

" P R O Y E C T O O T A V A L O "

" TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE IN-
GENIERO EN LA ESPECIALIZACION DE ELECTROTECNIA,
DE LA ESCUELA POLITECNICA NACIONAL "

JAIME MURGUEYTIO STACEY

Quito, Marzo de 1.957

Desde el descubrimiento de la Electrotecnia, el hombre, a tratado siempre de perfeccionarse dentro de este tema, ya que, la gran utilidad que presenta esta en todos los campos sea Industrial, Domestico, etc, es de mucha importancia. Esta circunstancia hace que el mundo entero, aproveche todos los recursos que la naturaleza nos ofrece, para instalar más y más las plantas generadoras de esta importante energía.

En el Ecuador este interés es más grande aún debido a que nos encontramos retrasados en comparación con otros países y por consiguiente de las ventajas que esta nos proporciona; no solamente esta es una causa poderosa para estar obligados a instalar en mayor número estas plantas generadoras, sino que, la necesidad misma es la que nos obliga, para poder adelantar tanto cultural como económicamente. Esta es pues mi idea y al desarrollar el presente trabajo aún que sea pequeño y tal vez un tanto mal realizado, trato de introducir una nueva mejora para el país, ya que si es una mejora para cualquier Ciudad ecuatoriana, considero como una mejora para todo el país. Así es como la Ciudad de Otavalo es la que aprovechará en esta oportunidad, la energía a producirse en la instalación estudiada en esta tesis.

Para una mejor comprensión, el presente trabajo lo he dividido en tres partes o mejor tres Capítulos

Estos comprenden lo siguiente:

Capítulo I

En este, efectúo todos los cálculos que consier-
nen a la parte Hidráulica desde la Bocatoma hasta la Casa de
Máquinas; incluyendose en este, todos los demás calculos inter-
medios como desarenador, canal (túnel), compuertas, tubería, etc,
obras que servirán para el funcionamiento de la Instalación.

Capítulo II

Trata este del cálculo de la línea de trans-
misión o sea el transporte de la energía eléctrica através
de conductores, para luego ser aprovechada por los consumi-
dores para sus necesidades.

Capítulo III

En este último deduzco el precio de costo de
la obra, con precios proporcionados por varias casas comercia-
les.

Acompaño a todos estos cálculos numéricos,
planos y dibujos demostrativos que considero necesarios pa-
ra este caso.

CALCULO DEL CANAL.-

Dada la Topografía que presenta el terreno en el tramo disponible del Río Ambi para realizar la construcción de la Planta Hidro-Electrica, para la Ciudad de Otavalo, no se puede realizar la obra en canal abierto sino en toda su extensión túnel. Para efectuar el cálculo de éste, parto de los datos siguientes:

Caudal $Q = 1,76 \text{ m}^3/\text{seg.}$

Base = 1,50 m

Altura del Agua = 1,3 m

Radio del Arco un valor igual a la mitad de la base 0,75 m

Sección S .- La sección que adopto es la rectangular

$S = \text{Base} \times \text{Altura}$

$$S = 1,50 \times 1,30 = 1,95 \text{ m}^2$$

Perímetro Mojado P .- Es la suma de los tres lados del rectángulo

$$P = 1,50 \text{ m} + 2 \times 1,30 \text{ m} = 4,10 \text{ m.}$$

Radio Hidráulico .- Siendo R y es la relación de la sección para el Perímetro mojado.

$$R = \frac{S}{P} = \frac{1,95 \text{ m}}{4,10 \text{ m}} = 0,475$$

Como todo el túnel irá revestido de Mampostería y piedra. La bóveda va revestida en forma de anillos o sea que la tercera parte de toda su longitud estará revestida.

Para esta clase de revestimiento el Autor Bazin da el siguiente valor del coeficiente de rugosidad $g = 0,46$

Según el Mismo autor para $g=0,46$ y radio hidráulico 0,475 nos da un valor de $C = 52,2$

Siendo la pendiente del canal del 0.7%

$co = 0,475$, nos da un valor para $C = 52,2$

La Velocidad del Agua en el Canal V. -

Viene dada por la formula de la continuidad :

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{1,76}{1,95} = 0,905 \text{ m/s}$$

Con esta velocidad calculamos la pendiente :

$$I = \frac{V^2}{C^2 \cdot R} = \frac{0,905^2}{52,2^2 \cdot 0,475} = 0,635 \%$$

Esta velocidad de 0,905 m./s. no va a causar daños en el canal por erosión ni tampoco da lugar a sedimentación, por cuanto ésta es superior a la velocidad crítica de sedimentación.

He llegado a ésta sección de canal después de haber efectuado otras pruebas de cálculo para otras secciones.

En el plano 03 se pueden ver mas detalles acerca de la sección anteriormente calculada.

DISTANCIA ENTRE ALIVIADEROS EN EL CANAL.-

En construcciones Hidráulicas, como es un canal de conducción de agua, deben protegerse para evitar daños especialmente con aumentos de caudal. Tal protección se consigue con la construcción de los llamados aliviaderos; estos van a determinada distancia a fin de evacuar todo el exceso de agua. Para determinar la distancia entre éstos, en el presente proyecto, me valgo de la fórmula siguiente:

$$\text{Distancia entre aliviaderos } d = \frac{h}{I}$$

siendo:

h = flanco siendo este la distancia entre el nivel libre del agua y el nivel superior del vertedero. $h = 0,20 \text{ m}$

I = Pendiente del canal para este caso $0,63\%$

$$d = \frac{0,20 \text{ m}}{0,000635} = 315 \text{ mts.}$$

O sea que cada 315 m debe ponerse un aliviadero para que el funcionamiento de dicho canal sea un éxito.

CALCULO DEL DESARENADOR .-

Las características del terreno me permiten tomar como ancho de esta obra 5 mts; las características de éste son las siguientes:

La sección que adopto es la Trapezoidal, la misma que tendrá como Base mayor 4,6 m o sea la base superior y, como base inferior, un ancho de 4 m.

Altura del agua 1,2 m.

Es de explicarse también que la calidad del agua

del río es buena, en vista que aguas arriba del mismo existe otra Planta hidro-eléctrica por consiguiente no existirá material de acarreo en abundancia.

Sección del desarenador S .-

La sección de un trapecio es $S = \frac{\text{Base mayor} + \text{Base menor}}{2} \times \text{Altura}$

Para este caso:

$$S = \frac{4,6 \text{ m} + 4 \text{ m}}{2} \times 1,2 \text{ m} = 5,15 \text{ m}^2$$

Velocidad del agua en el desarenador V .-

$$V = \frac{Q}{S}$$

siendo:

Q = Caudal m³/seg.

S = sección m²

$$V = \frac{1,76 \text{ m}^3/\text{seg}}{5,15 \text{ m}^2} = 0,340 \text{ m/seg.}$$

Si se considera que la arena plástica necesita una velocidad de cimentación de 0,04 m/seg esto, según Saltos Presas y Embalses por Gómez Navarro, esto para una partícula de arena de 0,1 de mm de Volumen.

Para determinar la Longitud del desarenador se valgo de la relación:

$$\frac{V}{V_a} = \frac{L}{h}$$

Siendo:

V = Velocidad del agua en el desarenador.

V_a = Velocidad de sedimentación de la arena.

L = Longitud del Desarenador.

h = altura del agua.

reemplazando valores en esta formula:

$$\frac{0,34 \text{ m/seg.}}{0,04 \text{ m/seg}} = \frac{L}{1,2 \text{ m}}$$

resolviendo obtengo el valor de $L \approx 11$ mts. (ver Plano 61 adjunto).

CALCULO DE LA PRESA O DEL AZUD .-

Para efectuar el cálculo de esta parto de las condiciones siguientes:

- a - La altura del azud se determina a partir del caudal mínimo o sea con el caudal en estiaje.
- b - El perfil del mismo de acuerdo con el caudal máximo o el de crecida.

La naturaleza del suelo me permite tomar un coeficiente de rugosidad $g = 1,3$, según Bazin, ya que el suelo del río presenta grava con fondo pedregoso pero limpio.

Asi mismo, de datos obtenidos en la región, ya que precisos no los he podido obtener por no existir estudios realizados en este río la altura del agua, en estiaje, es de 0,5 mts y en crecida, alcanza hasta 1,2 mts; esto, repito, por informaciones suministradas por los pobladores de esa región.

El ancho del cauze, en el sitio que proyecto efectuar la toma, es de 6,4 mts.; a este ancho debe disminuir 0,7 mts ya que en el proyecto construyo una compuerta de este ancho con el objeto de efectuar la limpia en caso de ser necesario.

Primeramente efectúo los cálculos en estiaje así:

$$\text{Caudal en estiaje. } Q = S \times V$$

siendo Q el caudal,

S la sección del cauze tomando en cuenta sólo en el ancho de la pre-

sa.

$$S = \text{Sección del cause} = 0,50 \text{ m} \times 5,7 \text{ m} = 2,85 \text{ m}^2$$

Cálculo del Perímetro Mojado P .-

$$P = 2 \times 0,50 \text{ m} + 5,7 \text{ m} = 6,7 \text{ m}.$$

Cálculo del Radio Hidráulico R .-

$$R = \frac{S}{P} = \frac{\text{Sección}}{\text{Peri. Mojado}} = \frac{2,85 \text{ m}^2}{6,70 \text{ m}} = 0,425 \text{ m}.$$

Según Bazín, para un coeficiente de rugosidad $g = 1,3$ y un Radio Hidráulico de $0,425$ nos da un coeficiente $C = 29,00$

La pendiente del río en este sitio es del 3‰

Cálculo de la Velocidad del Agua en el Río V .-

Parto de la fórmula :

$$V = C \sqrt{R \times I}$$

siendo:

C = coeficiente de Bazín dado el radio hidráulico y el de rugosidad.

R = Radio Hidráulico.

I = Pendiente del Río

Reemplazando los valores antes obtenidos en esta fórmula:

$$V = 29 \sqrt{0,425 \times 0,003} = 29 \times 0,0355 = 1,04 \text{ m/seg.}$$

Con esta velocidad de $1,04 \text{ m/seg}$ y la sección antes hallada de $2,85 \text{ m}^2$ determino el caudal en estiaje.

Caudal en estiaje:

$$Q = V \times S = 1,04 \text{ m/seg} \times 2,85 \text{ m}^2 = 2,95 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

En la misma forma que he calculado el caudal en estiaje, paso inmediatamente al cálculo del caudal en crecida, para lo cual primero determino la sección del cause con la nueva altura del agua en el río.

Caudal en Crecida Q .-

Sección del cause .-

$$S = 1,2 \text{ m} \times 5,7 \text{ m} = 6,82 \text{ m}^2$$

Perímetro Mojado P .-

$$P = 2 \times 1,2 \text{ m} + 5,7 \text{ m} = 8,10 \text{ m}$$

Radio Hidráulico R .-

$$R = \frac{\text{Sección}}{\text{Perímetro Mojado}} = \frac{6,82 \text{ m}^2}{8,10 \text{ m}} = 0,842 \text{ m}$$

Para este Radio Hidráulico de 0,842 y un coeficiente de rugosidad $g = 1,3$ Bazin nos da un valor para $C = 36,1$
Con estos valores determino la Velocidad del Agua en máxima crecida.

Cálculo de la Velocidad V .-

$$V = C \sqrt{R \times I}$$

Uso la misma fórmula anterior y su misma nomenclatura.

$$V = 36,1 \sqrt{0,842 \times 0,003} = 36,1 \times 0,05 = 1,805 \text{ m/seg.}$$

Cálculo del Caudal Q .-

$$Q = V \times S = 1,805 \text{ m/seg} \times 6,82 \text{ m}^2 = 12,25 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

Cálculo del Espesor de la Vena Líquida .-

Como es natural, tanto en estiaje como en crecida, existirá un caudal que se derrame por encima del azud ya que una parte del mismo se aprovecha para el funcionamiento de la obra.

El caudal que se derrama en estiaje es:

$$2,95 \text{ m}^3/\text{seg} - 1,76 \text{ m}^3/\text{seg} = 1,19 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

2,95 m³/seg es el caudal del río en estiaje

1,76 m³/seg es el caudal que se va a aprovechar en la instalación

Según la Obra Saltos Presas y Embalses, por Gómez

Navarro, nos da la siguiente fórmula para el caudal:

$$Q = m \cdot L \cdot H \sqrt{H \cdot 2 \text{ Gr.}}$$

siendo:

Q = Caudal en m³/seg.

L = Ancho del cause en mts.

m = $\frac{3}{4}$. u

u = Coeficiente que para el caso vale 0,62.

Gr = Gravedad 10 m/seg²

H = Espesor de la lámina líquida.

La incógnita en este caso es H, que reemplazando los valores y despejando ésta se obtiene:

$$1,19 \text{ m}^3/\text{seg} = \frac{3}{4} \times 0,62 \times 5,7 \text{ m} \times H \sqrt{20 \times H}$$

$$H^3 = \frac{0,45^2}{20 \text{ m}/\text{seg}^2} = 0,0100$$

$$H = 0,215$$

CALCULO DE LA ALTURA DE REMANZO Z .-

El boquete tiene las siguientes dimensiones:

Ancho 2 metros.

Alto 1,0 metros.

se encuentra a una altura del nivel del agua en estiaje de 0,3 mts.

la profundidad del agua es de 0,5 mts

la altura del remanzo vale:

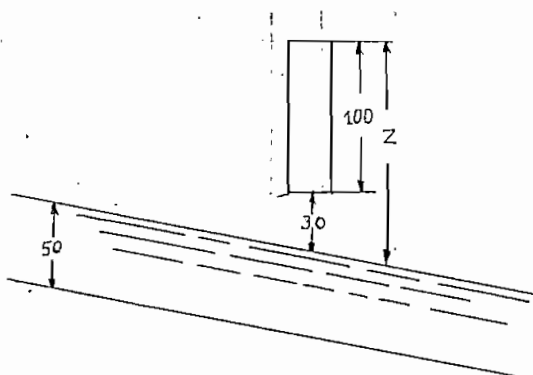
$$Z = 0,8 \text{ m} + 1 \text{ m} - 0,5 \text{ m} = 1,30 \text{ mts.}$$

Altura del Azud A .-

Esta dada por:

$$A = Z' + h_o - H$$

Z = altura del remanzo



ho = altura del agua en el río

H = Espesor de la Vena Líquida.

Reemplazando Valores:

$$A = 1,30 + 0,50 - 0,283 = 1,52 \text{ mts.}$$

En Máxima Crecida .-

El nivel del río, en máxima crecida, alcanza una altura de 1,2 mts y anteriormente fue determinado su caudal y era el de 12,25 m³/seg.

En la fórmula usada para el caso de estiaje el factor variable en este caso es el caudal por consiguiente:

$$Q = m \cdot L \cdot H \sqrt{2 \cdot Gr \cdot H}$$

Esta fórmula es la misma anterior ya explicada, tanto su nomenclatura como sus valores, reemplazando los consiguientes datos para determinar el espesor de la Vena Líquida:

$$10,49 \text{ m}^3/\text{seg} = \frac{3}{4} \cdot 0,62 \times 5,7 \times H \sqrt{20 \times H}$$

$$H = 0,945 \text{ mts.}$$

Conocida la altura del azud 1,52 mts paso a determinar la altura del Remanzo Z:

$$Z = A - ho + H$$

$$Z = 1,52 - 1,2 + 0,945 = 1,265 \text{ mts}$$

Perfil del Azud .-

El Ingeniero Vittorio Baggi en su obra Construcciones Hidráulicas da la siguiente tabla para determinar el perfil del Azud:

ho/Ho	bo/Ho	bl/Ho	a/Ho	r ₁ /Ho
0,425	0,308	0,832	0,102	0,127

Ho constituye la altura de carga y vale:

$$H_o = h_o + A + \frac{U_o^2}{g} - \frac{A}{2}$$

h_o = altura del agua en el río en crecida m

U_o = Velocidad del agua en el río m/seg

g = aceleración de la gravedad. m/seg²

$$H_o = 1,2 + 1,52 + \frac{1,805^2}{10} - \frac{1,52}{2}$$

$$H_o = 2,29 \text{ mts.}$$

Con este valor de H_o paso a determinar los demás elementos constituyentes del azud.

$$b_o = 0,308 \times 2,29 = 0,72 \text{ m}$$

$$b_1 = 0,832 \times 2,29 = 1,92 \text{ m}$$

$$a = 0,102 \times 2,29 = 0,235 \text{ m}$$

$$r_1 = 0,127 \times 2,29 = 0,264 \text{ m}$$

El mismo autor da las siguientes características para los elementos siguientes del azud.

$$L_1 = 0,3 \times H_o = 0,3 \times 2,29 = 0,69 \text{ m}$$

$$L_2 = 2 \times H_o = 2 \times 2,29 = 4,6 \text{ m}$$

$$S_1 = 0,2 \times H_o = 0,2 \times 2,29 = 0,46 \text{ m}$$

$$S_2 = 0,25 \times H_o = 0,25 \times 2,29 = 0,58 \text{ m}$$

6 En el Plano 08 está la demostración y significado de cada una de las letras arriba mencionado para el perfil del azud. A su vez éste indica el perfil que se ha obtenido de acuerdo con las condiciones establecidas por el autor antes mencionado.

Cálculo Estático del Azud .-

Hay que comprobar si el perfil encontrado cumplirá con las condiciones que requieren para su perfecto funcionamiento.

Peso del Azud.-

Considero La sección más pesada del azud, a esta la podemos dividirla en dos secciones: una trapezoidal A B C D y otra rectangular C D Q R

La sección trapezoidal:

siendo la base mayor 1,94 m y base menor 0,74 la altura del mismo 1,52 m.

$$S = \frac{1,94 \text{ m} + 0,74}{2} \times 1,52 \text{ m} = 2,05 \text{ m}^2$$

Sección del rectángulo: base 1,94 altura 0,46 m.

$$S = 1,94 \times 0,46 \text{ m} = 0,892 \text{ m}^2$$

La sección total la suma de estas dos parciales:

$$S \text{ total} = 2,05 + 0,892 = 2,95 \text{ m}^2$$

Siendo el Peso Específico del Hormigón 2.250 K/m³

Considerando solo un metro lineal del azud su peso:

Peso .-

$$P = 2,95 \text{ m}^2 \times 2.250 \text{ K/m}^3 = 6.650 \text{ k/m.}$$

La subpresión .-

El terreno en donde se va a realizar la construcción de la presa es impermeable, la subpresión adoptará la forma triangular y estará dada por la fórmula:

$$W_s = L \times H/2$$

siendo:

L = largo del azud en mts.

H = altura de carga en mts.

reemplazando valores:

$$W_s = \frac{4,6 \text{ mts} \times 2,29 \text{ mts}}{2} = 5,2 \text{ ton.}$$

CALCULO DEL EMPUJE DEL AGUA EN EL FRENTE DEL AZUD, E .-

$$E = g \cdot S \cdot H$$

siendo:

g = para el agua 1.000 k/m

S = sección del frente del azud por metro lineal de ancho.

H = altura de carga m

$$S = 1,52 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 1,52 \text{ m}^2$$

$$E = 2,29 \text{ m} \times 1,52 \text{ m}^2 \times 1.000 = 3.500 \text{ k}$$

Primera condición de Estabilidad .-

Al Volcamiento:

Para cumplirse esta condición el Peso por su brazo debe ser mayor que el Empuje por su brazo.

$$\text{Momento } P.b_1 > E.b_2$$

Del gráfico he tomado los brazos así:

$$b_1 = 0,81 \text{ m} ; \quad b_2 = 0,82 \text{ m}$$

$$M \ 6.650 \text{ k} \times 0,81 > M \ 3.500 \text{ k} \times 0,82$$

$$5.400 > 2.860$$

El resultado nos indica que se cumple esta primera condición y, además, haciendo la composición de las fuerzas, tanto el peso como el empuje, la resultante cae en el tercio medio de la base esto se puede ver en el plano 0,8

Segunda Condición .-

Aplastamiento:

Los manuales aconsejan que el terreno puede soportar hasta $4 \text{ k} / \text{cm}^2$. como máximo

Para esta condición a más de soportar el suelo el peso del azud gravita sobre este también el peso de la columna de

agua que gravita sobre el azud; tendrá ésta un valor:

$$P_1 = \frac{\text{base} \times \text{altura}}{2} \times \text{peso específico del agua.}$$

como base tiene una longitud de 1,8 mts

altura será $2,29 - 1,52 \text{ m} = 0,77 \text{ m}$

$$P_1 = \frac{1,80 \text{ m} \times 0,77 \text{ m}}{2} \times 1.000 = 690 \text{ k}$$

Peso del azud + peso del agua = $6.650 \text{ k} + 690 \text{ k} = 7,340 \text{ k}$.

La presión que ejerse sobre el suelo vale:

$$P = \frac{7.340 \text{ k}}{1,92 \text{ m}^2} = \frac{\text{peso total}}{\text{Sección base}} = 3.800 \text{ k /m}^2 = 0,38 \text{ k/cm}^2$$

Este valor de $0,38 \text{ k/cm}^2$ está dentro de lo aceptable o sea que se cumple también esta condición ;en segundo lugar, la subpresión es ventajosa para este caso y no la tomo en cuenta por ser lo más desfavorable.

Tercera condición .-

Deslizamiento .-

El azud tiende a deslizarse sobre su base; si no existen fuerzas que las detengan este deslizamiento debe contrarrestarlo el peso del azud. Según el autor Gómez Navarro, en su obra Saltes presas y embalses, nos indica que el coeficiente de rozamiento no debe ser menor a 0,75 y, para que cumpla con esta condición en las enseñanzas del Sr. Ternel Gándara, proporciona la siguiente fórmula al respecto:

$$f \cdot P = 2 \cdot E$$

siendo: f = coeficiente de rozamiento con un valor mínimo de 0,75

P = peso del azud y E empuje que efectúan las aguas sobre el frente del mismo. Reemplazando los respectivos valores:

$$f = \frac{2 \times 3.500 \text{ k}}{6.650 \text{ k}} = 1,07$$

O sea que se cumple también esta tercera condición.

Valor de la Resultante .-

$$R = \sqrt{P^2 + E^2}$$

$$R = \sqrt{6.650^2 + 3.500^2} \text{ k}$$

$$R = 7.700 \text{ k.}$$

$$\text{Tg } a = \frac{3.500}{6.650} = 0,525$$

$$a = 27^\circ 42'.$$

Cálculo de la Tubería .-

Para efectuar estos cálculos, tengo los datos siguientes:

Salto 33 m H

Caudal 1,76 m³/seg Q

Longitud de la Tubería 75 m L

Velocidad del agua en la Tubería .-

Según el Diagrama de J M Voith, en Saltos Presas y Embalses por Gómez Navarro, nos proporciona las Velocidades que el agua debe tener en éstas valiéndonos de las relaciones L/H y de Q.H o sea la longitud de la tubería para la altura y el Caudal por la altura.

$$L/H = 75 \text{ m} / 33 \text{ m} = 2,38$$

$$Q.H = 1,76 \text{ m}^3/\text{seg} \times 33 \text{ m} = 58$$

Con estos valores paso a las curvas y obtengo que el valor de la Velocidad debe ser de 2,35 m/seg

$$\text{Velocidad} = 2,35 \text{ m/seg.}$$

Cálculo de la Sección .-

$$\text{Viene dada por } S = Q/V$$

$$\text{Sección } S = 1,76 \text{ m}^3/\text{seg} / 2,35 \text{ m/seg} = 0,77 \text{ m}^2$$

$$S = 0,77 \text{ m}^2$$

El Diámetro .-

$$S = \frac{3,14 \times D^2}{4}$$

Siendo la incógnita el diámetro:

$$D^2 = \frac{4 \times 0,77 \text{ m}^2}{3,14} = 0,98 \text{ m}$$

$$D = 0,99 \text{ m.}$$

Para determinar el espesor de la tubería, necesito primero conocer la clase de turbina a instalarse, para lo cual realizo los siguientes cálculos:

Potencia a instalarse.-

$$N = \frac{1.000 \times Q \times H}{75} \cdot n$$

Q = caudal en m³/seg.

H = salto disponible en metros.

n = rendimiento al eje de la turbina.

N = potencia en HP

Reemplazando valores tenemos que:

$$N = \frac{1.000 \times 1.76 \text{ m}^3/\text{seg} \times 33 \text{ m}}{75} \times 0.79$$

$$N = 618 \text{ HP}$$

Cálculo de la Velocidad específica de la Turbina.-

$$n_s = \frac{n_1 \times \sqrt{N}}{H \times \sqrt[4]{H}}$$

siendo:

n₁ = número de revoluciones por minuto

N = potencia en HP

H = salto

n_s = velocidad específica.

Haciendo varios ensayos con valores diferentes de n₁ o sea el número de revoluciones por minuto, llego a la solución más ventajosa que esta en el límite de las turbinas normales. Efectuando los cálculos del n_s con un valor de n₁ de 720 RPM, obtenemos el siguiente resultado:

$$n_s = \frac{720 \text{ R.P.M.} \times \sqrt{618}}{33 \text{ m} \times \sqrt[4]{33 \text{ m}}} = 230$$

$$n_s = 230$$

Esta n_s corresponde a una turbina Francis normal; en el siguiente cuadro explico las especificaciones para turbinas Francis.

Francis lentas	n_s entre 50 y 120	
" Normales	120	240
" Rápidas	240	350
" Extra rápidas	350	500

El diámetro del roñete de la turbina escogida prácticamente, tiene el mismo valor tanto en la entrada como en la salida.

Potencia a la salida.- Para el cálculo de ésta debemos considerar el rendimiento del generador y del transformador a mas del rendimiento anteriormente anotado.

Rendimiento del generador y transformador = 0,70

$$\text{Potencia} = N = \frac{Q \cdot H}{75} \times 0,70 = 538 \text{ HP}$$

Que es igual a 400 Kw

Una vez determinada la clase de turbina a instalarse reinicio el cálculo de la tubería. Sabemos que 10 m de altura de agua corresponde a 1 kg/cm² de presión.

Para turbina Francis el incremento de presión por el golpe de ariete que debo tomar es del 40 %

$$\text{Presión total} = P \text{ estática} + P \text{ dinámica} = 3,3 + 1,32 =$$

$$\text{Presión total} = 4,62 \text{ kg./cm}^2$$

Espesor de la tubería.- Para éste cálculo nos servimos de la siguiente formula.

$$e = \frac{P \cdot D}{2 \cdot K}$$

P = presión total en kg/cm²

Espesor de la Tubería e .-

Le calculo valiéndome de la fórmula:

$$P = \frac{2 \times K \times e}{D}$$

P = Presión en K/cm²

K = coeficiente de fatiga del acero 800 k/cm²

D = Diámetro de la tubería en mm

e = espesor de la misma en mm

Con los datos anteriores determino el espesor:

$$e = \frac{990 \text{ mm} \times 4,62 \text{ k/cm}^2}{2 \times 800 \text{ k/cm}^2} = 3 \text{ mm}$$

como hay que aumentar 1 mm por oxidación será de 4 mm.

El espesor mínimo de la tubería debe ser de 5mm debido a que se pueden producir choques exteriores, especialmente al transporte, por esta razón esta tubería debería tener 5 mm de espesor.

Determinación del Diámetro Económico .-

Para caídas menores de 100 m, como es mi caso, se aplica la fórmula:

$$\text{Diámetro económico } d = \sqrt{0,05 \times Q^3}$$

0,05 es una constante

Q el caudal en m³/seg.

$$d = \sqrt{0,05 \times 1,76^3 \text{ m}^3/\text{seg}} = 0,525 \text{ mts.}$$

Este diámetro económico resulta muy desventajoso técnicamente por producir grandes pérdidas y, por consiguiente, disminución de la potencia. Si bien es cierto el diámetro 0,99 m el práctico en grande que económicamente implica un gasto mayor, por esta razón escojo un diámetro menor que el práctico y mayor que el econó-

mico; sea pues el ideal, para mi concepto, de 80 cm.

Sección de la Tubería con 80 cm de Diámetro S .-

$$S = \frac{3,14 \times D^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,8^2}{4} = 0,52 \text{ m}^2$$

Velocidad del Agua en esta Tubería V .-

Viene dada por:

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Caudal m}^3/\text{seg}}{\text{Sección m}^2}$$

$$V = \frac{1,76 \text{ m}^3/\text{seg}}{0,52 \text{ m}^2} = 3,4 \text{ m/seg}$$

Velocidad 3,4 m/seg.

Espesor de la Tubería e .-

Con la fórmula anterior mencionada:

$$e = \frac{P \times D}{2 \times K} = \frac{800 \text{ mm} \times 4,62 \text{ k/cm}^2}{2 \times 800 \text{ k/cm}^2} = 2,31 \text{ mm}$$

Por razones antes mencionadas también el espesor mínimo de esta tubería debe ser de 5 mm.

Por ser una tubería de corta longitud, tanto su diámetro como espesor, considero el mismo en toda ella.

Tiempo de Cierre T .-

Según Micheaud la sobre presión vale:

$$P = \frac{2 \cdot L \cdot V}{g \cdot T}$$

$$P = \text{sobre presión } 1,32 \text{ k/cm}^2 = 13,2 \text{ m}$$

$$L = \text{Longitud de la Tubería } 75 \text{ m}$$

$$\text{Velocidad del Agua en la Tubería } 3,4 \text{ m/seg.} = V$$

$$g = \text{aceleración de la gravedad } 10 \text{ m/seg}^2$$

$$T = \text{tiempo de cierre en segundos.}$$

Reemplazando los valores correspondientes:

$$T = \frac{2 \cdot L \cdot V}{g \cdot \beta} = \frac{2 \pi 75 \text{ m} \times 3,4 \text{ m/seg}}{10 \text{ m/seg}^2 \pi 13,2 \text{ m}} = 4 \text{ segs.}$$

Perdidas en la Tubería .-

En toda tubería al circular el agua, van ha producirse pérdidas. Estas harán que disminuya la altura del salto de la instalación, por consiguiente disminuyendo la Energía a producirse. Las principales pérdidas que se ocasionan en las tuberías son ocasionadas por las siguientes causas. Al circular el agua dentro de ella lo hace con dificultad debido a que existe una fuerza (rozamiento) que no la deja deslizarse con la facilidad del caso. Al cambiar el agua el sentido de circulación, o sea en los codos, también se producen las consiguientes pérdidas y por último tenemos pérdidas en la embocadura. A continuación paso a calcular cada una de las pérdidas en ésta.

Perdidas por rozamiento .-

Las designaré con la letra "Y" y se las puede calcular por medio de la siguiente relación:

$$Y = 0,024 \cdot \frac{V^2 \cdot L}{2 \cdot g \cdot D}$$

siendo:

V = velocidad del agua en la tubería

D = diámetro de la misma

L = Longitud de la Tubería,

G = gravedad.

0,024 es un coeficiente obtenido de la práctica.

Son tres tramos de tubería el primero de 5 m , el segundo de 28 m y el tercero de 42 m.

Pérdidas en el primer tramo:

$$Y = 0,024 \times \frac{3,4^2 \text{ m/seg} \times 5 \text{ m}}{2 \times 10 \text{ m/seg}^2 \times 0,8 \text{ m}} = 0,087 \text{ m}$$

Pérdidas en el segundo tramo:

$$Y = 0,024 \times \frac{3,4^2 \text{ m/seg} \times 28 \text{ m}}{2 \times 10 \text{ m/seg}^2 \times 0,8 \text{ m}} = 0,485 \text{ m}$$

Pérdidas en el Tercer Tramo:

$$Y = 0,024 \times \frac{3,4^2 \text{ m/seg} \times 42 \text{ m}}{2 \times 10 \text{ m/seg}^2 \times 0,8 \text{ m}} = 0,73 \text{ m}$$

Pérdidas totales por Rozamiento:

$$Y_r = 0,087 \text{ m} + 0,485 \text{ m} + 0,730 \text{ m} = 1,302 \text{ m}$$

Pérdidas por Cambio de Dirección .-

Su cálculo se realiza por medio de la fórmula:

$$Y = K \times \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

siendo:

Y = pérdidas por cambio de dirección en Mts.

K = coeficiente que depende del' ángulo formado entre las dos direcciones. Los valores de K se indica a continuación con respecto al ángulo.

Angulo	K
21°	0,047
11°	0,017

Estos valores han sido tomados de Saltos Presas y Embalses por Gómez Navarro.

g = Gravedad m /seg²

V = Velocidad del agua en la tubería en m/seg.

Pérdidas en el Primer Cambio:

Angulo 21° k ; 0,047

$$Y = 0,047 \times \frac{3,4^2 \text{ m/seg}}{2 \times 10 \text{ m/seg}^2} = 0,027 \text{ m}$$

Pérdidas en el Segundo Cambio:

Angulo 11° K = 0,017

$$Y = 0,017 \times \frac{3,4^2 \text{ m/seg}}{2 \times 10 \text{ m/seg}^2} = 0,0098 \text{ m}$$

Pérdidas Totales por Cambios de Dirección:

$$Y_c = 0,027 \text{ m} + 0,0098 \text{ m} = 0,0368 \text{ m}$$

Pérdidas por Embocadura .-

Están dadas por:

$$Y = 1,1 \times \frac{V^2}{2g}$$

siendo:

Y = pérdidas por embocadura en m

V = Velocidad del agua en la tubería pero a la entrada o sea veloci-

g = gravedad dad de embocadura sea 1,3 m/seg

1,1 coeficiente de abocinamiento

$$Y = 1,1 \times \frac{1,3^2 \text{ m/seg}}{2 \times 10 \text{ m/seg}^2} = 0,037 \text{ mts.}$$

Pérdidas Totales en la Tubería .-

Llamando a esta Yt:

$$Y_t = Y_r + Y_c + Y = 1,302 \text{ m} + 0,0368 \text{ m} + 0,037 \text{ m} = 1,3758 \text{ m}$$

$$Y_t = 1,3758 \text{ m.}$$

Esta pérdida corresponde al 4,16 %, que estaría aceptable.

Detalles del cálculo de la Tubería se ve en el plano 05 adjunto al trabajo.

Cálculo de los Anclajes .-

Para efectuar estos cálculos primero condense los valores de cálculo en el cuadro siguiente:

Valores Numéricos para el cálculo de los Anclajes

Magnitudes	Anclaje I.	Anclaje II.	Anclaje III.
Nivel del Embalse	98,78 m	98,78 m	98,78 m
Altura del Anclaje	94,556 m	80,346 m	66,49 m
Altura de Carga h	5,78 m	18,99 m	34,44 m
Altura de Carga h'	6,58 m	21,49 m	30,74 m
Díametro D	0,80 m	0,80 m	0,80 m
Peso de la Tubería por metro q	100,00 K	100,00 K	100,00 K
Peso Tubería más Agua q'	600,00 K	600,00 K	600,00 K
Longitud de la Tubería L'	5,00 m	32,00 m	26,00 m
Longitud de la Tubería L2	6,00 m	6,00 m	6,00 m
Longitud de la Tubería L	19,00 m	54,00 m	76,25 m
Angulo de Inclinación A'	16°30'	30°30'	19°20'
Sen A'	0,285	0,5075	0,3311
Angulo de Inclinación A''	30°30'	19°20'	0°00'
Sen A''	0,5075	0,3311	0,00
Cos A'	0,96	0,8616	0,9436
Cos A''	0,8616	0,9436	1,00
$\frac{A'' - A'}{2}$	7°	-5°35'	-9°40'
Sen $\frac{A'' - A'}{2}$	0,122	-0,099	-0,166

Como indica en el cuadro anterior son tres los cambios de dirección que sefre la tubería, por consiguiente son tres los bloques de anclaje que deben instalarse .

Asi mismo usará una junta de dilatación después de cada bloque sin hacerlo falta después del último ya que se encuentra dentro de la casa de máquinas.

Como toda la Tubería a instalarse es de un solo diámetro y espesor el Peso por metro vale:

$$q = L \times D_{\text{medio}} \times 3,14 \times e \times g$$

L = longitud 1 m

$$D_{\text{medio}} = \frac{D_{\text{exterior}} + D_{\text{interior}}}{2} = \frac{0,8 + 0,9}{2} = 0,85 \text{ m}$$

D medio = Diámetro medio y vale 0,85m

e = espesor 5 mm

g = peso específico 7,8 k/m³

Reemplazando los valores:

$$q = 1 \text{ m} \times 0,85 \text{ m} \times 3,14 \times 0,005 \text{ m} \times 7,8 \text{ k/m}^3 = 100 \text{ k por 1 m de longitud de tubería.}$$

Peso Tubería más Peso de Agua .-

Peso tubería q = 100 k por metro de tubo.

$$\text{Peso del agua} = \frac{3,14 \times 0,8^2}{4} \times 1.000 = 500 \text{ k por metro de tubo}$$

q' = Peso de la tubería por metro + Peso del Agua.

$$q' = 100 + 500 \text{ k} = 600 \text{ k por metr.}$$

Para el Cálculo de los bloques hago tres consideraciones principales:

a - Tubería Vacía mejor sin agua.

b - Tubería llena de Agua pero sin Movimiento

c - Tubería llena de Agua y en Movimiento.

Bloque de Anclaje I .-

Tubería seca:

Valiéndome de los valores que están en el cuadro anterior:

Empuje total ejercido desde arriba: (H' + R1).-

$$H' + R1 = q \times L \times \text{sen} A' + q \times L \times \text{Cos} A' \times u$$

u = coeficiente de Rozamiento que para el caso vale 0,2

$$\text{Sen } A' = \frac{1,40}{4,91} = 0,285$$

$$A' = 16^{\circ} 30'$$

$$\text{Cos } A' = 0,96$$

$$H' + R1 = 100 \text{ k} \times 5 \text{ m} \times 0,285 + 100 \text{ k} \times 5 \text{ m} \times 0,96 \times 0,2 = 238,1 \text{ k}$$

Empuje ejercido de abajo .- (H2 - R2)

$$H2 - R2 = q \times L_2 \times \text{Sen } A'' - q \times L_2 \times \text{Cos } A'' \times u$$

$$\text{Sen } A'' = \frac{13,21}{28} = 0,5075$$

$$A'' = 30^{\circ} 30'$$

$$\text{Cos } A'' = 0,8616$$

$$H2 - R2 = 100 \text{ k} \times 6 \text{ m} \times 0,5075 - 100 \text{ k} \times 6 \text{ m} \times 0,8616 \times 0,2 = 202 \text{ k}$$

Tubos llenos de agua pero sin circulación.-

Presión ejercida de arriba: (H1 + R'1)

$$H1 + R'1 = q \times L_1 \times \text{Sen } A' + q' \times L_1 \times \text{Cos } A' \times u$$

$$H1 + R'1 = 100 \text{ k} \times 5 \text{ m} \times 0,285 + 600 \times 5 \text{ m} \times 0,96 \times 0,2 = 323 \text{ k}$$

Presión ejercida de abajo .- (H2 - R'2)

$$H'' - R'2 = q \times L_2 \times \text{Sen } A'' - q' \times L_2 \times \text{Cos } A'' \times u$$

$$H2 - R'2 = 100 \text{ k} \times 6 \text{ m} \times 0,5075 - 600 \text{ k} \times 6 \text{ m} \times 0,816 \times 0,2 = - 287 \text{ k}$$

La resultante de las presiones de arriba y de abajo .- Bk

$$Dk = 1.570 \times D^2 \times h \times \text{Sen } \frac{A'' - A'}{2}$$

$$h = 5,78 \text{ m}$$

$$\text{Sen } \frac{A'' - A'}{2} = \text{Sen } \frac{30^\circ 30' - 16^\circ 30'}{2} = \text{sen } 7^\circ = 0,122$$

$$Dk = 1.570 \times 0,8^2 \text{ m} \times 5,78 \text{ m} \times 0,122 = 700 \text{ k}$$

Tubería llena de Agua y en Movimiento .-

Presión Ejercida de arriba .- (H1 + R'1)

Esta tendrá un valor igual al anterior o sea tubería llena de agua pero sin movimiento:

$$H1 + R'1 = 323 \text{ k}$$

Presión Ejercida de Abajo .- (H2 - R'2)

Vale lo mismo que Tubería llena de agua pero sin movimiento

$$H2 - R'2 = - 287 \text{ k}$$

Resultante de las presiones ejercidas de arriba y de abajo.- Dk.

$$Dk = 1.570 \times D^2 \times h' \times \text{Sen } \frac{A'' - A'}{2}$$

$$h' = 6,58 \text{ m}$$

$$Dk = 1.570 \times 0,8^2 \text{ m} \times 6,58 \text{ m} \times 0,122 = 800 \text{ k.}$$

Fuerza de Arrastre comprendida del Bloque de anclaje para arriba.-

$$S_1 = \frac{16.000 \times Q^2 \times L_1}{C^2 \times 3,14 \times D^3}$$

siendo:

Q = Caudal m³/seg

L1 = Longitud de la tubería arriba del bloque de anclaje.

D = Diámetro de la Tubería

C = Coeficiente que depende de la rugosidad de la Tubería dada la naturaleza de las paredes cuyo coeficiente de rugosidad vale 0,16, según Bazin, para este coeficiente corresponde un
 $C = 81,5$

Remplazando estos valores en la fórmula de S_1 :

$$S_1 = \frac{16.000 \times 1,76^2 \text{ m}^3/\text{seg} \times 5 \text{ m}}{81,5^2 \times 3,14 \times 0,8^3 \text{ m}} = 23,5 \text{ k}$$

La fuerza de arrastre comprendida del Bloque de anclaje a la Junta de dilatación Inferior .- S_2

$$S_2 = \frac{16.000 \times Q^2 \times L_2}{C^2 \times 3,14 \times D^3}$$

L_2 = Longitud de la Tubería del bloque hasta la junta inferior.
6 m.

El resto de abreviaturas tienen el mismo significado que para S_1 .

reemplazo los valores:

$$S_2 = \frac{16.000 \times 1,76^2 \text{ m}^3/\text{seg} \times 6 \text{ m}}{81,5^2 \times 3,14 \times 0,8^3 \text{ m}} = 28 \text{ k.}$$

La fuerza centrífuga que crea el agua en movimiento.- Z

$$Z = \frac{16.000 \times Q^3}{g \times r \times 3,14^2 \times D^4}$$

Q = caudal en m³/seg

g = gravedad

r = radio de curvatura

D = diámetro.

16.000 constante que da la fórmula.

El radio de curvatura vale 2m

$$Z = \frac{16.000 \times 1,75^3 \text{ m}^3/\text{seg}}{10 \text{ m}/\text{seg}^2 \times 2 \times 3,14 \times 0,8^4} = 1.060 \text{ K}$$

La resultante del Empuje según la dirección de la Bisectriz del Angulo que forma el cambio de dirección .- Pmk.

$$P_{mk} = \frac{3 \times 1.000 \times L \times Q}{g \times T} \times \text{Sen} \frac{A'' - A'}{2}$$

T = tiempo de cierre 4 seg

L = Longitud de la Tubería 5 m

$$P_{mk} = 3.000 \times \frac{5 \text{ m} \times 1,76 \text{ m}^3/\text{seg}}{10 \text{ m}/\text{seg}^2 \times 4 \text{ seg}} \times 0,122 = 810 \text{ K.}$$

Anclaje II .-

Tubería Vacía .-

Empuje ejercido desde Arriba .- (H1 + R1)

Los datos de cálculo están concentrados en la tabla anterior.

$$H1 + R1 = q \times L_1 \times \text{Sen} A' + q \times L_1 \times \text{Cos} A' \times u$$

$$H1 + R1 = 100 \text{ k} \times 22 \text{ m} \times 0,5075 + 100 \times 22 \text{ m} \times 0,8616 \times 0,2 = 1.480 \text{ K}$$

Presión que se Ejerce desde Abajo .- (H2 - R2)

$$H2 - R2 = q \times L_2 \times \text{Sen} A'' + q \times L_2 \times \text{Cos} A'' \times u$$

$$H2 - R2 = 100 \text{ k} \times 6 \text{ m} \times 0,3311 + 100 \text{ k} \times 6 \text{ m} \times 0,9436 \times 0,2 = 97 \text{ K}$$

Tubería llena de Agua pero sin Movimiento .-

Presión ejercida desde arriba .- (H1 + R'1)

$$H1 + R'1 = q \times L_1 \times \text{Sen} A' + q' \times L_1 \times \text{Cos} A' \times u$$

$$H1 + R'1 = 100 \text{ k} \times 22 \text{ m} \times 0,5075 + 600 \text{ k} \times 22 \text{ m} \times 0,8616 \times 0,2 = 3600 \text{ K}$$

Presión Ejercida desde Abajo .- (H1 - R'1)

$$H2 - R2 = q \times L_2 \times \text{Sen } A'' - q' \times L_2 \times \text{Cos } A'' \times u$$

$$H2 - R'2 = 100 \text{ k} \times 6 \text{ m} \times 0,3311 - 500 \text{ k} \times 6 \text{ m} \times 0,9436 \times 0,2 = \\ = - 480 \text{ K.}$$

Resultante de las Presiones Ejercidas de arriba y Abajo .- Dk.

$$Dk = 1.570 \times D^2 \times h \times \text{Sen } \frac{A'' - A'}{2}$$

$$h = 18,99 \text{ m}$$

$$Dk = 1.570 \times 0,8^2 \text{ m} \times 18,99 \text{ m} \times (- 0,099) = - 1.860 \text{ K}$$

Tubos llenos de Agua en circulación .-

Presión Ejercida de Arriba .-

$$H1 + R'1 = 3.000 \text{ k} \text{ por explicación hecha en el Bloque I.}$$

$$H2 - R'2 = - 480 \text{ K}$$

Resultante de las presiones ejercidas de arriba y de abajo .- Dk.

$$Dk = 1.570 \times D^2 \times h' \times \text{Sen } \frac{A'' - A'}{2} ; h' = 21,496 \text{ m}$$

$$Dk = 1.570 \times 0,8^2 \text{ m} \times 21,496 \text{ m} \times (- 0,099) = - 2.100 \text{ k}$$

Fuerza de Arrastre comprendida del Bloque de anclaje para arriba .-

$$S_1 = \frac{16.000 \times 1,76 \text{ m}^3/\text{seg} \times 22 \text{ m}}{81,5^2 \times 3,14 \times 0,8^3} = 75 \text{ K.}$$

Fuerza de Arrastre comprendida del Bloque hacia abajo .- S₂

$$S_2 = \frac{16.000 \times 1,76^2 \text{ m}^3/\text{seg} \times 6 \text{ m}}{81,5^2 \times 3,14 \times 0,8^2 \text{ m}} = 28 \text{ K.}$$

La Fuerza Centrífuga que crea el Agua en Movimiento .- Z

$$Z = \frac{16.000 \times 1,76 \text{ m}^3/\text{seg}}{10 \text{ m}/\text{seg}^2 \times 2 \times 3,14 \times 0,8^2 \text{ m}} = 1.060 \text{ k.}$$

La Resultante del Empuje según la dirección de la Bisectriz del

Angulo.- P mk.

$$P \text{ mk} = 1.630 \times L \times \text{Sen } (- 5^\circ 30')$$

$$P \text{ mk} =$$

$$L = 5 \text{ m} + 28 \text{ m} + 42/2 \text{ m} = 54 \text{ m}$$

$$P_{mk} = \frac{3.000 \times 54 \text{ m} \times 1,76 \text{ m}^3/\text{seg}}{10 \text{ m}/\text{seg}^2 \times 4 \text{ seg}} \times (-0,099) = -7.100 \text{ K}$$

Anclaje III .-

Tubería Vacía .-

Presión Ejercida desde Arriba .-

$$H1 + R1 = 100 \text{ K} \times 36 \text{ m} \times 0,3311 + 100 \text{ K} \times 36 \text{ m} \times 0,9436 \times 0,2 = \\ = 1.180 \text{ K}$$

Presión Ejercida desde Abajo .-

$$H2 - R2 = 100 \text{ K} \times 2,5 \text{ m} \times 0,00 + 100 \text{ K} \times 2,5 \text{ m} \times 1,0 \times 0,2 = -50 \text{ K}$$

Tubería llena de Agua pero sin Movimiento .-

Presión Ejercida desde Arriba .-

$$H1 + R'1 = 100 \text{ K} \times 36 \text{ m} \times 0,3311 + 600 \text{ K} \times 36 \text{ m} \times 0,9436 \times 0,2 = \\ = 5.200 \text{ K}$$

Presión Ejercida desde Abajo .-

$$H2 + R'2 = 100 \text{ K} \times 2,5 \text{ m} \times 0,00 + 600 \text{ K} \times 2,5 \text{ m} \times 1,0 \times 0,2 = 300 \text{ K}$$

Resultante de las Fuerzas que actúan de Arriba y Abajo .-

$$\text{siendo } h = 34,44 \text{ m}$$

$$Dk = 1.570 \times 0,8^2 \text{ m} \times 34,44 \text{ m} \times (-0,166) = -5.700 \text{ K}$$

Tubería llena de Agua y en Movimiento .-

Presión ejercida desde Arriba .-

$$H1 + R'1 = 5.200 \text{ K}$$

Presión Ejercida desde Abajo .-

$$H2 - R'2 = -300 \text{ K}$$

Resultante de las Fuerzas que actúan de Arriba y de Abajo .-

$$Dk = -5.700 \text{ K}$$

Fuerza de Arrastre hacia arriba del Bloque de Anclaje .-

$$S_1 = \frac{16.000 \times 1,76^2 \text{ m}^3/\text{seg} \times 36 \text{ m}}{81,5^2 \times 3,14 \times 0,8^3 \text{ m}} = 168 \text{ K}$$

Fuerza de Arrastre ejercida del Bloque de Anclaje para Abajo .-

$$S_2 = \frac{16.000 \times 1,76^2 \text{ m}^3/\text{seg} \times 2,5 \text{ m}}{81,5^2 \times 3,14 \times 0,8^3 \text{ m}} = 11,6 \text{ K.}$$

Fuerza centrífuga que se crea por el Movimiento del Agua .- Z

Z = 1.060 Kgs , por tener los mismos valores que los Bloques anteriores.

Resultante del Empuje que se ejerce según la Bisectriz del Angulo .-

$$P_{mk} = \frac{3 \times 1000 \times L \times Q}{g \times T} \times \text{Sen} \frac{A'' - A'}{2}$$

Esta fórmula tiene la misma nomenclatura ya explicada en casos anteriores.

$$\text{Sen} \frac{A'' - A'}{2} = \text{Sen} (-90^\circ 40') = -0.166$$

$$L = 76,25 \text{ m}$$

$$P_{mk} = \frac{3.000 \times 1,76 \text{ m}^3/\text{seg} \times 76,25 \text{ m}}{10 \text{ m}/\text{seg}^2 \times 4 \text{ seg.}} \times (-0,166) = -1.010 \text{ kgs.}$$

Las fórmulas de Cálculo, así como el procedimiento, han sido tomadas tanto de las enseñanzas recibidas de parte del Sr. Ternel M Gándara, como de Problemas Hidráulicos Aplicada por el Ing. Otto Streck a partir de la página # 172.

A continuación va un cuadro resumen de los Valores de las diferentes fuerzas que el bloque de Anclaje debe contrarrestar; para el perfecto funcionamiento de la obra. Así mismo acompaño de un gráfico que demuestra la composición de las fuerzas así como el dimensionamiento de los mismos. De la misma manera como he efectuado para el anclaje en mesión lo realice para los otros dos.

sionando de los mismos. De la misma manera como he efectuado para el anclaje en mención, lo realicé para los otros dos.

Valores numéricos de los esfuerzos obtenidos
en los cálculos de los anclajes.

<u>Esfuerzos en Kg.</u>	<u>Anclaje I</u>	<u>Anclaje II</u>	<u>Anclaje III</u>
Empuje ejercido de arriba			
H1 + R1	238,1	1.480	1.180
Empuje ejercido de abajo			
H2 - R2	202	97	- 50

Tubería llena de agua pero sin movimiento

Empuje ejercido de arriba			
H1 + R'1	720	3.300	5.200
Empuje ejercido de abajo			
H2 - R'2	-287	- 480	- 300
Resultante de las presiones de arriba y de abajo Dk. 700		-1.860	+5700

Tubería con agua y en movimiento

Empuje ejercido de arriba			
H1 + R'1	720	3.300	5.200
Empuje ejercido de abajo			
H2 - R'2	-287	- 480	- 300
Resultante de las presiones de arriba y de abajo Dk. 800		-2.100	-5.700
Fuerza de arrastre arriba del bloque S ₁	23,5	75	168
Fuerza de arrastre del bloque de abajo S ₂	28	28	11,6
Fuerza centrífuga Z 1.060		1.060	1.060
Resultante del empuje según la bisectriz del ángulo Pmk.	810	-7.100	-1.010

Apoyos .-

Como cada tubo tiene una longitud de 6 m y según normas recibidas durante mi vida de estudiante debe ponerse un Apoyo para cada tubo o sea un apoyo cada 6 m éstos irán colocados en la mitad del tubo.

Tanto los Bloques de Anclaje como los Apoyos pueden verse en el Plano Perfil de la Tubería con el número 05.

Cálculo de la Cámara de Presión .-

A fin de evitar mayores pérdidas que se produzcan en la Cámara de Presión, por cambios exagerados de dirección, entre el Canal de aducción y el eje de la Tubería de Presión, adopto la forma casi Ovoidal (ver plano 04) .

En la Cámara de Presión se instalarán dos compuertas: una al final del canal, o sea a la entrada de la Cámara, y otra al empezar el canal de descarga. La primera servirá para evitar el ingreso de agua a la cámara y la última en caso de necesitarse el vaciar a la cámara sea para arreglo, etc.

Dimensionamiento .-

Adopto una capacidad de la Cámara tal que pueda abastecer durante 3 minutos sin que exista entrada de agua por el canal de aducción.

Capacidad de la Cámara .-

Siendo C la capacidad:

$$C = 3 \text{ minutos} \times 60 \text{ segundos} \times 1,76 \text{ m}^3/\text{seg} = 320 \text{ m}^3$$

Si la altura de la Cámara es de 2,3m el área que se debe cubrir para cumplir con esta condición es:

$$320 \text{ m}^3 / 2,3 \text{ m} = 140 \text{ m}^2$$

El terreno, sin mayor movimiento de tierras, me per-

mite adoptar una área de 19 m x 7,5 m .En resumen las dimensiones de la Cámara serán:

Alto = 2,3 m

Largo = 19 m

Ancho = 7,5m

Cálculo de la Sección de la Embocadura .-

Siendo el Coeficiente de contracción igual a 0,97

La velocidad del agua en la Embocadura no debe sobre pasar de 1,5 m/seg, esto para evitar que se produzcan remolinos y por consiguiente la entrada de Aire a la Tubería, esto también evitará grandes contracciones de la vena líquida.

El abocinamiento debe ser un 20 % más que el diámetro de la Tubería.

Sección de la Embocadura .-

Siendo S la sección:

$$S = \frac{Q}{0,97 \times V}$$

Q = caudal de agua que debe entrar a la tubería m³/seg.

0,97 = coeficiente de contracción

V = Velocidad del agua en la embocadura, el autor Gómez Navarro,

en Saltos presas y embalses, aconseja una velocidad de 1,3 m/seg

$$S = \frac{1,76 \text{ m}^3/\text{seg}}{0,97 \times 1,3 \text{ m/seg.}} = 1,4 \text{ m}^2$$

Díametro de Embocinamiento .-

$$D^2 = \frac{4 \times S}{3,14} = \frac{4 \times 1,4 \text{ m}^2}{3,14} = 1,76 \text{ m}^2$$

$$D = 1,34 \text{ m}$$

Cálculo de la Rejilla Fina de la Cámara de Presión .-

Esta tiene por objeto el evitar el ingreso de materiales sólidos como vegetales, etc a la tubería y por consiguiente a la turbina a fin de que la duración de estos elementos principales de la instalación sea duradera y no se produzca la destrucción de sus partes.

Si la altura de la rejilla es de 3 m y la separación entre hierros es de 20 milímetros, Las varillas tienen las siguientes medidas 10 mm de frente por 30 de ancho.

Número de varillas: n

El ancho de la rejilla está dado por la fórmula:

$$A = n (b + s)$$

siendo:

A = Ancho de la rejilla vale esta 3 m

n = número de hierros

b = Separación entre varillas

s = frente de las varillas.

Reemplazando los valores correspondientes:

$$3 \text{ m} = n \times (0,010 + 0,020)$$

$$n = \frac{3 \text{ m}}{0,03 \text{ m}} = 100 \text{ varillas.}$$

Velocidad del Agua en la Rejilla.-

Según Gómez Navarro, en la Obra ya mencionada, da un coeficiente de contracción del agua al paso de las rejillas de 0,6.

$$\text{Velocidad } V = \frac{Q}{0,6 \times S} = \frac{1,76 \text{ m}^3/\text{seg}}{0,6 \times 6 \text{ m}^2} = 0,59 \text{ m/seg.}$$

Son 6 m^2 de sección ocupada por los hierros por:

Superficie ocupada por las varillas:

$$S = n \times L \times b$$

L = altura de la regilla.

$$S = 100 \text{ var.} \times 3 \text{ m} \times 0,02 \text{ m} = 6 \text{ m}^2.$$

La limpieza de esta regilla se la efectuará a mano. la inclinación para que ésta sea fácil, según Manuales, debe estar comprendida de 25° a 45° . Lo adopto un término medio entre los dos, o sea 35° ; este ángulo será el formado por la Vertical con la regilla.

Cálculo de las Compuertas .-

En el presente trabajo creo la necesidad de instalar 7 compuertas distribuidas en la siguiente forma:

- 1 - A un costado del azud
- 4 - En el desarenador
- 2 - En la cámara de presión

Como tanto las compuertas del desarenador y de la cámara de presión tienen las mismas características, las calculo como si fueran las mismas; en esta forma puede existir hasta ahorro de material y trabajo. O sea que utilizo 6 compuertas del mismo tipo.

Cálculo de la Compuerta para el Azud .-

Tiene las siguientes características:

Luz libre 90 cm

Altura - 1,6 m ya que debe tener una altura igual a la del azud.

Esta compuerta la sitúo en este lugar con el criterio de poder efectuar alguna limpieza cuando fuera necesario del

material sólido que se acumulará en el frente del Azud.

Presión que soporta la Compuerta .-

$$P = g \times L \times H^2/2$$

siendo:

g = peso específico del agua sea 1.000 k/m³

L = Luz libre de la compuerta 0,9 m

H = máxima altura del Agua. 2,29m

$$P = 1.000 \text{ k/m}^3 \times 0,9 \text{ m} \times 2,29^2 \text{ m}^2/2 = 2.300 \text{ Kgs.}$$

Las compuertas a instalarse son de madera: primero, por su economía, sencille y, por último, por que se utilizan hasta luces de 5 m.

Los tablones que dispongo son de:

Ancho del tablón 0,20 m

largo del mismo 1,10 m ya que 20 cm dejo para las entregas de la compuerta o sea 10 cm a cada lado.

Número de tablones necesarios .-

$$n = \frac{\text{Altura de la Compuerta}}{\text{Ancho del Tablón}} = \frac{1,60 \text{ m}}{0,20 \text{ m}} = 8 \text{ tablones de las dimens}$$

siones ya fijadas.

Espesor de los Tablones .-

Momento máxima , - M_x

$$M_x = \frac{P \cdot L}{8} = \frac{2.300 \text{ Kgs} \times 0,9 \text{ m}}{8} = 260 \text{ kgms} = 26.000 \text{ Kgcm}$$

El coeficiente de elasticidad de la madera es de 60 k/cm² a este valor lo determino con la letra K.

$$H = \frac{M_x}{W}$$

$$W = \text{Momento Resistente} = 1/6 \times a \times b^2$$

a - ancho del tablón 20 cm

b - espesor del mismo a calcularse

Reemplazando el valor de W en K:

$$60 \text{ K/cm}^2 = \frac{26.000 \text{ kcm}}{1/6 \times 20 \text{ cm} \times b^2}$$

La incognita es b.

$$b^2 = \frac{26.000 \times 6}{20 \text{ cm} \times 60 \text{ K/cm}^2} \text{ Kg cm} = 122 \text{ cm}^2$$

$$b = 11 \text{ cm}$$

Medidas encontradas de los Tablones:

Ancho - 20 cm

Largo - 1100 cm

Espesor - 11 cm

Número de tablones 9.

Cálculo de las Compuertas para el Desarenador y Cámara de Presión.-

Tienen las Sigüientes Características:

Luz libre de la Compuerta 1,5 m

Altura de la misma 1,6 m

Máxima altura del agua 1,2 m

Los tablones son de las dimensiones de los anteriores o sea:

ancho 20 cm

Largo tablón 1,70 m debido a que 10 cm van de entrega a cada uno de

los lados de la compuerta.

Número de tablones.-

Siendo n el número de tablones:

$$n = \frac{\text{Altura de la Compuerta}}{\text{Ancho del Tablón}} = \frac{1,6 \text{ m}}{0,2 \text{ m}} = 8 \text{ tableros.}$$

Son 8 tableros por compuerta.

Presión que soporta la Compuerta .-

$$P = g \times L \times H^2 / 2$$

para este caso

$$g = 1.000 \text{ k/m}^3$$

$$L = 1,5 \text{ m}$$

$$H = 1,2 \text{ m}$$

$$P = 1.000 \text{ k/m}^3 \times 1,5 \text{ m} \times 1,2^2 \times \frac{1}{2} = 1.080 \text{ K.}$$

Momento Maximo .- Mx

$$Mx = \frac{P \times L}{8} = \frac{1.080 \text{ k} \times 1,5 \text{ m}}{8} = 303 \text{ kgm} = 30.300 \text{ kgcm.}$$

$$K = 60 \text{ k/cm}^2$$

Aplicando las mismas fórmulas que para la compuerta anterior así como su desarrollo obtengo:

$$b^2 = \frac{30.300 \text{ kgcm} \times 6}{20 \text{ cm} \times 60 \text{ k/cm}^2} = 151 \text{ cm}^2$$

$$b = 13 \text{ cm}$$

Los tableros para esta compuerta deben tener las medidas:

ancho 20 cm

Largo del Tablón 170 cm

espesor del mismo 13 cm

8 tableros por compuerta; como son 6 compuertas, 4 en el desarenador y dos en la Cámara de presión. Se necesitará un total de 48 tableros.

Cálculo de los Esfuerzos para levantar las Compuertas .-

Compuerta del Azud.-

El peso específico de la madera si ésta está mojada es de 1,5 k/dm³

Volúmen de la Compuerta .-

$$\text{Volumen } V = 9 \text{ dm} \times 0,1 \text{ dm} \times 16 \text{ dm} = 100 \text{ dm}^3$$

Este cálculo fue hecho de acuerdo con los resultados obtenidos anteriormente.

Peso de La Compuerta .-

$$\text{Peso } G = 100 \text{ dm}^3 \times 1,5 \text{ K/dm}^3 = 150 \text{ kgs.}$$

Además de el peso de la madera 150 kg los elementos de hierro que están sujetando a los tablones como son las platinas de hierro y el tornillo. El peso de estos implementos sea de 100 k peso total de la Compuerta 250 Kgs + 100 kgs.

Resistencia a Vencerse por el Empuje del Agua .-

El valor del Empuje es de 2.300 k si el coeficiente de Rozamiento es de 0,8 esto de madera con Agus:

$$2,300 \text{ kgs} \times 0,8 = 1.840 \text{ kg.}$$

$$\text{Esfuerzo total a levantarse: } 1.840 + 250 \text{ kgs} = 2.090 \text{ kgs.}$$

Si tengo un tornillo de paso de rosca de 6,4 mm y de un diámetro exterior 50 mm, determino el brazo del Volante, si el hombre puede realizar un esfuerzo de 3 Kgs. = E

Me valgo de la fórmula:

$$E = \frac{2.090 \text{ kgs} \times 6,4 \text{ mm}}{3,14 \times 2 \times B}$$

2.090 k es el esfuerzo necesario para levantar la compuerta.

6,4 mm el paso de rosca

B = brazo del Volante

$$B = \frac{2.090 \text{ kgs} \times 6,4 \text{ mm}}{3,14 \times 2 \times 3 \text{ kgs}} = 700 \text{ mm}$$

Cálculo del brazo del Volante para el segundo tipo de Compuerta.-

Con los mismos datos de cálculo que el caso anterior,

Peso Compuerta.-

Peso P = Volumen Compuerta x Peso Especifico.

Volumen

$$V = 17 \text{ dm} \times 16 \text{ dm} \times 1,3 \text{ dm} = 355 \text{ dm}^3$$

El peso específico de la madera mojada es 1,5 k/dm³

El peso de la Compuerta:

$$P = 355 \text{ dm}^3 \times 1,5 \text{ K/dm}^3 = 530 \text{ k.}$$

Peso del Tornillo y demás implementos de hierro de la Compuerta 120 k.

$$\text{Peso Compuerta} + \text{Peso tornillo y hierro} = 530 \text{ K} + 120 \text{ K} = 650 \text{ K}$$

La resistencia que hay que vencer por el empuje del agua vale:

$$1.080 \times 0,8 = 864 \text{ kgs.}$$

1.080 kgs = presión que soporta la compuerta.

0,8 = Coeficiente de rozamiento del agua sobre la madera.

El peso que habrá que vencer para levantar la compuerta valdrá:

$$864 \text{ K} + 650 \text{ K} = 1.514 \text{ Kgs.}$$

Si el tornillo de esta es análogo al anterior o sea paso de rosca 6,4 mm y 50 mm de diámetro exterior sabiendo que un hombre puede realizar un esfuerzo de 3K.

Brazo del Volante.-

$$B = \frac{1.514 \text{ kgs} \times 6,4 \text{ mm}}{3.14 \times 2 \times 3 \text{ kgs}} = 520 \text{ mm.}$$

Cálculo de la Reja de la Boca-toma .-

Siendo las dimensiones las siguientes:

Ancho = 4 m

Alto = 1 m

Distancia entre hierros 15 cm.

Los hierros a emplearse son de forma "I" con sus medidas así:

Frente del hierro 12,5 cm

profundidad del hierro o mejor ancho de este 25 cm.

Sección Ocupada por un solo hierro .-

$$S = 12,5 \text{ cm} \times 100 \text{ de altura} = 1.250 \text{ cm}^2$$

Superficie del Bocal .-

$$S = 4 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 4 \text{ m}^2$$

Número de hierros.-

$$N = \frac{\text{Sección Bocal}}{\text{Secc.Hierro} \times \text{Distan.entre hierros.}}$$

$$N = \frac{4 \text{ m}^2}{0,125 \text{ m}^2 + 0,15 \text{ m}} = 15 \text{ hierros.}$$

Sección Ocupada por el Hierro .-

$$15 \text{ hierros} \times 0,125 \text{ m}^2 \text{ de sección que tiene cada hierro} = 1,88 \text{ m}^2$$

Sección libre que me queda para la entrada del agua:

$$4 \text{ m}^2 - 1,88 \text{ m}^2 = 2,12 \text{ m}^2$$

Por esta sección puede entrar perfectamente el caudal necesario de 1,76 m³/seg sin embargo a continuación com-

pruebo el caudal que entra por este bocal.

Parte de la formula:

$$Q = u \cdot S \times \sqrt{2 \cdot g \cdot h + U_0^2}$$

U_0 = Velocidad de llegada del agua a esta la considero 0 m/seg.

Q = Caudal

g = gravedad

h = altura del agua en estiaje. h = Altura azud - Altura des-d
de el fondo del río al comienzo del bocal. 0,72 m

S = sección libre del bocal.

u = coeficiente 0,62

reemplazando estos valores:

$$Q = 0,62 \times 2,12 \text{ m}^2 \times \sqrt{20 \text{ m/seg}^2 \times 0,72 \text{ m} + 0 \text{ m/seg.}}$$

$$Q = 1,31 \times 3,8 = 5 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

O sea que me entra un exeso de caudal, pero no importa ya que existe en el desarenador el vertedero de exeso de caudal.

Casa de Máquinas .-

Está localizada lo más cerca posible del río, con el fin de evitar la construcción de un canal de descarga largo, ya que su costo sería excesivo así como existe la posibilidad de sedimentación y por consiguiente la pérdida de altura.

Se la puede considerar en dos partes, la primera y principal donde están las maquinarias como turbina, generador etc y la segunda fuera de ella al exterior donde se encuentra el transformador de elevación (ver plano 07).

El piso de la Casa de Máquinas está más alto que el nivel de máxima crecida del río, por consiguiente no existe posibilidad de inundación de la misma.

La puerta principal que da acceso al interior de la casa está dimensionada capaz de dar paso a la maquinaria a instalarse y aún si es necesario que entre un camión con ella, de esta manera el montaje se efectuará en forma más sencilla.

A fin de dar mayor seguridad a las personas encargadas de vigilar la casa y aún más mejorar el aspecto de la misma, en el piso existe un canal de 50 centímetros por lado para en el disponer los cables que irán al tablero de control e iluminación de la misma.

La cubierta de la casa será construida con armadura de hierro apoyada sobre los muros de contorneo. Esta cubierta es de dos aguas para evitar la desigualdad de alturas de los muros y mayor capacidad de aire para la refrigeración de la maquinaria.

Como la casa debe tener la suficiente cantidad de luz a fin de poder examinar con la mayor facilidad las máquinas caso de ser necesario, he dispuesto, un número de ventanas para el caso, así mismo estas tienen unas dimensiones para cumplir con su cometido estas se puede ver mejor en el plano adjunto 07.

Se deben también instalar lamparas para la iluminación nocturna y en caso de falla del generador sería conveniente el montaje de bancos de acumuladores solamente para la iluminación, esto constituiría una emergencia en la misma.

La ventilación es otro de los grandes problemas a tratarse en esta, para esto pongo seis aberturas laterales en, las paredes a fin de que exista mayor circulación del aire.

Capítulo II

PARTE ELCTRICA .-

Línea de Transmisión .-

La distancia que existe entre la Casa de Máquinas y la Ciudad de Otavalo, es de 3,5 Km. Por lo tanto la línea de Transmisión deberá cubrir dicha distancia.

Selección del Voltaje .-

Para la determinación de este me valgo de las Normas Europeas, que dicen: "Por cada kilómetro de recorrido de esta debe tener un kilovoltio; para este caso la tensión a emplearse debe ser de 3,5 kv."

Las Normas Estado Unidense, en cambio, dicen: "por cada milla de recorrido debe tener un kv." Practicamente estas dos Normas no difieren en mucho y pueden ser aceptadas.

Podría aceptar como tensión a transmitirse la obtenida según dichas normas, pero, otro criterio también impera en esta Selección de Voltaje y es el económico. se sabe que a mayor tensión la sección del conductor es menor, por consiguiente resulta ventajoso irse a tensiones mas altas.

Para estar cerca de las Normas antes mencionadas, y cerca del aspecto económico, tambien adopto una tensión de 6.300 v. Con esta tensión, a mi criterio, no se necesitará transformador de bajada sino solo de distribución.

Para un funcionamiento perfecto de una línea de Transmisión imperan tres factores principales a saber:

a - Suficiente sección de los conductores.

- b - Los postes deben soportar los esfuerzos que se produzcan en la Línea.
 - c - Una buena resistencia eléctrica y mecánica de los aisladores
- Elección del Conductor .-

Para el perfecto funcionamiento de la Línea los conductores deben cumplir con las siguientes condiciones:

- La Conductibilidad eléctrica debe ser grande
- Su resistencia mecánica debe ser tal capaz de soportar los esfuerzos que sufre la línea.
- El peso del conductor debe ser pequeño y por consiguiente su costo menor.

Para determinar la Sección más ventajosa del conductor a emplearse lo hago por medio de comparaciones de tipo económico, será más ventajoso el que menor costo tenga y el que menor pérdidas produzca.

Las comparaciones a realizar son entre conductores de Cobre estirado en frío y el de tipo A/C/S/R (Aluminio con cable de acero reforzado.) a su vez dentro de cada uno de estos tipos lo haré comparaciones entre secciones diferentes.

Como factor de potencia me impongo 0,8 o sea 80 %, este factor lo tomo por ser el más usado en esta clase de cálculos.

Como ejemplo demostrativo de la forma como he realizado los cálculos pongo el caso del conductor 1/0.

La resistencia de este conductor en los 3,5 kilómetros es de 1,20 ohmios por conductor. Así mismo pesa por Km 485 kgs en los 3,5 pesará 1.700 kgs.

Peso del Conductor .-

Son tres conductores el peso a considerarse sea tomando en cuenta este particular o sea:

$$P = 3 \times 1.700 \text{ kgs} = 5.100 \text{ Kgs.}$$

Pérdida de Potencia .-

Esta pérdida está dada por los Kilowatios medios o sean los kilowatios máximos más los kilowatios mínimos suministrados esto para dos, este valor dividido para los kilowatios instalados en la planta.

Tomando un factor de carga para la ciudad de Otavalo un 50 %, con este valor determino el factor de Multiplicación F.

$$F = 0,7 \times fc^2 + 0,3 \times fc$$

fc = factor de carga expresado en decimales 0,5

0,7 y 0,3 son factores o mejor coeficientes de la fórmula

Esta fórmula es tomada de los Apuntes proporcionados en la materia de Electrotecnia.

$$F = 0,7 \times 0,5^2 + 0,3 \times 0,5 = 0,325$$

Kilowatios perdidos .-

$$W = I^2 \cdot R \times h \times F$$

siendo:

W = wátios perdidos.

I = corriente máxima

h = número de Horas del año 8.760 horas.

$$I = \frac{400.000 \text{ wátios}}{6.300 \text{ volt} \times 1,73 \times 0,8} = 46 \text{ Amperios}$$

$$W = 46^2 \times 3 \times 1,2 \text{ ohmios} \times 8760 \text{ horas} \times 0,325 = 21.700 \text{ Kwh}$$

estos son los Kilowatios hora que se pierden anualmente.

El conductor cuesta 1,123 dolares la tonelada siendo el precio del dolar el de \$/ 18,50.

Precio del Conductor.-

5,100 tone x 1.123 dolares x 18,5 sucres = 107.000 Sucres.

Kilowatios Generados al Año.-

Kw = 400 kw x 8.760 horas x 0,325 = 11'380.000 Kwh añ año.

Como esta instalación va a funcionar bajo control directo del Municipio, este tiene ya establecidas las tarifas del Kwh, pero en vista de que desconozco este precio me impongo el de Cuarenta Centavos el Kwh este precio naturalmente no va ha modificar en nada el cálculo, ya que me impongo es solo con fin demostrativo más, no es un valor deducido todavía.

El conductor que nos de la menor suma entre el costo del conductor más el costo de las perdidas será el que se escoja.

Precio de los Kilowatios perdidos anualmente.-

21.700 kwh x \$0,4 = \$/ 8.680

El precio del conductor es de \$/ 106,000

106.000 sucres + 8.680 sucres = 114.680 sucres

El conductor que de menor en este resultado será el que escoja.

A continuación, en la tabla puesta para la demostración del conductor seleccionado, explico para cada uno de ellos así como los precios de cada uno obtenidos.

#hilos	Calibre	Material	Peso Totl conductrs	Precio Con ductores	Kwh perdi.	Precio Kwh Per.	Total
7	1/0	Cu	1.700 kgs	\$106.000	21.700	\$/ 8.600	\$/ 114600
7	1/0	Al	510	29.000	44.500	17.800	46800
7	1	Cu	1.340	85.000	27.000	10.800	95800
7Al 1 ace	1	Al	385	22.000	54.000	21.600	43600
7	2	Cu	1.070	69.000	32.600	13.000	82000
6Al 1 acer.	2	Al	320	18.800	65.000	26.000	44800
7	3	Cu	790	51.000	44.000	17.600	68600
6 Al 1 Ac	3	Al	245	14.300	82.000	32.600	46900
3	4	Cu	671	44.000	54.000	21.600	65600
3 Al 1 Ac	4	Al	210	12.300	100.000	40.000	52300
3	5	Cu	510	30.000	69.000	27.600	57600
3 Al 1 Ac	5	Al	134	7.900	125.000	50.000	57900
3	6	Cu	390	23.000	87.000	35.000	58000
3 Al 1 Ac	6	Al	87	4.800	156.000	63.000	67800

Como lo demuestra el cuadro el conductor # 5 de Cobre de 3 hilos es el que menor costo me da (\$/ 57.600,00) Así como el de Aluminio Calibre # 1 de 7 hilos de aluminio y 1 de acero nos da (\$/ 43.600,00).

No escojo el de Aluminio debido a que por su blandura es factible que se rompa con mayor facilidad, especialmente el momento del montaje, y, en segundo lugar, causa mucha pérdida a pesar de ser el más económico debido a su baja conductividad. En cambio el de Cobre es más resistente mecánicamente y nos ofrece menor pérdida ya que tiene una conductividad de 97,3.

Caída de Tensión .-

Lo aceptable en líneas de transmisión es el 6 %. En realidad este factor así sea bajo, es factible de regularlo en los transformadores para que este sea mínimo.

Tensión a la Salida de la Fuente Generadora.-

Viene dada por la fórmula:

$$E_s = \sqrt{(E_r \times \cos f + I.R)^2 + (E_r \times \sin f + I.X)^2}$$

siendo:

E_s - Tensión de salida

E_r - Tensión de recepción 6.300Vlts

I - Corriente Máxima 46 A

R - Resistencia de un solo cable de la línea 3,73 ohmios

X - Reactancia del Conductor 2,2 ohmios

f - Angulo de desfase de la carga $36^\circ 50'$

Reemplazando estos valores en la fórmula:

$$E_s = \sqrt{(6.300 \text{ V} \times 0,8 + 46 \text{ A} \times 3,73)^2 + (6.300 \text{ V} \times 0,6 + 46 \text{ A} \times 2,2)^2}$$

$$E_s = 6.480 \text{ voltios}$$

La tensión que se pierde por caída será la diferencia de estas dos o sea :

$$6.480 \text{ voltios} - 6.300 \text{ voltios} = 180 \text{ voltios}$$

esta caída de tensión en porcentaje valdrá:

$$\frac{180 \text{ voltios}}{6.480 \text{ Volts}} = 0,0278 = 2,78\%$$

Esta caída es aceptable puesto que esta dentro de lo requerido para que no se produzcan muchas pérdidas.

Como el Factor de Potencia fué impuesto y debido a la impedancia de la línea, este cambiará su valor por consiguiente veo a continuación su modificación.

Factor de Potencia .-

Está dado por:

$$\cos f_2 = \frac{E_r \times \cos f + I.R}{E_s}$$

$\cos f_2$ = factor de potencia a calcularse

El resto de la nomenclatura de esta fórmula está explicada en la anterior.

Reemplazo los valores:

$$\cos f_2 = \frac{6.300 \text{ V} \times 0,8 + 46 \text{ A} \times 3,73 \text{ ohmios}}{6.450 \text{ Voltios}} = 0,795$$

Este valor de $\cos f_2$ 0,795 prácticamente es el mismo de 0,8 es aceptable el valor impuesto de 0,8.

Porcentaje de Pérdidas de Potencia.-

Esta dada por la Relación:

$$\% \text{ perdida de Potencia } p = \frac{I^2 \times R}{\text{Kw Generados.}} \times 100$$

$$\% p = \frac{3,46^2 \text{ A} \times 3,8 \text{ ohmios}}{400.000 \text{ wates}} \times 100 = 0,01 \%$$

Este valor también es aceptable ya que no es mucha la potencia que se pierde.

Aislación de la Línea .-

Ya que el comportamiento de Una Línea depende principalmente de la aislación de la misma, en la práctica, esto se resuelve de la mejor manera ya que el fabricante, nos envía productos garantizados al máximo, bajo todas las pruebas ne-

cesarias tanto en el aspecto eléctrico como en el mecánico.

El tipo de aislador que escojo es el de Pin con una tensión de descarga en seco de 5 a 6 veces la tensión Nominal. En cuanto a la resistencia mecánica considero un factor de 2 a 2,5 a pesar de que el aislador ya viene especificado la resistencia mecánica a que debe ser sometido.

Distancia entre Conductores .-

Según Manuales la distancia entre conductores para este caso o sea 6.300 voltios debe ser de tres pies o sea 91 Cm .

Diseño Mecánico de la Línea .-

Todos los esfuerzos que se ejercen sobre una línea de Transmisión, quien debe soportar, o mejor dicho, quien debe contrarestar estos esfuerzos son los postes, éstos deben cumplir las siguientes condiciones:

- a - Los postes deben tener una resistencia capaz de soportar de la línea, éstos pueden ser: cambios de dirección de la línea, presión del viento, peso del conductor, cambios de temperatura, etc.
- b - Los postes deben tener un factor de seguridad para soportar estos esfuerzos.
- c - Para la colocación de los postes, más que nada, prima el criterio de cada individuo, la disposición del terreno, siempre que se conserve una distancia constante del conductor más bajo y tierra.

Para tensiones de más o menos 30 Kv se usan postes de madera sencillos. Como la línea de transmisión de este proyecto tiene una tensión de 6,3 Kv bastará con el uso de postes de madera sencillos.

El primer esfuerzo que sufre la línea de transmisión, y que debe contrarrestar el poste, es el producido por el peso de los conductores y la presión del viento que efectúa sobre ellos, es también de anotarse el esfuerzo que produce también las nevadas; pero en el Ecuador no se ha registrado este fenómeno en tal forma que pueda aumentar el peso de los conductores, por lo tanto no lo tomo en cuenta.

Presión del viento 0,32 K/m

Peso del Conductor 0,22 K/m

estos datos son obtenidos del Libro Electrotecnia por el Ing.

A. Mendizabal.

Haciendo la composición de las fuerzas anteriores obtengo una resultante de 0,386 K/m.

La carga de rotura de este conductor es de 620 Kgs para tener una margen de seguridad los conductores se coloquen con una tensión de 580 Kgs.

Cálculo de la Flecha .-

La calculo por la fórmula Americana:

$$S = \frac{Wr \times Ls^2}{8 \times H}$$

siendo:

S = Flecha en metros.

Wr = fuerza resultante del peso del conductor y la presión del viento.

La = luz entre postes la luz adoptada por las normas es de 60 m

H = Tensión a que esta sometido el Conductor 580 K/m

$$S = \frac{0,386 \text{ k/m} \times 60^2 \text{ m}}{8 \times 580 \text{ Kgs}} = 0,285 \text{ mts.}$$

Para líneas cortas, que no sirven para el transporte de grandes energías se usan vanos de más o menos 80 mts por estas circunstancias que adopto 60 m como máximo.

De esta manera he calculado las diferentes flechas tanto para 45 m, 50 m y 55 m que son las flechas usadas en el proyecto ya que las luces son las indicadas.

Por el sector por donde atravieza la línea, no es poblado ni existen construcciones que pueden ser molestados por la línea, por lo tanto la distancia del conductor más bajo al suelo debe ser por lo menos de 6 m, para lo cual las torres deben tener 11 m, así mismo deben ser enterrados 1/6 de la altura o sea prácticamente 2 m.

Cálculo del Diámetro del Poste .-

Se puede calcular valiéndose de la fórmula:

$$Dt = 0,65 \times A \times K \sqrt{X \cdot a}$$

Dt = Diámetro tope del poste.

A = Altura del poste

K = coeficiente que depende de la tensión que está sometido el conductor para este caso vale 0,19

X = suma de los diámetros de los conductores.

a = Vano en metros.

0,65 = constante de la fórmula.

reemplazando valores:

$$Dt = 0,65 \times 11 \text{ m} + 0,19 \sqrt{60,6 \text{ mm}^2 \times 60 \text{ m}}$$

$$\begin{aligned} 60,6 \text{ mm}^2 &= 3 \text{ conductores de } 16,77 \text{ mm}^2 + 2 \text{ Cond de teléfono de } 5,26 \text{ mm}^2 \\ &= 50,3 \text{ mm}^2 + 10,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$Dt = 19 \text{ cm}$$

Generalmente se cuenta con un grado de esbeltez que es indicado por un aumento del diámetro en un 0,7 del diámetro tope o sea :

$$D = Dt + 0,7 \times Dt = 19 \text{ cm} + 0,7 \times 19 = 19 \text{ cm} + 13,3 \text{ cm} = 33 \text{ cm}$$

El diámetro del poste en la parte inferior debe ser de 33 cm.

En el dibujo # 10 se puede ver los detalles del poste así como en el Plano 09 el perfil de la Línea de transmisión.

Resistencias y reactancias de los conductores.-

Calibre	Material	Resistencia a 25° C	Reactancia a 25° C
1/0	Cu	0,3449	0,42214
1/0	Al	0,6960	0,4904
1	Cu	0,4344	0,43084
1	Al	0,8575	0,4960
2	Cu	0,5481	0,43954
2	Al	1,0253	0,4817
3	Cu	0,6911	0,44824
3	Al	1,2863	0,4935
4	Cu	0,8626	0,45514
4	Al	1,5846	0,4898
5	Cu	1,0876	0,46384
5	Al	1,9760	0,4960
6	Cu	1,3735	0,47314
6	Al	2,4732	0,5010

Cuadro de las Flechas a usarse en el proyecto de la Línea de trans-

Misión

Luz en metros	Flecha en Cm
45 m	0,17
50 m	0,21
55 m	0,25
60 m	0,32

Nota: Los Conductores de la Línea de Teléfono tendrá la misma flecha que los de alta tensión.

Capítulo III

PRESUPUESTO.-

El costo inicial de la obra, para mayor claridad va resumido en el cuadro siguiente:

	Cantidad	Precio Unitario	Total
<u>Bocatoma</u>			
Excavación	792 m ³	\$/ 8,0 m ³	\$/ 6.500
Hormigón	6,5 m ³	820,0 "	4.500
Manpostería Mortero cal arena	102 "	265,0 "	30.000
Compuertas de Madera	4	3.000c/u	12.000
Manpostería piedra mortero arena cal para los azudes	8,0 m ³	265	2.500
Hierro para las rejas			6.000
			<u>\$/ 61.500</u>
<u>Cámara de Presión</u>			
Excavación	504 m ³	\$/ 8,0	\$/ 5.000
Hormigón Armado	3 "	820	2.460
Manpostería Mortero cal arena	417 "	265	111.000
Compuertas de madera	2	3.000c/u	6.000
			<u>\$/ 124.460</u>
<u>Túnel</u>			
Excavación	3.420 m ³	\$/ 25,0	85.500
Revestimiento Manpostería Piedra	1.254 "	280	35.280
			<u>\$/ 120.700</u>
Compuerta de Madera de la Presa	1	3.000	3.000

Tubería

Excavación	120 m ³	\$/ 8,0 m ³	\$/ 960
Tubo chapa de acero	7,5 ton	11.550 ton	97.000
Anclajes: 3			
Hormigón Armado	36 m ³	820 m ³	29.520
Apoyos 10 hormigón	10 "	820 "	6.560
			\$/ 134.040

Casa de Máquinas

Excavación	210 m ³	\$/ 8,0 m ³	1.680
Hormigón Armado	260 "	820,0 "	213.000
Puertas y Ventanas	2 y 3		10.000
Turbina y Regulador			300.000
Generador trifásico, sincrónico con excitatriz directamente acoplada, factor de rendimiento 0,8 con 720 R.P.M. 60 ciclos Tensión de generación 400/231 voltios.			190.000
Tablero de control con 3 Amperímetros, 300 A, 3 Transformadores de corriente, Voltímetro 0 500 vol, conmutador para voltímetro, Amperímetro y Voltímetro para medir corriente y tensión de excitación, Medidor del factor de potencia, conmutador trifásico en cavina de hierro.			44.000
			\$/ 758.680

Línea de Transmisión

Postes, de madera con una longitud

de 11 m inclusive crucetas	66	\$/ 85,00/u	\$/ 6.000
Aisladores tipo pin 5 por poste	330	1,5 "	500
Transformador elevación 400/6.300 V	1		50.000
Conductor de cobre desnudo estira-			
do en frío AWG 3 hilos	1,6 ton	19.388 ton	31.000
Alambre de amarre de cobre suave	40 ks		1.000
Alambre para teléfono # 10 de ace-			
ro galvanizado	270 Ks	7.15 Ks	2.000
Abrazaderas de hierro redondo pa-			
ra sujeción de crucetas	132	9,5 c/u	1.254
Mano de obra a razón de \$/ 15 día-			
rios 30 obreros durante un mes			12.000
Material menudo, gasolina, wype, etc			2.000

\$/ 107.754

Costo total de la Obra:

\$/ 1'250.134,00

A este total habrá que aumentar el 10 % de dirección técnica y 10 % de imprevistos y reservas.

$1'250.134,00 + 250.000,00 = \$/ 1'500.134,00$

Si son 400 kw instalados el precio por cada uno de estos:

Precio Kilowatio Instalado.-

$$\frac{1'500.134,00}{400 \text{ kw}} = 3.800$$

o sea que el kilowatio instalado tendra un precio de \$/ 3.800,00 sucres.

Si los equipos de esta planta van a servir durante 25 años sin sufrir mayores daños,teniendo este tiempo de 219.000 horas,si la maquinaria produciría los 400 Kw durante este tiempo son 87'600.000 kwh .

El precio del Kwh sea de 20 centavos,esta instalación nos produciría 17'520.000 sucres.

Pago de empleados y mantenimiento \$/ 30.000 mensual este precio durante los 25 años es de 9'000.000 sucres agregando a este valor el del costo inicial de la obra,\$/ 1'500.134,00 son: 10'500.134,00

$\$/ 17' 520.000,00 - 10'500.134 = \$/ 7'011.866.00$

se puede amortizar anualmente:

$$\$/ \frac{7'011.866,00}{25} = \$/ 280.475 \text{ sucres anuales que se puede amortizar}$$

Como toda la energía no será vendida debido al factor de carga que en las primeras páginas es de 0,5 la cantidad a amortizar será ;

$$280.475 \times 0,5 = \$/ 140.237,5 .$$

B I B L I O G R A F I A

OBRAS

AUTOR

Salto Presas y Embalses	Gómez Navarro
Construcciones Hidráulicas	Ing. Vittorio Baggi
Motores Hidráulicos	Teren. Marcos Gándara
Problemas de Hidráulica	Ing. Otto Streck
Manual del Ingemiero	Hutte
Electrotecnia	Ing. Alfonso Mendizabal
Cálculos Electricos de Líneas de Transmisión	A Dalla Verde
Escuela del Técnico Electri- cista	Ing. Paul Hering
Notas de Clase proporcionadas por los señores profesores durante mi vida estudiantil.	
Referencias personales dadas por el Sr Ing Rino Lanfranco.	

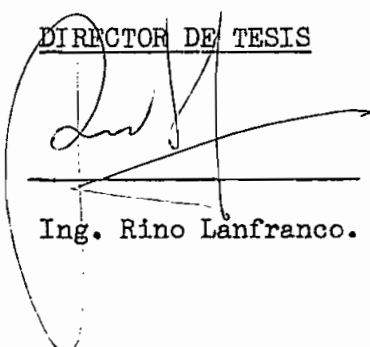
INDICE DE PLANOS

Obras de Toma y Desarenador	Plano	01
Desarrollo Túnel	"	02
Sección Túnel	"	03
Cámara de Presión	"	04
Perfil Tubería de Presión	"	05
Topografía Sitio Casa De Máquinas	"	06
Casa de Máquinas	"	07
Compuerta y Azud	"	08
Perfil Longitudinal de la Línea de Transmisión	"	09
Dibujo del Poste	Dibujo	10
Esquema de los Esfuerzos de los Bloques de Anclajes	"	11

I N D I C E

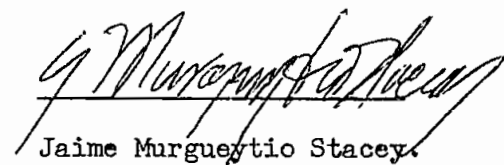
	Página
<u>CAPITULO I</u>	
Anclajes	25
Apoyos	35
Azud (presa)	7
Casa de Máquinas	46
Cámara de Presión	35
Compuertas	38
Desarenador	5
Distancia entre Vertederos	5
Reja	44
Tuberías	13
Túnel	3
 <u>CAPITULO II</u>	
Línea de Transmisión	48
 <u>CAPITULO III</u>	
Presupuesto	60
Bibliografía	64
Indice de Planos	65
Indice de Materias	66

DIRECTOR DE TESIS



Ing. Rino Lanfranco.

ALUMNO



Jaime Murguettio Stacey.