

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

MODELACIÓN Y DISEÑO DIGITAL PARA MICRO CENTRALES DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

Mallitásig Panchi Oscar, Ing.
Tapia Luis, Ing.

Escuela Politécnica Nacional

ABSTRACT

A digital program is presented in this project of degree, which helps to design small hydropower plants and select main equipment in its power station.

Measurements methods are used to determine the flow and the height of design such as it is described in the whole project.

A description of hydraulic turbines classification is realized, as well as the way to calculate the reference dimensions of the turbines and the generator characteristics.

The procedure to select a hydraulic turbine is developed. "Pequeñas Centrales Hidroeléctricas Escuela Politécnica Nacional", PCHepn was created as a basic software in MATLAB platform. It determines the reference dimensions of the turbines and the main equipment of its power station.

Moreover, there are the general specifications of the main equipment of the power station.

RESUMEN

En este artículo se realiza un programa digital que permite ayudar al diseño de las pequeñas centrales hidroeléctricas y a la selección de los equipos principales de la subestación.

Se realiza una descripción de la clasificación de las turbinas hidráulicas, y los pasos para calcular las dimensiones de referencias de las turbinas y las características del generador.

A continuación se desarrolla el procedimiento para seleccionar una turbina hidráulica y se presenta un programa computacional básico, PCHepn "Pequeñas Centrales Hidroeléctricas Escuela Politécnica Nacional" en plataforma MatLab, desarrollado para determinar las dimensiones de referencia de la turbina y equipos principales de la subestación.

Se realizan las especificaciones generales de los equipos principales de la subestación.

1. INTRODUCCIÓN

Las centrales hidroeléctricas, y dentro de ellas las mini centrales hidroeléctricas, están muy condicionadas por las peculiaridades y características que presente el lugar donde vayan a ser ubicadas. Las centrales se clasifican según el tipo de utilización del agua y según la altura del salto de agua.

El conocimiento de información de caudales del río en la zona próxima a la toma de agua es impredecible para la determinación del caudal de diseño. Las mediciones de los caudales del río se realizan en las estaciones de aforo donde se registran los caudales instantáneos que circulan por el tramo del río donde esta ubicado la estación y a partir de éstos se determinan los caudales máximos, medios y mínimos diarios correspondientes a un gran número de años.

El salto neto o la altura neta es otro parámetro fundamental para el diseño de una mini central hidroeléctrica, deberá ser la máxima altura permitida por la topografía del terreno, teniendo en cuenta los límites que marcan la afección del medio ambiente y la viabilidad económica de la derivación.

La energía eléctrica de una PCH se obtiene aprovechando la energía cinética que adquiere el caudal Q al final de una caída H , la cual es transformada por una turbina en energía mecánica y posteriormente en energía eléctrica por el generador.

La potencia hidráulica que puede generar una central hidroeléctrica, viene dada por la siguiente expresión:

$$P=9.8 \cdot H \cdot Q \quad (1)$$

Donde:

P = Es la potencia hidráulica kW

Q = Es el caudal en m^3/s

H = Es la altura en m

Cuando ya se tiene la energía en los centros de generación, es necesario transportar la energía hacia los centros de consumo. Debido a que la ubicación de las pequeñas centrales

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

hidroeléctricas no coincide con las cercanías de los principales centros de consumo es necesario contar con un sistema de transmisión que sea capaz de transportar energía a través de largas distancias.

El paquete computacional propuesto determina el tipo de turbinas y los parámetros principales del generador y la subestación.

2. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO

Los parámetros de diseño que se debe tener presente son los siguientes:

- Caudal de diseño
- Altura neta
- Eficiencia de la turbina
- Eficiencia del generador
- Velocidad sincrónica
- Número de unidades de generación

2.1 Caudal de diseño

Es importante determinar un caudal de diseño, para definir el equipamiento que será instalado en la central (tipo de turbina), de tal forma que la energía producida por la turbina sea la máxima en función de la hidrología. Las mediciones de los caudales del río se realizan en las estaciones de aforo, y a partir de estos valores se determina los caudales máximos, medios, y mínimos diarios [1].

El caudal aprovechable se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_t = Q - (0.1 * Q_m) \quad (2)$$

Donde:

Q_t = Es el caudal aprovechable en $[m^3/s]$.

Q = Es el caudal de diseño en $[m^3/s]$.

Q_m = Es el caudal medio anual en $[m^3/s]$.

Cada tipo de turbina tiene un rango de funcionamiento con un caudal máximo y un caudal mínimo, si se tiene un caudal por debajo del caudal mínimo, la turbina no funcionará con un rendimiento adecuado.

2.2 Altura Neta

La altura neta (H_n) es igual a la altura bruta menos las pérdidas de carga. La altura bruta (H_b) es la diferencia entre el centro de gravedad del volumen útil del embalse y el nivel de restitución del caudal turbinado. Las pérdidas de carga (H), son ocasionadas por pérdidas en la toma, pérdidas en

el canal de desviación y pérdidas en la tubería forzada. Las pérdidas de carga se pueden considerar en una primera estimación, entre el 5% y el 10% del salto bruto [1].

La altura neta se determina de la siguiente relación:

$$H_n = H_b - \Delta H \quad (3)$$

Donde:

H_n = Altura neta [m]

H_b = Altura bruta [m]

H = Pérdidas de carga [m]

Para calcular la pérdida que se produce en la tubería forzada se aplica la siguiente ecuación:

$$\Delta H = 6.35 * \frac{n^2 * L * V^2}{d^{3/4}} \quad (4)$$

Donde:

H = pérdidas que se produce en la tubería en [m]

n = coeficiente de rugosidad

L = longitud de la tubería [m]

V = velocidad en la tubería [m/s]

d = Diámetro de la tubería [m]

El valor de “n” se tomará de 0.013 para túneles con revestimiento de hormigón, y 0.012 para tuberías de presión.

2.3 Eficiencia de la turbina

El rendimiento se define como la relación entre la potencia mecánica transmitida al eje de la turbina y la potencia hidráulica correspondiente al caudal y salto nominales. Las turbinas se diseñan para trabajar con el caudal nominal y un rendimiento máximo.

En la siguiente tabla se describe el rango de eficiencias de turbinas para el 100% del caudal nominal [2].

Tabla 1.1 Eficiencias de turbinas para el 100% del caudal nominal (GILKES HYDROPOWER)

TIPO DE TURBINA	EFICIENCIAS [%]	[%] (Diseño)
PELTON	80 - 95	90%
MICHELL	70 - 85	85%
FRANCIS	80 - 97	93%
KAPLAN	80 - 97	90%

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

2.4 Eficiencia del generador

El rendimiento del generador esta en un rango del 93% al 98.5% para condiciones de funcionamiento normal [2].

Para el diseño de la pequeña central hidroeléctrica se asume un rendimiento del 93%.

2.5 Velocidad sincrónica

La velocidad de giro de la turbina está relacionada con la caída neta, el caudal aprovechable, y las dimensiones del rodete. Cuando la velocidad de la turbina no coincide con la velocidad sincrónica del generador, se deben emplear sistemas de transmisión, de movimiento y potencia mecánica por medio de elementos mecánicos que son: bandas, cadenas de rodillo, engranajes, etc.

La frecuencia que se requiere en los terminales del generador es un parámetro que se debe cumplir para poder realizar la interconexión con el sistema, debe recordarse que la frecuencia se regula por medio de la máquina motriz.

La velocidad del generador está definida por la frecuencia a la que debe operar y se determina por la siguiente expresión [3]:

$$N = \frac{120 * f}{p} \quad (5)$$

Donde:

N=Número de revoluciones por minuto [rpm.]

f = frecuencia del sistema [Hz]

P= Número de pares de polos del generador.

2.6 Número de unidades de generación

Para determinar el número de unidades de generación, se debe analizar tres aspectos principales que son:

- La capacidad de la turbina.- Se determina en base al caudal de diseño y la altura neta. El caudal de diseño es un valor variable, por lo cual, puede disminuir o aumentar a lo largo del año. Con esta variación de caudal se puede determinar el número de unidades.
- La curva de duración de caudales.- Es útil en la determinación de unidades ya que presentan caudales variables a lo largo del tiempo.
- La eficiencia de la turbina.- determina una gran flexibilidad de funcionamiento, ya que

permite turbinar con caudales superiores o inferiores al caudal nominal, con una eficiencia considerable. Dependiendo del tipo de turbina que se vaya a utilizar, y con ayuda de la curva de duración de caudales, se puede determinar el número de unidades de generación.

2.7 Selección de turbinas hidráulicas.

El tipo de turbinas hidráulicas se puede determinar de dos formas:

1. Selección de la turbina en coordinación con el fabricante.- Para preseleccionar la turbina a instalar en la pequeña central hidroeléctrica, se utilizan unos ábacos que suelen facilitar los fabricantes de turbinas. Con ellos, se determina el tipo de turbina a partir de los parámetros de salto y caudal.
2. Selección de la turbina en función de la velocidad específica.- La velocidad específica N_s es el número de revoluciones que daría una turbina semejante a la que se trata de buscar y que entrega una potencia de un caballo, al ser instalada en un salto de altura unitaria [4]. La velocidad específica (N_s) de una turbina se obtiene de la siguiente ecuación:

$$N_s = \frac{n * \sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad (6)$$

Donde:

N_s = Es el número específico de revoluciones

n = Son las revoluciones por minuto

P = Es la potencia al freno de la turbina

H = Es la altura neta

De acuerdo al número de revoluciones se clasifican en:

- Turbinas Lentas
- Turbinas Normales
- Turbinas Rápidas
- Turbinas Ultrarrápidas

A continuación se muestra en la tabla 1.2 los valores de la velocidad específica para diferentes tipos de turbinas.

Tabla 1.2 Valores de velocidad específica para diferentes tipos de turbinas [5]

Velocidad específica N_s	Tipo de Turbina
----------------------------	-----------------

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

De 5 – 30	Pelton con un inyector
De 30 – 70	Pelton con varios inyectores
De 40 - 160	Michell - Banki
De 60 – 150	Francis Lenta
De 150 – 250	Francis Normal
De 250 – 450	Francis Rápida
De 450 – 600	Francis Extra rápida
Más de 500	Kaplan o hélice

3. SELECCIÓN DEL GENERADOR

Existen dos tipos de generadores, los sincrónicos y los asincrónicos o de inducción, ambos son empleados en micro centrales hidráulicas con un aceptable grado de confiabilidad y calidad de energía.

Los generadores sincrónicos son capaces de suministrar la energía reactiva de la carga, por lo cual, pueden utilizarse para redes aisladas al sistema o conectadas al sistema, son más complejos debido a que posee un sistema de control de la excitación.

Los generadores de inducción no pueden suministrar energía reactiva por lo que, tanto el reactivo de la excitación propia como el reactivo de la carga, debe ser suministrado por capacitores, los cuales pasan a formar parte esencial de la instalación. La gran ventaja de este tipo de generador es que se encuentra en el mercado a un menor precio.

Las especificaciones del generador deben ser tanto eléctricas como mecánicas; como la capacidad del generador, los soportes, temperatura de operación, etc.

A continuación se presentan una lista de características y componentes del equipo de generación.

- Continuidad de trabajo
- Características de frecuencia, voltaje y velocidad.
- Sobre velocidad relacionadas con la turbina.
- Número de fases, si es monofásico o trifásico.

- Los kVA, kW, factor de potencia y su eficiencia.
- Temperatura ambiente, humedad, altitud.
- Equipo de monitoreo como medidores de frecuencia, de voltaje, de corriente, de potencia.
- Regulador automático de voltaje.
- Sistema de gobernador.
- Protecciones de sobre velocidad, baja velocidad, sobrecarga, cortocircuito.
- Dimensiones físicas y peso.
- Expectativas de vida de los componentes y posibilidad de remplazarlos.

3.1 Características del generador

Para el cálculo de la potencia a la salida del generador se debe considerar el rendimiento del generador que esta en un promedio (93% - 98.5%), también se debe considerar la eficiencia de transmisión de potencia mecánica por la conexión del eje de la turbina y el eje del generador.

$$P_G = P * \eta_{TR} * \eta_G \quad (7)$$

Donde:

η_{TR} = Es la eficiencia de la transmisión de potencia mecánica

η_G = Es la eficiencia del generador

Para calcular la potencia aparente (S) se debe considerar el factor de potencia de acuerdo a la red que se conecte.

$$S_G = \frac{P_G}{f_P} \quad (8)$$

Donde:

S_G = Potencia aparente [kVA]

f_P = Es el factor de potencia.

Para seleccionar el voltaje nominal a los terminales del generador se debe establecer voltajes que se encuentren en el sistema eléctrico, los valores estándar (Norma IEEE 1547 Standard for DR Interconnection with power Systems) son: 2.4kV, 3.3kV, 4.16kV, 6.3kV, 13.8kV. Una vez que se tiene el voltaje adecuado se determina la corriente nominal del generador:

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

$$I_G = \frac{S_G}{\sqrt{3} * V_G} \quad (9)$$

Donde:

I_G = corriente nominal del generador.

V_G = Voltaje nominal del generador

4. SUBESTACIÓN

La subestación eléctrica asociada a una central hidroeléctrica es la encargada de interconectar los grupos generadores con las líneas de transmisión a través de un transformador. Las S/E están sujetas a eventos tales como: descargas atmosféricas, propagación de ondas de sobrevoltaje y fallas en el sistema, los cuales pueden provocar fallas de aislamiento, dando como resultado daños en el equipo.

En los sistemas regionales de nuestro país la mayoría de subestaciones son aisladas en aire y por lo tanto usan equipamiento de tipo convencional. En lo que respecta a la configuración de las S/E, el uso del esquema de barras se aplica en función del nivel de voltaje.

El nivel de voltaje que se utiliza en las PCH, corresponden a niveles de subtransmisión y distribución y el sistema predominante es el de barra simple.

4.1 EQUIPOS PRINCIPALES DE LA SUBESTACIÓN

Los equipos principales de alto voltaje que tiene la subestación son:

- Transformador principal
- Transformador auxiliar
- Equipos de corte y seccionamiento.- corresponden a disyuntores y seccionadores empleados en los generadores y líneas de transmisión.
- Transformadores de medida y protección.- Son los transformadores de potencial y de corriente, que se utiliza para los sistemas de medida y protección.
- Equipos de protección contra sobrevoltajes de maniobra o descargas atmosféricas.- corresponden a los pararrayos y los equipos de apantallamiento de la subestación (cables de guarda y mástiles).

5. PROGRAMA PCHepn

El programa PCHepn (figura 1.1) simula pequeñas centrales hidroeléctricas, usando el programa computacional MatLab.



Figura 1.1 Ventana pequeñas centrales hidroeléctricas

El paquete computacional propuesto, calcula los accesorios mecánicos y eléctricos para diferentes turbinas hidroeléctricas, Pelton, Michell – Banki, Francis, y Kaplan. Para el cálculo de la PCH se debe conocer los parámetros fundamentales de diseño que se mencionaron anteriormente.

En la figura 2.2 se presenta la metodología implantada para la seleccionar el tipo de turbina y los parámetros del generador y la subestación.

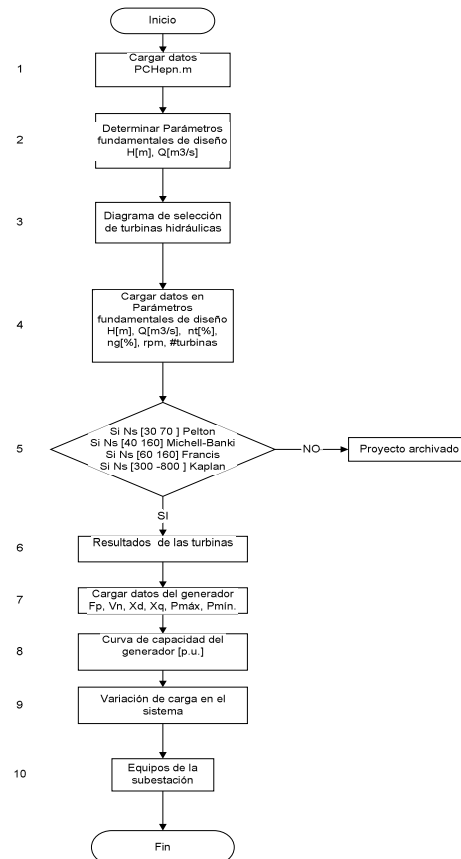


Figura 1.2 Algoritmo usado para la ejecución del programa

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

1. Para la ejecución del programa, se almacena todos los archivos m que contiene la carpeta MallicPCH en la unidad C. Luego se escribe en la ventana de comandos de MatLab >>PCHepn y comienza a ejecutar el programa.
2. Se determina el caudal de diseño y la altura neta
3. El programa presenta un diagrama de selección de turbinas, donde el diseñador puede preseleccionar la turbina en función de la altura y caudal.
4. El diseñador ingresa los datos fundamentales de diseño (Q, H, nt, ng, rpm, y número de turbinas). El programa calcula el valor específico Ns y Nq, para seleccionar la turbina en base a la velocidad específica.
5. Con los rangos de la velocidad específica determinados por el programa, el diseñador selecciona el tipo de turbina que el programa propone. En caso de que el programa no seleccione el tipo de turbina, se tendrá que hacer nuevos estudios, ya que puede estar ingresando datos incoherentes.
6. Cuando el programa y el diseñador escogieron el tipo de turbina, el programa ejecuta y calcula las dimensiones de referencia de la turbina y reporta al diseñador.
7. El diseñador ingresa los datos de los parámetros del generador: factor de potencia, voltaje terminal, reactancia sincrónica (xd y xq), potencia máxima y mínima de la turbina. El programa calcula la potencia aparente y la corriente nominal del generador,
8. El diseñador pulsará un comando para indicar al programa que ejecute y determine la zona segura de operación.
9. Usando otra herramienta fundamental de MatLab (Simulink) se modela el regulador de velocidad de una turbina hidroeléctrica y el regulador de voltaje. El diseñador ingresa valores propios de la máquina, y el programa ejecuta y determina las curvas de velocidad, posición de las válvulas, potencia mecánica y la variación de voltaje.
10. El diseñador ingresará el voltaje secundario del transformador principal, la potencia aparente y el voltaje primario del transformador auxiliar. Se ejecuta el programa y reporta los parámetros fundamentales del generador, transformador y equipos principales de la subestación.

5.1 Aplicación del programa PCHepn

Para realizar la aplicación del programa, se tomó como ejemplo el Estudio de Prefactibilidad de la Central Hidroeléctrica Tulipe. Estudio realizado para el Ministerio de Electrificación y Energía Renovable por la Escuela Politécnica Nacional.

Caudal de diseño

Para determinar el caudal aprovechable en el programa PCHepn (figura 1.3) se realizan los siguientes pasos:

- Se ingresa el tiempo elegido por el diseñador. En el diseño de la central Tulipe se consideró el 50% del tiempo que dura el caudal.
- Se genera el programa, y se tienen los siguientes resultados:
 - El caudal probabilístico o caudal natural
 - El caudal aprovechable, que es el caudal natural menos el caudal ecológico.
 - El factor de planta, que es la relación entre la energía producida versus la máxima energía teóricamente generada [6].

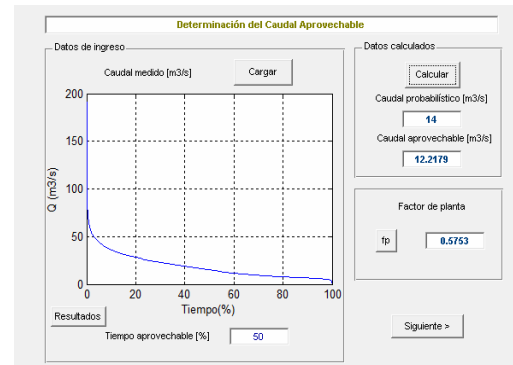


Figura 1.3 Determinación del caudal aprovechable del río Alambi

Altura neta

Para determinar la altura neta se requiere conocer los siguientes parámetros:

- El Coeficiente de rugosidad
- Caudal aprovechable
- Diámetro de la tubería
- Altura bruta
- Longitud de la tubería

Los valores mencionados anteriormente se ingresan al programa (figura 1.4). Se ejecuta el programa y reporta el valor de la altura neta.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

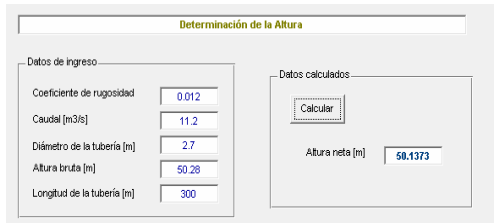


Figura 1.4 Determinación de la altura neta

Selección de la turbina en coordinación con el fabricante

Con la altura de 50 [m] y un caudal de 5.6 [m³/s] se puede elegir una turbina Francis o una turbina Kaplan. Para el diseño de la PCH se eligió a la turbina Francis ya que este tipo de turbina garantiza la máxima rentabilidad con un mayor rendimiento y permite variaciones de caudales con respecto al caudal nominal.

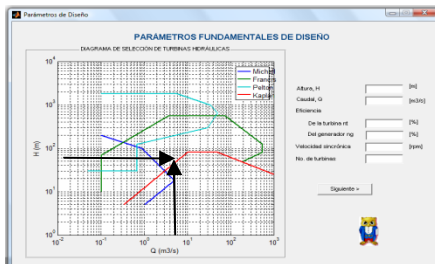


Figura 1.5 Diagrama de selección de turbinas hidráulicas

Selección de la turbina en base a los parámetros de diseño

Para determinar el tipo de turbina en base a los parámetros fundamentales de diseño se realiza los siguientes pasos:

- Se Ingresa al programa, los datos fundamentales de diseño. (figura 1.6)

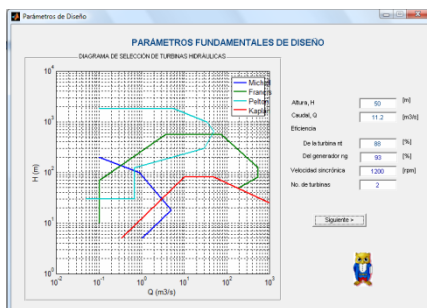


Figura 1.6 Parámetros de diseño

- Hacer clic en siguiente>> y se despliega la ventana “tipos de turbina” (figura 1.7). En esta ventana el diseñador pulsará las diferentes posibilidades que se tiene para escoger el tipo de turbina. El programa

seleccionará el tipo de turbina, en base a su velocidad específica, dando como resultado una turbina FRANCIS EXTRA RAPIDA.



Figura 1.7 Tipos de Turbinas

- Para determinar las dimensiones de referencia de la turbina, se hace clic en resultados (figura 1.7). El programa realiza los cálculos y reporta los resultados en un archivo de Excel (tabla 1.3)

Tabla 1.3 Dimensiones de Referencia de la Turbina

PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE DISEÑO			
Altura neta [m]	50	Caudal por turbina [m ³ /s]	5.6
Caudal de diseño [m ³ /s]	11.2	Potencia hidráulica [kW]	2746.8
Eficiencia de la turbina [%]	0.88	Potencia generada [kW]	2248.0
Eficiencia del generador [%]	0.93	Velocidad específica S/E	495.5
Número de turbinas	2	Velocidad específica S/A	151.0
Velocidad sincrónica [rpm]	1200	Potencia total generada [kW]	4496.0
		Energía anual [GWh]	39.4

DISEÑO REFERENCIAL DEL RODETE	
Ángulo de ataque en la entrada [deg]	30.63
Velocidad absoluta de entrada [m/s]	20.67
Velocidad tangencial de entrada [m/s]	47.49
Diámetro primitivo del rodete [m]	0.756
Diámetro de salida del rodete [m]	0.731
Número de álabes	11.46
Ángulo que forman los álabes a la entrada del rodete [rad]	0.341
Ancho de entrada del rodete [m]	0.264

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

Ancho primitivo del rodete [m]	0.398
Coefficiente de cavitación	0.085

Se ingresa la potencia aparente del transformador auxiliar, esta potencia se dimensiona de acuerdo a los equipos que están conectados al transformador auxiliar

- Se ingresa el voltaje primario del transformador auxiliar.

DISEÑO DIFERENCIA DE LA CAMARA ESPIRAL	
Velocidad de entrada a la cámara espiral [m/s]	8.95
Diámetro 1 de la cámara [m]	0.907
Diámetro 2 de la cámara [m]	0.848
Diámetro 3 de la cámara	0.785
Diámetro 4 de la cámara	0.717
Diámetro 5 de la cámara	0.641
Diámetro 6 de la cámara	0.555
Diámetro 7 de la cámara	0.453
Diámetro 8 de la cámara	0.321

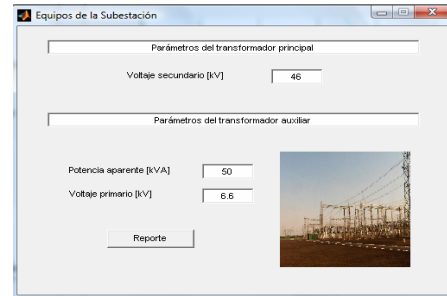


Figura 1.9 Equipos de la Subestación

- Cuando ya se ingresa los datos mencionados, hacer clic en “Reporte” (figura 1.9), se ejecuta el programa y se tiene los siguientes reportes:

Zona segura de operación del generador

- Se ingresa al programa, los valores de los parámetros del generador y la potencia máxima y mínima de la turbina.
- Haciendo clic en “curva de capacidad” (figura 1.8) el programa realiza los cálculos y se obtiene la zona segura de operación.

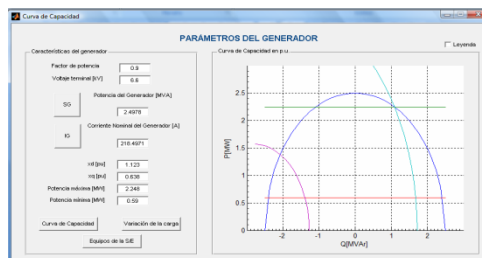


Figura 1.8 Zona segura de operación del generador

Características principales de los equipos del generador y subestación

El programa PCHepn, determina las características de los equipos principales de la subestación, realizando los siguientes pasos:

- Se ingresa el voltaje secundario del transformador, a niveles de voltaje de los sistemas de subtransmisión y distribución

PARÁMETROS DEL GENERADOR	
Potencia nominal [kW]	2247.98
Numero de fases	3
Factor de potencia nominal	0.9
conexión del estator	Estrella
Voltaje nominal de salida [kV]	6.6
Velocidad sincrónica nominal [RPM]	1200
Rango de ajuste de voltaje a condiciones normales [%]	+/- 5
Frecuencia nominal [Hz]	60
Clase de aislamiento (estator/rotor)	F/F
Clase de calentamiento (estator/rotor)	B
Número de polos	6

PARÁMETROS DEL TRANSFORMADOR PRINCIPAL	
Potencia nominal [kVA]	2497.76
Número de devanados	2
Número de fases	3
Voltaje primario [kV]	6.6
Voltaje secundario[kV]	46
Intercambiador de taps en el lado de alta [%]	+/- 2x2.5%
Medio de aislamiento (Norma IEC 296)	aceite
Máxima impedancia, en la base propia del	7

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

transformador[%]			Interior, Extraíble
Máximo voltaje soportado al impulso en el primario (BIL)[kV]	95	Tipo	
Máximo voltaje soportado al impulso en el secundario (BIL)[kV]	250	Frecuencia [Hz]	60
Grupo de conexión vectorial	Dyn1	Voltaje nominal[kV]	6.6
frecuencia [Hz]	60	Voltaje máximo de servicio [kV]	6.93
Máximo voltaje soportado al impulso de bushings secundarios (BIL) [kV]	250	Máximo voltaje soportado al impulso (BII) [kV]	95
Máximo voltaje soportado al impulso de bushings primario y del neutro[kV]	95	Tipo de mando	Manual y automático
		Tipo de accionamiento	tripolar

PARÁMETROS DEL TRANSFORMADOR AUXILIAR	
Potencia nominal [kVA]	50
Número de devanados	2
Número de fases	3
Voltaje primario [kV]	6.6
Voltaje secundario[kV]	0.22
Taps en vacío en el lado de bajo voltaje	+/- 2x2,5%
Máxima impedancia, en la base propia del transformador[%]	4.5
Máximo voltaje soportado al impulso en el primario (BIL)[kV]	95
Máximo voltaje soportado al impulso en el secundario (BIL)[Kv]	30
Medio de aislamiento	Aceite
Grupo de conexión vectorial	Dyn1
frecuencia [Hz]	60

DISYUNTOR NIVEL DE VOLTAJE [kV]	46
Tipo	Interior, Extraíble
Voltaje nominal[V]	46
Voltaje máximo de servicio [kV]	48.3
Máximo voltaje soportado al impulso (BII) [kV]	250
Número de polos	3
Frecuencia [Hz]	60
Tipo de actuación	Tripolar

NOTA: Para determinar la corriente de cortocircuito se requiere de estudios de flujo de carga y de cortocircuito.

SECCIONADORES NIVEL DE VOLTAJE [kV]	6.6
-------------------------------------	-----

SECCIONADORES NIVEL DE VOLTAJE [kV]	46
Tipo	Interior, Extraíble
Frecuencia [Hz]	60
Voltaje nominal[kV]	46
Voltaje máximo de servicio [kV]	48.3
Máximo voltaje soportado al impulso (BII) [kV]	250
Tipo de mando	Manual y automático
Tipo de accionamiento	tripolar

NOTA: Para determinar la corriente de cortocircuito se requiere de estudios de flujo de carga y de cortocircuito.

PARARRAYOS	
Tipo	Óxido de Zn
Conexión	línea a tierra
Voltaje nominal de operación del sistema[kV]	46
Voltaje máximo del sistema [kV]	48.3
Voltaje de operación continua[kV]	29.2803
Voltaje nominal de descarga [kV]	36.6004
Corriente nominal de descarga [KA]	10
Frecuencia [Hz]	60
clase	Estación
Máximo voltaje soportado al impulso (BII) [kV]	250

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

TRANSFORMADORES DE POTENCIAL NIVEL DE VOLTAJE [kV]	6.6
Voltaje nominal secundario [V]	120
Máximo voltaje soportado al impulso (BII) [kV]	95
Clase de precisión	0.2
TRANSFORMADORES DE POTENCIAL NIVEL DE VOLTAJE [kV]	46
Voltaje nominal secundario [V]	120
Máximo voltaje soportado al impulso (BII) [kV]	250
Clase de precisión	0.2

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE NIVEL DE VOLTAJE [V]	220
Voltaje nominal[V]	220
Máximo voltaje soportado al impulso (BII) [kV]	10
Relación de transformación [A]	150
Clase de precisión	0.2

TRANSFORMADORES DE CORRIENTE NIVEL DE VOLTAJE [kV]	6.6
Voltaje nominal[kV]	6.6
Máximo voltaje soportado al impulso (BII) [kV]	95
Relación de transformación [A]	300
Clase de precisión	0.2
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE NIVEL DE VOLTAJE [kV]	46
Voltaje nominal [kV]	46
Máximo voltaje soportado al impulso (BII) [kV]	250
Relación de transformación [A]	40
Clase de precisión	0.2

RECTIFICADOR/CARGADOR	
Número de fases	3
Voltaje de alimentación [V]	220 V +/- 10%
frecuencia [Hz]	60 Hz +/- 5%
Voltaje de salida [V c.c.]	125 V c.c. +/- 1%

Tipo	Voltaje autorregulado
------	-----------------------

BANCO DE BATERÍAS	
Tipo	Plomo - ácido
Voltaje nominal del Banco [V c.c.]	125 V c.c.
Número de celdas	60
Voltaje nominal de flotación de cada celda [V c.c.]	2.1 V c.c.
Voltaje de descarga de cada celda	1.70 V c.c.
Voltaje nominal de igualación de cada celda	2.33 V c.c.
Tipo de Batería	sellada
Tiempo de descarga	24 h

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El programa elaborado en este artículo es aplicable para seleccionar el tipo de turbina, para mini y pequeñas centrales hidroeléctricas, con sus respectivas dimensiones de referencia. Además determina las características generales del generador y de los principales equipos de la subestación.
- La curva de duración de caudales, proporciona una valiosa información gráfica, donde se puede visualizar el volumen de agua existente, y en base a este volumen se puede escoger el caudal aprovechable.
- Para seleccionar el tipo de turbina, primero se preselecciona la turbina en los nomogramas de caudal y altura proporcionados por los fabricantes, y luego se afina el tipo de turbina utilizando la velocidad específica.
- Para seleccionar el número de unidades, se debe analizar el caudal disponible, ya que es un valor variable que puede disminuir o aumentar a lo largo del tiempo, luego se analiza las características generales de la turbina fundamentalmente la eficiencia de la misma.
- Se recomienda utilizar el programa para micro, mini y pequeñas centrales hidroeléctricas hasta una capacidad de 10000kW.
- Se recomienda analizar el caudal ecológico para evitar una alteración al ecosistema.
- Se recomienda tener en cuenta la curva del rendimiento de cada turbina ya que al variar el caudal disponible varía el rendimiento de la turbina en cada régimen de funcionamiento.

XXII JORNADAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

- Para cada central hidroeléctrica se recomienda determinar en forma adecuada el factor de planta con el objeto de disponer de un valor confiable de la energía generada.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] Castro, “Mini centrales Hidroeléctricas”, Madrid, 2006.

[2] GILKES, “seminario hidroeléctrico de micro, mini, y pequeñas centrales hidroeléctricas”

[3] L. Tapia, “Maquinas Eléctricas” Ecuador, 2005

[4] FRANZINI, Joseph B; FINNEMORE, E. J. “Mecánica de Fluidos con aplicaciones en Ingeniería”. Novena edición. Madrid: McGraw-Hill, 1999

[5] OLADE –BID ECUADOR, “Manual de diseño de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas”, volumen IV Equipos, Quito, 1985

[6] COZ Federico, “Manual de Mini y Micro centrales Hidráulicas”, Lima ITDG, 1995

8. BIOGRAFÍAS

Oscar Mallitásig Panchi



Nació en San Buenaventura, Latacunga, el 25 de Julio de 1983. Sus estudios secundarios lo realizó en el Instituto Técnico Ramón Barba Naranjo.

Sus estudios universitarios los realizó en la Escuela

Politécnica Nacional, donde obtuvo el título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia en 2008.

Trabajo en la Escuela Politécnica Nacional en el área de Máquinas Eléctrica, actualmente presenta servicios de diseño y montaje de redes de distribución con diferentes Empresas Eléctricas del país.

Tapia Calvopiña Luis Elías



Ingeniero Eléctrico de la Escuela Politécnica Nacional 1976, Máster en Tecnologías de Información para la Fabricación de la Universidad Politécnica de Madrid 2001, Director del Instituto de

Tecnólogos, Coordinador de Electromecánica, Jefe del Departamento de Energía Eléctrica, Profesor Principal de la EPN.