

DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DE GENERADORES SINCRÓNICOS DE EJE VERTICAL

ARTURO OTTO VILLA

Universidad Tecnológica Metropolitana
Ingeniero Civil Electricista, Universidad de Chile
Av. José Pedro Alessandri 1242 Ñuñoa, Santiago de Chile
email: aotto@utem.cl

RESUMEN

El presente trabajo presenta una metodología que permite determinar con una buena aproximación los diámetros y las alturas de los generadores hidroeléctricos de eje vertical a partir de su potencia y velocidad nominal. Esta información se requiere en los estudios de anteproyecto para dimensionar en forma preliminar el tamaño de la Casa de Máquinas y la disposición tentativa de los equipos mayores. Normalmente en esta etapa solo se conoce la potencia nominal y la velocidad nominal de los generadores o bien la altura de caída y el caudal de generación.

Los resultados son empírico-teóricos y se dan en forma de ecuaciones que permiten efectuar estimaciones de dimensiones para máquinas de potencias medias y superiores.

Palabras Clave: Anteproyecto, generador sincrónico, dimensionamiento, peso, diámetro, altura

ABSTRACT

This paper presents a methodology that can be used to determine the diameter and height of vertical shaft type synchronous generators with an acceptable approximation, knowing the rated power and rated speed. This information is required in the first step of an hydroelectric project, for establishing the size of the Power House and the inside disposition of the main equipments. Usually, in this stage of the project the only information available is the rated power and rated speed of the generators, or, in some cases, the net height and water flow (m³/seg) of the turbine.

The results are empiric-theoric and are given in equations that allow dimension estimations for medium and high ratings generators.

Keywords: Preliminary Project, Synchronous generator, dimensions, weight, diameter, height.

1 INTRODUCCIÓN

Existen varias publicaciones relativas al dimensionamiento preliminar de generadores hidroeléctricos en las cuales se aborda este problema desde el punto de vista del Anteproyecto de Casas de Máquinas. Estas publicaciones son muy útiles, pues en la etapa de anteproyecto de una Central Hidroeléctrica se estudia una gama de alternativas relativamente amplia, para lo cual bastan estimaciones preliminares, pero que deben obtenerse con rapidez. La consulta a los fabricantes de generadores se deja normalmente, para una etapa más avanzada del proyecto.

En el presente trabajo se ha estimado conveniente aprovechar aquellos aspectos más relevantes de la información existente sobre este tema, que es amplia y dispersa, y obtener a partir de ella fórmulas actualizadas que permitan determinar con una buena aproximación el tamaño físico de los generadores hidroeléctricos de eje vertical.

Los resultados obtenidos con estas fórmulas se compararon y validaron con dimensiones obtenidas de generadores instalados en diferentes centrales eléctricas, siendo su resultado satisfactorio para los propósitos de dimensiones de anteproyecto.

Las dimensiones que se obtienen son las siguientes:

- Diámetro del rotor.
- Diámetro exterior carcaza (marco) generador.
- Diámetro del foso (housing)
- Altura rotor (similar núcleo)
- Altura entre cubiertas protectoras del estator.
- Peso del rotor sin eje.

2 CONSIDERACIONES GENERALES

Al analizar las características de un cierto número de generadores con el propósito de extraer conclusiones generales, se observa que en general, las dimensiones y

diseño varían mucho de un generador a otro. Este fenómeno se debe principalmente a que tanto la velocidad nominal, la velocidad de embalamiento, la potencia nominal del generador, el momento de inercia del rotor y la disposición general de la máquina, se especifican generalmente diferentes para cada instalación.

Dicho de otra manera, los generadores hidroeléctricos son máquinas que se fabrican “a la medida”, (taylor made) completamente adaptadas a las condiciones prevalecientes en el lugar de su operación. Es lógico entonces, que resulte muy improbable encontrar generadores iguales en centrales distintas.

Afortunadamente, es posible constatar que, pese a la diversidad de variantes imaginables en el diseño de generadores hidroeléctricos, las dimensiones físicas más importantes se eligen de acuerdo con ciertas ecuaciones fundamentales de gran sencillez, en las cuales se resume la parte más significativa del progreso tecnológico alcanzado en este aspecto del diseño.

Las ecuaciones más importantes son esencialmente dos, y se refieren a la utilización de los materiales en el estator y rotor respectivamente. La primera da origen al factor de utilización del material del estator, y la segunda a la velocidad periférica máxima admisible en el rotor, conocida como velocidad de embalamiento. Son estas dos ecuaciones, complementadas con otras de menor importancia los factores básicos para determinar el dimensionamiento preliminar de un generador hidroeléctrico.

En los puntos 4 y 5 siguientes se detallan las ecuaciones correspondientes al “Factor de Utilización” y a la “Velocidad Periférica máxima de Embalamiento”.

3 ANALISIS Y SUPUESTOS

La información analizada es básicamente la indicada en la bibliografía más otra información de ábacos de diferentes fabricantes. Además se reunió información relativa a un total de 12 generadores hidroeléctricos de construcción reciente, y potencias comprendidas entre 76 y 425 MVA. Se revisaron en cada caso los parámetros de diseño de cada generador, estudiando la corres-

pondencia y relación con el número de polos, diámetros, pesos, efecto volante, altura núcleo y otros. En todos los casos se igualó el diámetro interior del estator al diámetro del rotor, despreciando la magnitud del entrehierro. Asimismo se despreció la diferencia de largos entre rotor y núcleo del estator. En este último caso, el error es generalmente inferior a 10%.

4 FACTOR DE UTILIZACIÓN

La ecuación de utilización relaciona las principales dimensiones de un generador con su potencia, en términos de un factor que resume la utilización específica de los materiales de sus circuitos eléctricos y magnéticos. Este factor se llama factor de utilización del material del estator y refleja el grado de perfeccionamiento alcanzado en la utilización de dichos materiales.

En su forma más simple, la ecuación de utilización se escribe como se indica a continuación.

$$S = \varepsilon D^2 L n \quad (kVA) \quad (1)$$

En que:

- S: Potencia nominal del generador (KVA)
- D: Diámetro interior del estator (m)
- L: Largo del estator (m)
- n: Velocidad nominal de rotación (rpm)
- ε : Factor de utilización del material del estator (kVA x min / m³).

Se considera que el diámetro interior del estator (D) es igual al diámetro exterior del rotor (D), esto despreciando la distancia de entrehierro.

Como resultado del avance tecnológico, el factor de utilización ha experimentado aumentos con el transcurso del tiempo. En 1976 E. Günthardt [3] le asignaba un valor típico del orden de 5,0 ; en 1986 J. H. Walter [1] recomendaba efectuar los cálculos tomando el valor 6.7, y en la actualidad es aceptable y conservador trabajar con una cifra comprendida entre 7,0 y 8,0. En efecto, prácticamente todos los generadores modernos analizados en esta investigación, exhiben factores de utilización superiores al 6.7 recomendado por J.H.Walter [1], alcanzando en varios casos cifras del orden de 9,5.

Sin embargo, se observa que para el caso de generadores de diseño tradicional refrigerados por aire (enfriadores aire/agua), ya se está llegando al límite de las posibilidades de mejora del factor de utilización. Las densidades de flujo magnético en el entrehierro han llegado ya a valores límites compatibles con la disposición física de las piezas polares, dientes del estator, holgura en el entrehierro y circulación del aire de refrigeración. Por lo tanto, solo cabría esperar mejoras derivadas de una mayor densidad de corriente en los enrollados del estator. La densidad de corriente utilizada actualmente en el diseño de los enrollados de estator (Barras tipo ROEBEL's) es de 2,5 a 3,5 A/mm², valor que también incide en el cálculo del sistema de refrigeración.

5 VELOCIDAD PERIFÉRICA DE EMBALAMIENTO

Cuando por alguna razón, se produce un rechazo de carga y se desconecta el generador de la red mediante la apertura de su interruptor, puede ocurrir que el regulador de velocidad de la turbina no opere en la forma debida y el agua fluya a través de ésta sin encontrar torque resistente, ocasionando un aumento de la velocidad de rotación del conjunto turbina-generador. Se habla entonces de embalamiento del grupo turbina/generador y la velocidad de rotación de la unidad puede llegar a triplicar el valor de la velocidad nominal, según sea el tipo de turbina involucrado.

Este fenómeno es de muy rara ocurrencia real; sin embargo, por razones de seguridad del equipo, es habitual exigir en las especificaciones, que el generador sea diseñado de modo que pueda soportar el estado de embalamiento por corto tiempo, sin sufrir daños ni deformaciones permanentes.

A la velocidad de embalamiento, se originan solicitaciones máximas en la periferia del rotor. Por lo tanto, dada una cierta velocidad de embalamiento, el diámetro máximo que puede tener un rotor en esas condiciones, queda limitado por la resistencia mecánica de los materiales que lo constituyen.

La resistencia mecánica límite que puede obtenerse con estos materiales se expresa comúnmente en términos de la velocidad periférica máxima admisible en el rotor

(V_{mx}) a través de la ecuación siguiente:

$$V_{mx} = \pi D n r_o / 60 \text{ (m/s)} \quad (2)$$

en que:

- D: Diámetro interior del estator (m)
- r_o : n_{mx}/n Razón de embalamiento
- n_{mx} : velocidad de rotación durante el embalamiento (rpm)
- n: velocidad nominal (rpm)

Análogamente al caso del factor de utilización, los progresos habidos en la calidad de los aceros materiales empleados en la construcción de rotores, como asimismo en la técnica misma de su diseño y construcción, han permitido aumentar los valores de la velocidad periférica máxima admisible. En la actualidad esos límites se han llevado a 220 m/seg y 254 m/seg respectivamente.

Los límites señalados, como su nombre lo indica, representan el caso de diseño extremo; no debe extrañar por lo tanto, que en un diseño normal se consideren valores inferiores a aquellos. Es el caso de los generadores analizados en este trabajo en que la velocidad periférica de embalamiento resulta ser de unos 150 m/seg., como valor promedio. Por lo tanto, puede considerarse que en la actualidad esa cifra representa un valor típico y es el valor recomendado para los cálculos en este trabajo.

Ocurre a veces, que al hacer estimaciones preliminares de las dimensiones de un generador, no se conozca aún la velocidad de embalamiento de la turbina. En tal caso la tabla siguiente es de utilidad, porque muestra los límites entre los cuales varía normalmente el factor de sobrevelocidad para los diferentes tipos de turbina usados en centrales hidroeléctricas.

Tipo de turbina	Kaplan	Francis	Pelton
Valor típico	2.5	1.9	1.8

Tabla1. Razón de empalamiento (n_{mx}/n) para distintos tipos de turbinas.

LARGO MAXIMO DEL ESTATOR Y CONDICION DE PASO POLAR

En el punto anterior se mencionó la condición que limita las dimensiones del diámetro del rotor. Para el largo del estator existen también limitaciones, aún cuando no se plantean en forma tan precisa como para el caso del diámetro del rotor. Estas restricciones provienen de la dificultad de forzar el suficiente volumen de aire de refrigeración a través de los polos del rotor y ductos del estator.

En los generadores de diseño habitual, el aire de refrigeración se impulsa mediante aspas convenientemente dispuestas en el rotor. Con este sistema, se logra una ventilación eficiente siempre que el estator tenga una longitud inferior a 4m y se respete una cierta proporción entre el largo del estator (L) y el ancho de los polos, o más propiamente dicho, el paso polar según la expresión:

$$5,5 < pL/D < 12,57$$

La proporción entre el largo del estator y el paso polar, se llama condición de paso polar. Se acepta en general que en un buen diseño este cociente se encuentre comprendido entre 1.75 y 4.0. Valores superiores a 4 afectan la eficiencia de la ventilación y valores inferiores a 1.75, conducen a máquinas más costosas e ineficientes. ($1,75 \times \pi = 5,5$); ($4,0 \times \pi = 12,57$).

Todas las máquinas modernas estudiadas en este trabajo respetan estas condiciones.

7 MOMENTO DE INERCIA DEL ROTOR

Si un rotor de momento de inercia (I) gira uniformemente a la velocidad angular nominal (ω), la energía cinética acumulada en el es:

$$E_c = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (3)$$

Si se supone una cierta distribución de masa entre el eje de rotación y la periferia del rotor, el momento de inercia tiene por expresión:

$$I = \int r^2 dm \quad (4)$$

En los cálculos no es habitual referirse a la distribución de masa, y se prefiere suponer la existencia de una masa equivalente “G”, concentrada en la periferia del rotor. El momento de inercia entonces se expresa de la manera siguiente:

$$I = G \times R^2 \quad (5)$$

o bien

$$I = \frac{1}{4} G \times D^2 \quad (6)$$

Siendo G la masa equivalente de inercia del rotor y D el diámetro del rotor.

El producto GD^2 se denomina “efecto volante”. Se designa simplemente como “ GD^2 ” y se expresa en ton. m^2

En estas condiciones, la energía cinética del rotor puede expresarse como:

$$Ec = GD^2 \times n^2 / 729,51 \text{ kW seg.} \quad (7)$$

siendo $n = 60 \omega / 2\pi$ (rpm) la velocidad nominal del generador y GD^2 el efecto volante en (ton. m^2).

Para comparar generadores se utiliza como parámetro de comparación la “Constante de Inercia” (H), que representa la energía cinética por KVA del generador, que se acumula en su rotor cuando gira a la velocidad nominal. Se mide en (kW . seg/kVA) y se define como:

$$H = GD^2 \times n^2 / (729,51 \times \text{kVA}) \text{ kW seg/ kVA} \quad (8)$$

La constante de inercia “H” del generador en estudio se compara con la “constante de inercia natural” (H_f), de un generador de igual potencia y velocidad de rotación, construido de acuerdo con el diseño más económico compatible con las condiciones de régimen permanente de la turbina y el generador. Se obtiene así una idea relativa a la “normalidad” o “anormalidad” de la máquina que se está considerando (mayor peso, mayor costo, etc.).

Existen numerosas fórmulas citadas por distintos autores y publicaciones que permiten estimar el momento

de inercia mínimo de un generador en función de su potencia y velocidad de rotación. En este trabajo se sugiere, no especificar generadores con momentos de inercia superiores a 1.5 veces el momento de inercia natural, debido a que el costo de la máquina se eleva mucho y aparecen problemas de diseño. Para calcular la constante de inercia natural, se recomienda la fórmula

$$H_f = 1,7 (\text{kVA}/n^{1,5})^{0,166} (\text{kW seg}/\text{kVA}) \quad (9)$$

Esta fórmula es de gran simplicidad, toma en cuenta la tendencia hacia la reducción de peso que muestran los generadores de construcción reciente, y permite efectuar estimaciones rápidas, antes de entrar al cálculo detallado de las dimensiones preliminares de un generador.

Una fórmula alternativa a la H_f (6) anterior para el cálculo del momento de inercia de un rotor viene dada por las siguientes expresiones:

$$GD^2 = 2,57 D^4 L \text{ (td } m^2 \text{) para } D < 3,5 \text{ m} \quad (10)$$

$$GD^2 = 5,1 D^{3,45} L \text{ (td } m^2 \text{) para } D > 3,5 \text{ m} \quad (11)$$

Estas fórmulas dan resultados similares a las de la expresión anterior, con la ventaja de relacionar en forma explícita el diámetro y largo del rotor con su momento de inercia natural. Esta cualidad es muy importante pues el momento de inercia especificado no siempre coincide con el momento de inercia natural, siendo entonces preciso modificar las dimensiones del diámetro y largo del rotor para que el momento de inercia adquiriera el valor adecuado. En tal eventualidad, la relación explícita entre esos parámetros resulta particularmente útil.

En efecto, si el momento de inercia natural no difiere sustancialmente del momento de inercia especificado, el factor de utilización del material puede considerarse constante, lo que implica constancia para el volumen rotórico, proporcional a $L D^2$

Considerando que el momento de inercia es proporcional a $L D^4$; si LD^2 es constante resulta que para una variación pequeña de L y D, el nuevo valor del momento de inercia queda dado por la relación.

$$I' / I = D' ^2 / D^2$$

De donde es fácil deducir que:

$$D' = D \sqrt{GD^2 / GD^2} \quad (12)$$

$$L' = D \sqrt{GD^2 / GD^2} \quad (13)$$

Estas dos relaciones permiten ajustar los valores iniciales de D y L de modo que el efecto volante resultante (GD^2) coincida con el especificado.

8 PESO DEL ROTOR

Una vez que se han obtenido un par de valores para el diámetro y largo del rotor, que satisfagan los requerimientos especificados para el generador, puede estimarse el peso del rotor utilizando las fórmulas siguientes:

$$M = 6,5 D^2 L \text{ (ton) para } D < 2,8 \text{ m} \quad (14)$$

$$M = 13,3 D^{1,3} L \text{ (ton) para } D > 2,8 \text{ m} \quad (15)$$

Para el peso total del generador, es frecuente tomar como una aproximación preliminar, el doble del peso del rotor.

9 DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DE UN GENERADOR SINCRÓNICO.

Calculados L (m) y D (m) del rotor se pueden estimar las demás dimensiones básicas del generador, utilizando las relaciones siguientes:

Diámetro exterior de la carcasa:

$$D_c = D + 2.1 \text{ (m)} \quad (16)$$

Diámetro del Foso (Housing)

$$D_p = D + 4.2 \text{ (m)} \quad (17)$$

Altura entre cubiertas
Protectoras del estator

$$L_t = L + 2.3 \text{ (m)} \quad (18)$$

Las dimensiones calculadas anteriormente corresponden a los elementos fundamentales del generador y no dependen prácticamente de la forma constructiva de

éste, en particular la ubicación del descanso combinado guía y empuje, (ej tipo W-42, W-41..... según norma DIN). En caso que se conozcan como datos la altura de caída y el caudal, la fórmula para determinar la potencia activa total de la central es la siguiente:

$$P = H \times Q \times \eta \times \rho \times 10$$

Donde:

P= Potencia activa total (W)

H= Altura neta de caída (m)

Q= Caudal de agua (m³/seg)

P= Peso específico del agua= 1.000 (kg/m³)

η = Rendimiento unidad turbina/generador

$$\text{Vel.específica } N_s = N \sqrt{p/H^{1,25}} \text{ (P en CV)}$$

10 EJEMPLO DE APLICACIÓN

Estimar las dimensiones principales y peso del rotor, de un generador hidroeeléctrico de las siguientes características:

Potencia

S=220.000 kVA

Velocidad nominal

n=166.7 rpm

Velocidad durante embalamiento

$n_{mx} = 328 \text{ rpm}$

Efecto volante

G D²= 27000 ton.m²

Frecuencia

f= 50 Hz

Tratándose de una estimación preliminar, conviene adoptar un criterio un tanto conservador, tomando para la velocidad periférica máxima (embalamiento) y factor de utilización del material valores promedio que aseguren una cierta holgura en el dimensionamiento del generador. Para un primer tanteo, estas cifras podrían ser 150 m/seg y 7.0 (kVA.min/m³) respectivamente.

Desarrollo del ejemplo y cálculos:

a - Razón de embalamiento:

$$r_o = n_{mx} / n = 328 / 166.7 = 1,97$$

b.- Diámetro del rotor:

$$D = 60 V_{mx} / (\pi r_o n)$$

$$D = 60 \times 150 / \pi \times 1,97 \times 166,7 = 8,72 \text{ (m)}$$

Tomemos: $D = 8.7 \text{ (m)}$

c.- Longitud del núcleo del estator (L)

El largo del rotor puede tomarse igual al largo del estator, y debe ser inferior a 4.0 (m).

Consideramos un factor de utilización:

$$\epsilon = 7.0 \text{ (kVA.min/m}^3\text{)}$$

$$L = \text{kVA} / \epsilon n D^2$$

$$L = 220.000 / 7 \times 166,7 \times 8,7^2 = 2,49 \text{ m}$$

Tomemos: $L = 2.5 \text{ (m)}$

El largo del rotor resultó inferior a 4.0 m.

d.- Condición de paso polar:

Rango aceptable:

$$(5.5 < pL/D < 12,57)$$

Verificación si se encuentra en el rango permitido, punto e) siguiente:

e.- Número de polos (p):

$$p = 120 \times f / n = 120 \times 50 / 166,7 = 36 \text{ polos.}$$

$$pL/D = 36 \times 2,5 / 8,7 = 10,34$$

Luego se cumple con la condición de rango del paso polar.

f.- Efecto volante (GD²):

Para D= 8.7 (m) y L = 2.5 (m) el efecto volante que se obtiene con un diseño normal es

$$GD^2 = 5.1 D^{3.45} L = 5.1 \times 8.7^{3.45} \times 2.5 = 22.225 \text{ (ton.m}^2\text{)}$$

g.- Corrección por efecto volante:

El valor calculado es inferior al especificado (27.000 ton.m²), por lo tanto recalculamos el GD² con nuevos valores D' y L' como sigue:

Para tener un GD² igual a 27000 ton.m² sin modificar sustancialmente los parámetros originales de diseño, habría que aumentar algo el diámetro y reducir el largo, de acuerdo con las ecuaciones para D' y L':

$$D' = D \sqrt{GD^2 / GD'^2}$$

$$D' = 8,7 \times \sqrt{27.000 / 22.225} = 9,59 \text{ m}$$

$$L' = L (GD^2 / GD'^2) = 2,5 \times 22.225 / 27.000 = 2,06 \text{ m}$$

Tomemos $D' = 9.6 \text{ m}$
 $L' = 2.1 \text{ m}$

h.- Calculo peso del rotor:

Para estas medidas del rotor su peso sería

$$M = 13.3 D^{1.3} \times L' = 13.3 \times 9.6^{1.3} \times 2.1 = 528 \text{ (ton).}$$

i.- Recálculo de la velocidad periférica con D':

La velocidad periférica máxima sería ahora:

$$V_{mx} = 150 \times 9,6 / 8,7 = 165 \text{ (m/seg).}$$

j.- Recálculo factor de utilización con D':

El factor de utilización del material sería ahora:

$$\epsilon = 220.000 / (166,7 \times 2.1 \times 9,6^2)$$

$$\epsilon = 6,8 \text{ (kVA x min/ m}^3\text{)}$$

k.- Verificación paso polar con L':

La condición de paso polar se verifica como:

$$p L' / D' = 36 \times 2.1 / 9,6 = 7.9$$

Valor dentro del rango permitido.

l.- Determinación Constante de inercia (H):

$$H = GD^2 n^2 / 729,51 \times kVA$$

$$H = 27.000 \times 166,7^2 / 729,51 \times 220000$$

$$H = 4,7 \text{ (kW seg/kVA)}$$

m.-Determinación Constante de inercia natural según la fórmula:

$$H_f = 1,7 \text{ (kVA / } n^{1,5})^{0,166}$$

$$H_f = 1,7 \text{ (220.000/166,7}^{1,5})^{0,166} = 3,7$$

$$H_f = 3,7 \text{ (kW seg/ kVA)}$$

Determinación razón de Constantes de Inercia.

$$H / H_f = 4,7 / 3,7 = 1,27$$

Luego este generador presenta un cierto grado de “anormalidad” ya que el efecto volante es un 27% mayor que el natural.

RESUMEN RESULTADOS

Diámetro del rotor	9.6 m
Diámetro de la carcasa (D+2.1)	11.7 m
Diámetro del Foso (D + 4.2)	13.8 m
Altura del rotor	2,1 m
Altura entre cubiertas protectoras del estator (L + 2.3)	4,4 m
Peso del rotor sin eje	528 ton.

CONCLUSIONES

De acuerdo con las verificaciones efectuadas, resulta que las dimensiones estimadas corresponden a un generador de diseño convencional. No obstante podría estimarse que la velocidad periférica máxima (embalamiento) resulta algo elevada, pues 165 m/seg, si bien está muy por debajo de los 220 m/seg que se acepta actualmente como límite posible, no es aún una velocidad habitual de diseño. Esta circunstancia, es consecuencia del efecto volante especificado, que resulta ser del orden de un 27% superior al normal en un generador de esa potencia y velocidad de rotación. Evidentemente, si se especifica un efecto volante menor, más próximo al valor natural, se podría reducir el diámetro del rotor y

consecuentemente, la velocidad periférica. En caso que no se especifique un GD^2 no se puede recalcular con D' y L' .

11 BIBLIOGRAFIA

1. Walter, J.H. “Proyect Data for Hydroelectric Generators”, Mc.Graw 1986.
2. Langsdorf, Alexander S. “Theory of Alternating Current Machinery, Segunda Edición-1986.
3. Günthardt, E.G. “The Design of Large Water Turbine – Type Generators”, Brown Boveri Review, 1976, N° 718.
4. Tengstrand, C y Ronnevig C. “Refroidissement Direct des Alternateurs Hydrauliques. Influence sur les Dimensions et les Paramètres de l’Alternateur”. C.I.G.R.E. 1998, N° 11-03.
5. I. Antalffy and J. Szita. “Nomographs for the Determination of Main Technical Data and Limit Outputs of Hydro-Generators”. Transelektro News, 1990. N° 15.
6. Guthrie Brown. Hydroelectric Engineering Practice”. Vol. II. 1988.
7. Patricio Patrickson- Departamento de Ingeniería Eléctrica - División Estudios ENDESA.- 1975.-
8. E. Mosonyi “Water Power Development”. Vol. I y II. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1993.