

[ANEXO 2]

CÁLCULOS HIDRÁULICOS

A2.1 POTENCIA DE UNA PCH.

Teniendo en cuenta el desplazamiento del caudal Q desde el punto 1 al punto 2 se encuentra la potencia del aprovechamiento (figura 55).

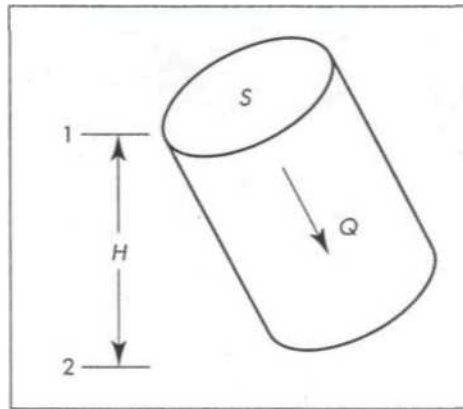


Figura 55 Representación de las magnitudes físicas requeridas para encontrar el potencial del recurso [5]

Presión:

$$p = d \times g \times H \quad (42)$$

Donde

d es la densidad del fluido

g es la aceleración de la gravedad

H es la caída en metros

Potencia:

$$P = F \times v \quad (43)$$

Donde

F es la fuerza

v es la velocidad

Fuerza:

$$F = p \times S \quad (44)$$

Donde

S es la sección en m^2

Si se sustituye la ecuación (42) en (44) y el resultado se sustituye en la ecuación (43) se obtiene la ecuación de potencia (45)

$$P = d \times g \times H \times S \times v \quad (45)$$

Como el caudal es:

$$Q = v \times S \quad (46)$$

Sustituyendo la ecuación (45) en (46) se obtiene:

$$P = d \times g \times H \times Q \quad (47)$$

Finalmente se tiene para el agua que $d=1000\text{kg}/\text{m}^3$ y $g=9.8 \text{ m}/\text{s}^2$ y haciendo un análisis dimensional se tiene que la potencia es:

$$P = 10^3 * 9,81 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * H(\text{m}) * Q\left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}}\right) \quad (48)$$

$$\text{Kg} * \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = \text{N} * \text{m} = \text{W} \quad \text{Vatios}$$

$$P = 9.8 * 10^3 * H * Q \text{ (W)}$$

$$P = 9.8 * H * Q * \eta \text{ (kW)} \quad (49)$$

Donde:

P es la potencia del recurso en kW

Q es el caudal en m^3/s

H es la altura en m

9.8 es el peso específico del agua

η es la eficiencia de la PCH

A2.2 DETERMINACIÓN DEL SALTO O CAÍDA

A2.2.1 Instrumentos utilizados y condiciones de ensayo

El altímetro utilizado fue el GPS Garmin eTrex Vista que cuenta con un medidor de presión barométrica para determinar la altura previo a una debida calibración del mismo. Así como formatos de recolección de datos el día del ensayo fue el 27/04/2008 las condiciones climatológicas fueron favorables y hubo abundante sol.

A2.2.2 Procedimiento.

El procedimiento usado fue el siguiente; se calibró el altímetro del GPS por medio de un punto de altura conocida cercano al sitio de las mediciones el cual fue determinado a través del mapa 6642-II –NE escala 1:25000 con curvas de nivel cada 20 metros de la Dirección de Cartografía Nacional. Luego se registraron mediciones de cota durante 4 veces con intervalo 30 minutos entre la medición en la cámara de carga y la casa de máquinas los datos obtenidos se presentan en la tabla 20

Tabla 20 Alturas medidas a diferentes horas

Hora	09:00	09:30	12:00	12.30	15:00	15:30	18:00	18:30
Cámara de Carga	290 msnm	-	285 msnm	-	288	-	279 msnm	-
Casa de Máquina	-	176 msnm	-	161	-	169	-	162 msnm

A2.3 EL DIAGRAMA DE MOODY PARA PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS DE ACERO

A2.3.1 Cálculo de las Pérdidas en la Tubería Forzada

Partiendo de la fórmula del caudal:

$$Q = \frac{\pi \times D^2}{4} \times V \quad (50)$$

Q - Caudal que circulara por el interior de la tubería 1 m³/s

D - Diámetro de la tubería 0,8 m

V - Velocidad media en el interior de la tubería

Conociendo el valor del caudal y del diámetro de la tubería se tiene:

$$V = \frac{Q \times 4}{\pi \times D^2} \quad (51)$$

$$V = 1,99 \text{ m/seg}$$

Una vez encontrada la velocidad en el interior de la tubería ya se podrá encontrar las pérdidas en la tubería. Se distinguen 2 tipos de pérdidas, las primarias que serán las pérdidas ocasionadas por el rozamiento en el tramo de tubería longitudinal y las pérdidas

secundarias que se presentan en todo tipo de cambio de dirección, cambio de forma o en cualquier tipo de accesorio.

A2.3.1.1 Cálculo de las pérdidas primarias en la tubería mediante el diagrama de Moody

Conocidos el Q, L, D, v, k:

- 1.- Según el material de la tubería se toma k de la tabla 1.1
- 2.- Se calcula la rugosidad relativa k/D
- 3.- Se calcula el número de Reynolds $Re = (VI \times D) / (v)$
- 4.- Se lee λ en el diagrama de Moody
- 5.- Este valor de λ se lleva a la ecuación de Darcy-Weisbach y se calcula H_{rp}

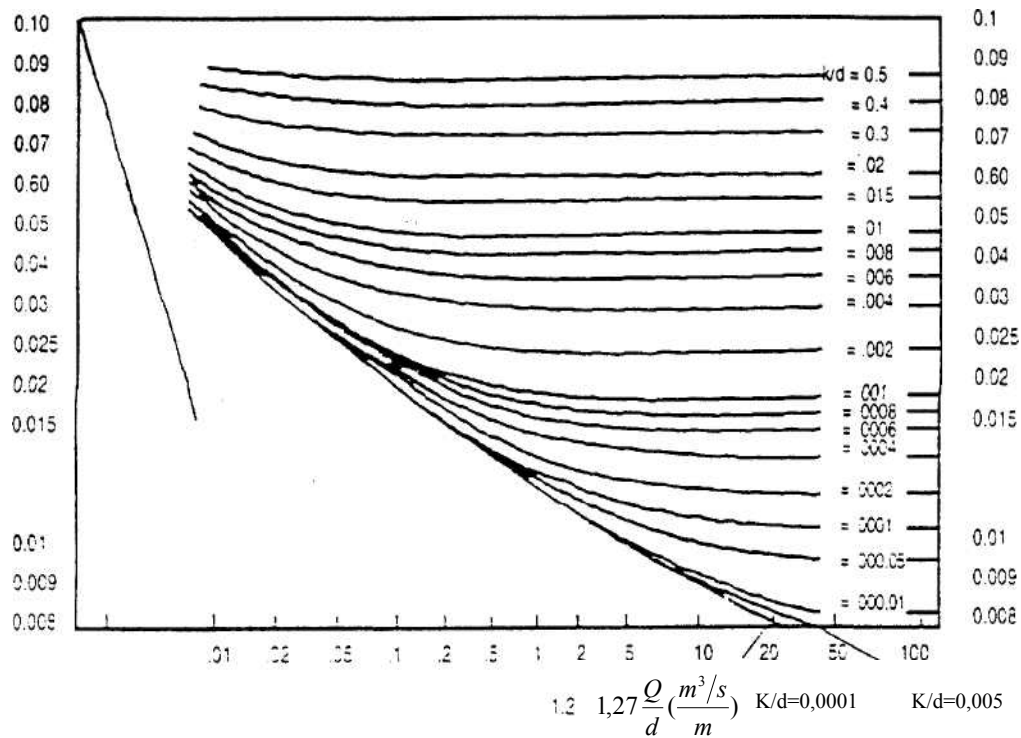


Figura 56 Diagrama de Moody [3]

Material de la tubería forzada es hierro con corrosión leve por lo que se tiene:

Rugosidad absoluta $K=3,0$ Rugosidad relativa $K / D =0,00375$

Cálculo del número de Reynolds:

$$Re = (V \times D) / (\nu) \quad (52)$$

$$\nu \text{ agua} = 1,007 \times 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/seg)}$$

$$Re = 1580933,466$$

Una vez obtenidos los valores de la rugosidad relativa y el número de Reynolds, gracias al diagrama de Moody, se obtiene el valor λ

$$\lambda = 0.03$$

Una vez obtenido el valor λ se aplica la ecuación de Darcy-Weisbach y se obtiene las pérdidas primarias en la tubería.

Ecuación Darcy-Weisbach

$$H_{rp} = (k \times L \times V^2) / (D \times 2g) \quad (53)$$

$$H_{rp} = 14,13 \text{ m}$$

En todo el tramo de tubería no existen ni ensanchamientos ni contracciones por lo que solo existirán pérdidas secundarias en la válvula de entrada de la tubería y en la válvula de salida de la tubería antes de entrar a la turbina.

A2.3.1.2 Cálculo de las Pérdidas Secundarias:

$$\text{Hrs} = (k \times V^2) / (2g) \quad (54)$$

El coeficiente k , de una válvula depende del tipo de la misma (compuerta, mariposa, entre otros) del diseño particular dentro de cada tipo y del grado de apertura dentro de cada válvula.

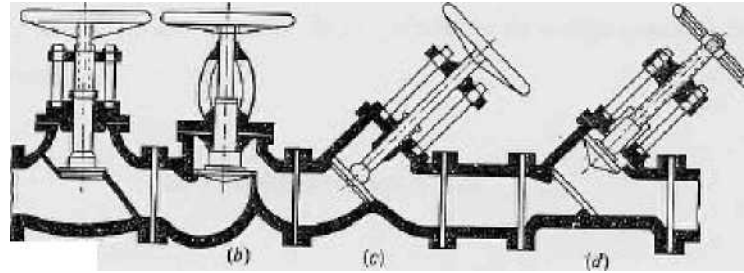


Figura 57 Determinación del coeficiente k para válvulas [7]

Para las válvulas que se representan en la figura 57. Los coeficientes k , se toman de la tabla

Tabla 21 Coeficientes k Para válvulas (valores aproximados) [3]

Esquema	A	B	C	D
k	2,9	2,0 a 2,7	1,4 a 2.5	0,44 a 0,8

Nota. - Los coeficientes k , correspondientes a los accesorios tales como válvulas, filtros, tubos de intercambiadores de calor, etc., habrán de obtenerse del fabricante, de los formularios o de ensayos realizados con el accesorio mismo.

Empleando válvulas de clase A por lo que: $k=2,9$

Una vez obtenido el coeficiente de la válvula se tendrá que las pérdidas secundarias en las 3 válvulas (una en cámara de carga, una en la entrada de la Planta y una en la entrada de cada grupo) es:

$$Hrs = 1,76 \text{ m}$$

Finalmente tendremos que el valor de las pérdidas de carga totales en el tramo de la tubería forzada es:

$$H_{rtotal} = H_{rp} + H_{rs} \quad (55)$$

$$H_{rtotal} = 16,06$$

Salto bruto: 118,5 m

Salto neto H=102.44 m

Tabla 22 Valores de rugosidad absoluta (K) en mm [3]

Material	Estado		
	Bueno	Normal	Malo
Tuberías lisas PVC		0.003	
Polietileno		0.003	
Resina de Poliester con fibra de		0.003	
Concreto	0.6	0.15	0.6
Acero Comercial			
- no pintadas	0.015	0.03	0.06
- pintadas	0.03	0.06	0.15
- galvanizadas	0.06	0.15	0.3
Hierro fundido			
- nuevas	0.015	0.3	0.6
- viejas:			
corrosión leve	0.6	1.5	3.0
corrosión moderada	1.5	3.0	6.0
corrosión severa	6	15	30

A2.4 ELECCIÓN DE LA TURBINA

Para la elección de la turbina se utilizará la clasificación de las turbinas según su número específico de revoluciones:

$$n_s = \frac{n\sqrt{P}}{H^{\frac{5}{4}}\sqrt{H}} \quad (56)$$

n_s — n° r.p.m específico

n - n° r.p.m de sincronismo (la velocidad que quiero que se mueva el eje)

P_a — Potencia en CV

H — altura del salto

A2.4.1 Potencia Teórica del Salto

$$P = 1000 \times g \times Q \times H' \quad (57)$$

g - gravedad

Q – caudal de diseño = 2m³/s

H - altura de salto útil

$$P = 2728,02 \text{ CV}$$

Para efectos de la casa de máquinas ésta potencia teórica se dividirá entre 3 grupos, por tanto la potencia teórica por grupo es:

$$P_{\text{grupo}} = 909,34 \text{ CV}$$

A2.4.2 Potencia en el eje del generador

$$P_g = 1000 \times g \times Q \times H' \times \eta_t \quad (58)$$

El rendimiento de la turbina se aproxima a 0,82

$$P_g = 745,65 \text{ CV}$$

A2.4.3 Potencia Eléctrica Suministrada al Generador

$$P_a = 1000 \times g \times Q \times H' \eta_t \eta_g$$

El rendimiento del generador se supone como 0,92

$$P_a = 686,00 \text{ CV}$$

$$P_a = 504,90 \text{ kW}$$

A2.4.4 Número de Revoluciones por Minuto

El número de revoluciones por minuto al que se quiere que se muevan los grupos sin la necesidad de utilizar una caja de transmisión es de 1200 RPM dado que con ésta velocidad se obtiene una frecuencia de 60 Hz con una máquina sincrónica de 3 pares de polos

A2.4.5 Velocidad específica

Se utiliza la ecuación (56)

$$n = 1200 \text{ RPM}$$

$$P = 686,00 \text{ CV}$$

$$H = 102,44 \text{ m}$$

$$n_s = 302,68 \text{ RPM}$$

Esto significa que se puede seleccionar turbinas que tengan hasta ésta velocidad específica

Con ayuda de la figura 58 se selecciona la turbina que para éste caso será la turbina Francis normal con una altura aprovechable de 100m y una velocidad

especifica de 200RPM también se debe observar que la turbina elegida no debe trabajar por debajo del 60% de su capacidad porque sino es ineficiente.

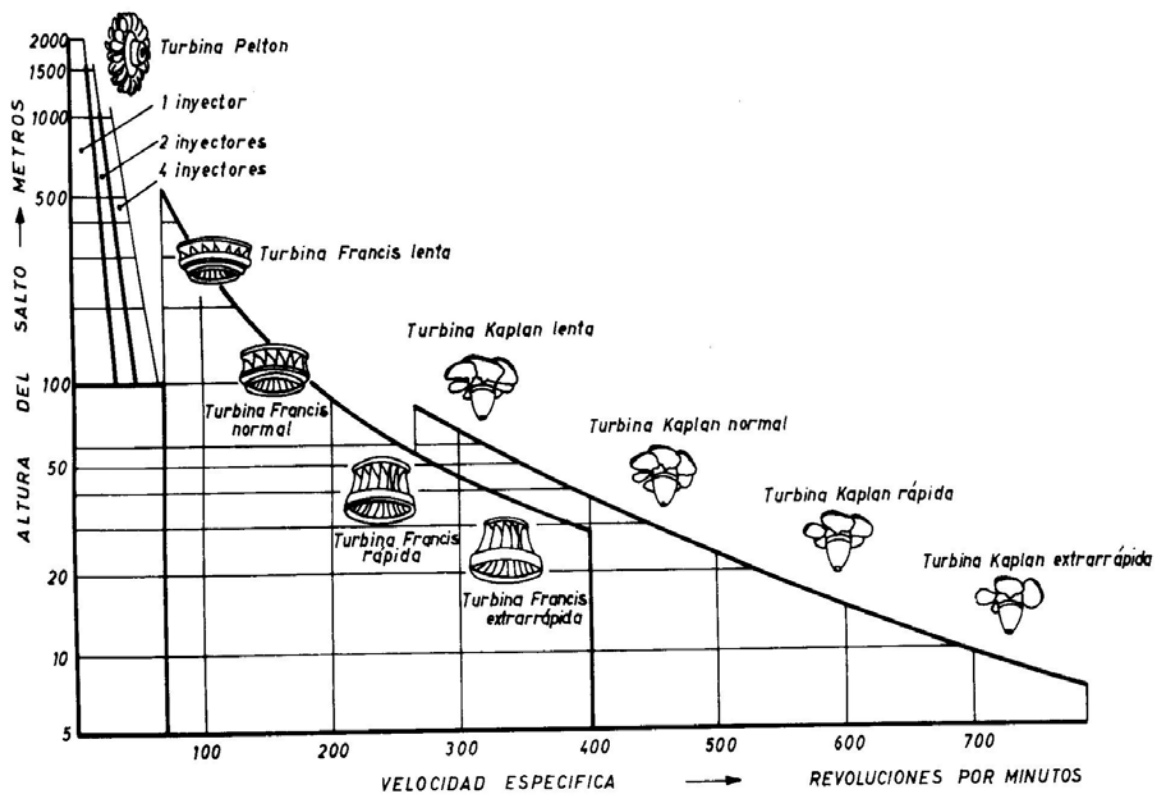
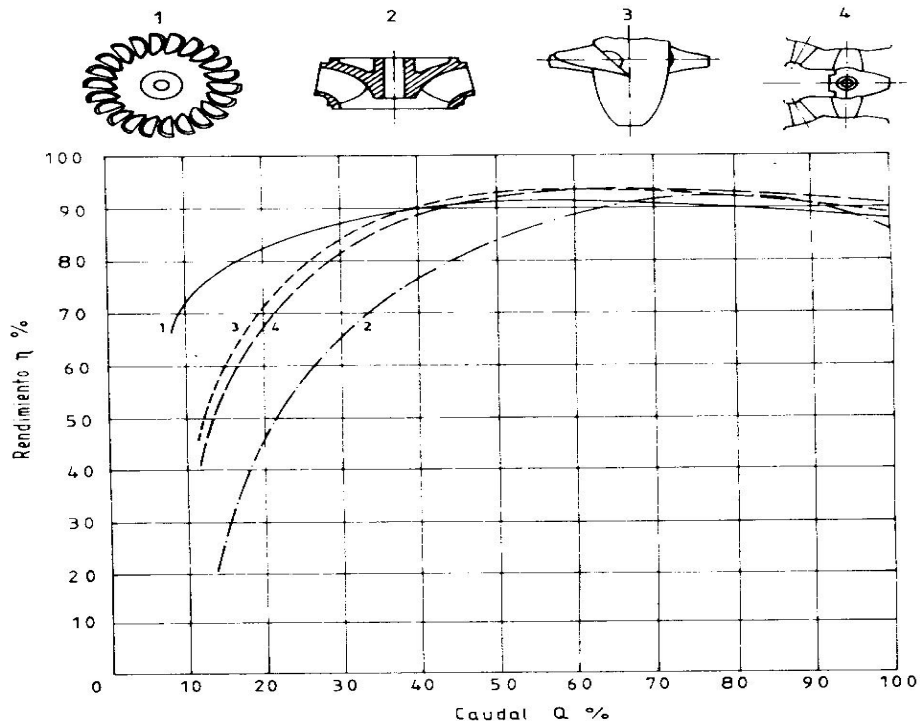


Figura 58 Tipo de rodete según velocidad específica y altura del salto [7]



Tipo: 1) Pelton, 2) Francis, 3) Kaplan, 4) De hélice

Figura 59 Eficiencia de los distintos tipos de rodete [7]

En el caso del rodete tipo Francis, se observa que debe funcionar por encima del 60% del caudal de diseño para que tenga una eficiencia apropiada.