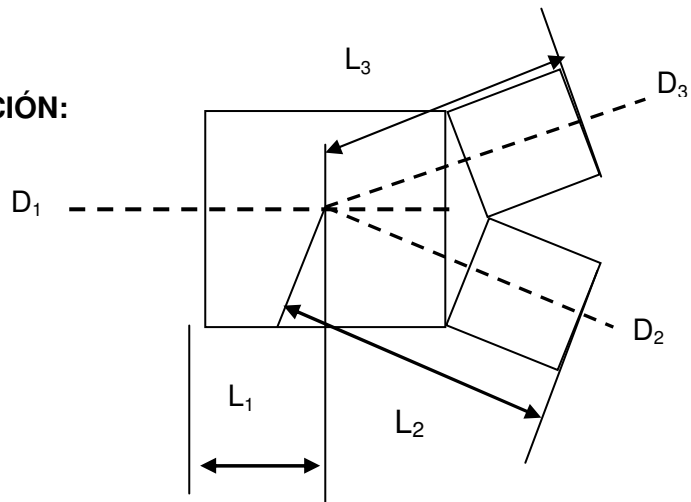
El costo de transporte y montaje se calcula del mismo modo que para la tubería principal.

PIEZAS ESPECIALES

**REDUCCIÓN:**



**BIFURCACIÓN:**



**TRIFURCACIÓN:**

