

Influencia de la Posición de las Paletas en el Rendimiento de una Turbina de Hélice con Rotor de Alabes Rectos

Alvaro Rey R. Profesor asistente U.N.

Ing. Mec. M.Sc. Potencia Hidráulica

Carlos Ramírez P. Estudiante Ing. Civil

Francisco Urrea, Iván Tovar - Estudiantes Ing. Mec.

El presente artículo pertenece al desarrollo del proyecto de grado "Diseño y Construcción de una Turbina Hidráulica de 3 Kw.

"Haz que el fluido entre sin choque y salga sin velocidad"(1)

Una creciente demanda de energía asedia a la humanidad que ve en ella el futuro de su desarrollo económico y social y ha planteado la imperiosa necesidad de buscar fuentes menos costosas y eficientes de potencia, ya sea creando novedosos sistemas de producción o, en su defecto, optimizando los ya existentes y utilizándolos extensivamente. En todo el mundo la mayor parte de la demanda energética se satisface con la electricidad, cuya generación exige el **máximo aprovechamiento de los recursos del agua**.

De acuerdo con datos de la Conferencia Mundial de Energía celebrada en el año 1974, Colombia ocupa, globalmente, el cuarto lugar en el continente en cuanto a potencial hidroeléctrico se refiere, precedida tan sólo por Estados Unidos, Canadá y Brasil(2). No obstante, la explotación de las corrientes fluviales que recorren en todo sentido la geografía de la nación, está lejos de satisfacer totalmente la demanda, agudizándose el problema en las regiones apartadas que deben recurrir a sistemas de generación energética que den **solución parcial y en pequeña escala** a esta situación.

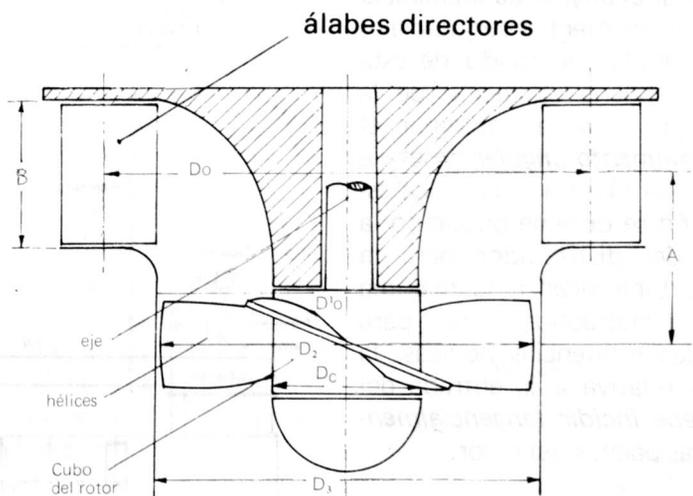
Dentro de este contexto, la Universidad Nacional decidió realizar, por

intermedio del Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería, una serie de estudios referentes al tema y propuso la construcción de un modelo de turbina hidráulica de **pequeña potencia y bajo costo** para satisfacer las necesidades de energía de zonas no conectadas por los sistemas eléctricos actuales.

El modelo ha sido diseñado para generar 1 C.V. de potencia aprovechando un salto útil de 1.50 metros de aguas y un gasto de 62 lps. y corresponde a una turbina de hélice con las dimensiones fundamentales que se muestran en la Fig. 1, instalada en el patio de modelos del Laboratorio de Hidráulica.(3).

El presente artículo ilustra una de las etapas de estudio en que se halla dicho modelo, correspondiente a la optimización del ángulo de las hélices, en el cual se describen los ensayos que hicieron posible **encontrar experimentalmente el ángulo de inclinación de las hélices con el cual la turbina produce la mayor potencia con el mejor rendimiento**.

Las paletas de una turbina de hélice deben tener un desarrollo helicoidal, llamado también "alabeo", debido a la **modificación que sufre la dirección de la velocidad relativa** con relación a la distancia respecto del eje de giro de la turbina, manteniéndose constante la velocidad an-



$D_0 = 240 \text{ mm}$; $D_b = 161 \text{ mm}$; $D_2 = 158 \text{ mm}$;
 $D_c = 63.2 \text{ mm}$; $D_3 = 163 \text{ mm}$; $A = 71.1 \text{ mm}$;
 $B = 53 \text{ mm}$;

Fig. 1. Dimensiones fundamentales del modelo de turbina de hélice.

angular. Puesto que el modelo es una máquina de pequeña potencia y, por lo tanto, de dimensiones reducidas, puede suponerse que un rotor de álabes rectos podría estar en condiciones de **competir ventajosamente** con uno de álabes curvos. Razones de índole económica exigen realizar esta prueba comparativa, ya que la producción de álabes rectos es más simple que la de álabes curvos. En resumen, debe estudiarse si la variación en el rendimiento y la producción de potencia, con los dos tipos de álabes, es lo suficientemente apreciable como para **prescindir de uno u otro**.

EFFECTOS DE LA REGULACION DE LA TURBINA

Las turbomáquinas que trabajan con rotores provistos de hélices son muy susceptibles de alterar sus condiciones de operación según el ángulo con que el agua incida sobre los álabes, puesto que cualquier variación que sufra el caudal hace que fácilmente se produzca **separación o choque** de la vena fluida con relación al contorno del perfil del álabes, lo cual induce vibraciones extrañas y una **drástica reducción del rendimiento global del equipo**.

La turbina se opera maniobrando el distribuidor, cuya función esencial consiste en controlar el caudal que alimenta la turbina, con el propósito de **ajustar el ángulo de incidencia** y así evitar los efectos perjudiciales ya mencionados, logrando de esta forma una buena operación de la turbina que lleve a conseguir el **máximo momento angular** en el eje de la turbina (4). En la práctica esta situación se obtiene buscando la apertura del distribuidor para la cual la turbina alcanza su máxima velocidad. Hidráulicamente, para evitar estas influencias novicas, la velocidad relativa a la entrada del rodete **debe incidir tangencialmente** sobre las paletas del rotor.

En caso de tener sobrecarga o carga parcial con respecto del caudal de diseño, la velocidad relativa se modifica tanto en magnitud como

en dirección y la incidencia sobre las paletas no se realiza en forma tangencial, razón por la cual se producen caídas bruscas de la eficiencia. Esta situación puede obviarse si, junto con la variación de la velocidad relativa, **se modifica simultáneamente la inclinación de las hélices** del rotor de acuerdo con las nuevas condiciones de gasto.

La idea fue originalmente propuesta por el Ingeniero Víctor Kaplan y plasmada en la turbina que lleva su nombre, cuya particularidad más relevante es mantener elevados rendimientos dentro de un amplio rango de caudales.

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS

Para cumplir con el objetivo del ensayo deben realizarse pruebas con diferentes ángulos de hélice que varíen en pequeña magnitud y dentro de un amplio rango. Puesto que la construcción de una serie de rotores reclamaría un ingente trabajo, se optó por construir un cubo provisto de cuatro alojamientos cilíndricos en su superficie periférica en los cuales se acoplan sendos discos portantes de los álabes rectos y provistos, cada uno, de dos ranuras anulares que permiten hacer las pruebas para diferentes colocaciones de las hélices, fijándolos al cubo mediante

tornillos adecuados. Se buscó, en cada caso, la abertura del distribuidor que resultara más favorable para el funcionamiento de la turbina, es decir, se hizo una **simulación de la operación de una turbina tipo Kaplan**, en la cual la regulación de los álabes directores del distribuidor y los del rodete se hace en forma simultánea.

Los ensayos realizados al modelo de turbina se hicieron con la instalación que se muestra en la Fig. 2. Los elementos de medida utilizados fueron: un piezómetro a la entrada de la turbina en el cual se observa la altura de presión de dicho punto, un tanque vertedero con el cual se mide el caudal utilizado y un freno tipo Prony que, junto con el dinamómetro y tacómetro mostrados, sirve para calcular la potencia generada por la turbina. El procedimiento seguido para la toma de datos fue el siguiente: manteniendo constante una determinada carga hidráulica H , se procede a aplicar fuerza a la turbina mediante el freno hasta tener una lectura constante registrada en el dinamómetro, tomando lecturas en el piezómetro de entrada (h_p), en el gancho del vertedero (h_v), en el eje de la turbina (N) y en el dinamómetro (F). Variando la fuerza o la carga hidráulica, según el caso, se toman nuevas lecturas.

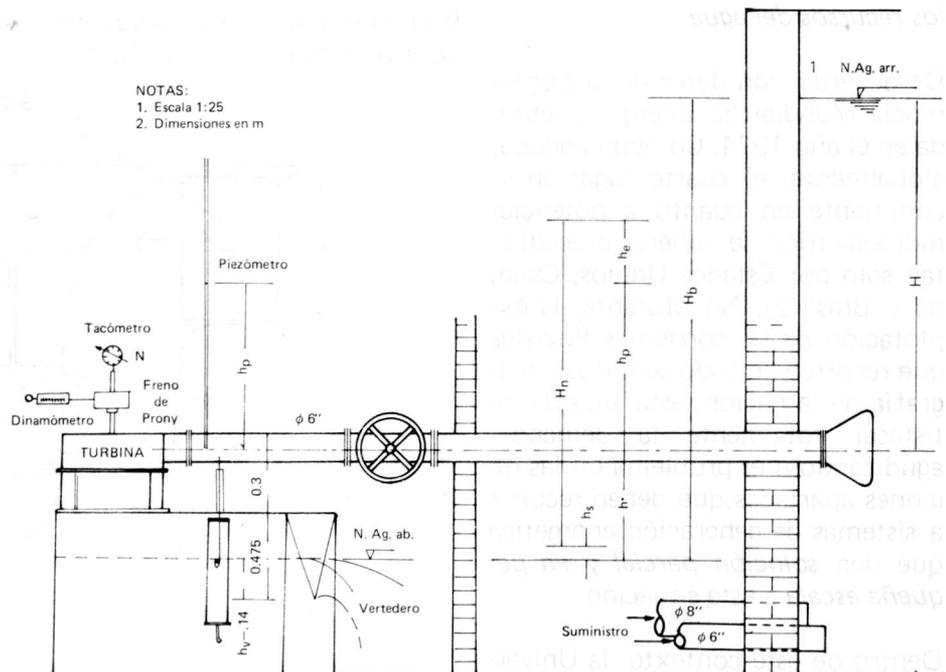


Fig. 2. Instalación de la turbina y disposición de los aparatos de medida.

Posteriormente se realizan los cálculos, que comprenden los valores del saldo útil (H_n), gasto real (Q), potencia suministrada (P_s), potencia útil (P_u) y eficiencia (η) para cada caso.

Sin embargo, las características reales de operación de la turbina se establecen con parámetros unitarios que permiten **comparaciones efectivas**. Dichos parámetros indican las condiciones de trabajo de la turbina sometida a un metro de salto útil y son: potencia unitaria (P_{u1}), caudal unitario (Q_1), velocidad unitaria (N_1), y velocidad específica (N_s). Para el presente estudio el **gasto es la magnitud más relacionada con el ángulo de inclinación de las hélices del rotor**.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se construyó la gráfica en la cual se muestra la relación entre el caudal unitario y la eficiencia para cada uno de los ángulos considerados; dicha gráfica se presenta en la Fig. 3, y de ella se concluye que existe un ángulo de inclinación de las paletas del rodete con el cual se obtienen los mejores rendimientos y que se llamará "**ángulo óptimo**". La envolvente trazada tangencialmente a las curvas correspondientes a cada ángulo **indica las condiciones de operación de una turbina Kaplan similar a la turbina de hélice ensayada**.

En esta gráfica puede apreciarse que el caudal aumenta con el ángulo de los álabes, ya que al incrementarse éste se hace mayor el área perpendicular entre ellos facilitándose, por lo tanto, el paso del agua. Se nota también, que el ángulo óptimo no está claramente definido; el valor de dicho ángulo se determina tomando las máximas eficiencias de cada prueba, dibujando el gráfico contra el correspondiente ángulo de las hélices y obteniéndose la curva mostrada en la Fig. 4. De esta gráfica se halla el valor $31,5^\circ$ como el ángulo de las paletas del rotor con el cual se consigue la mejor eficiencia. El rendimiento obtenido con dicho ángulo, aunque es el mejor,

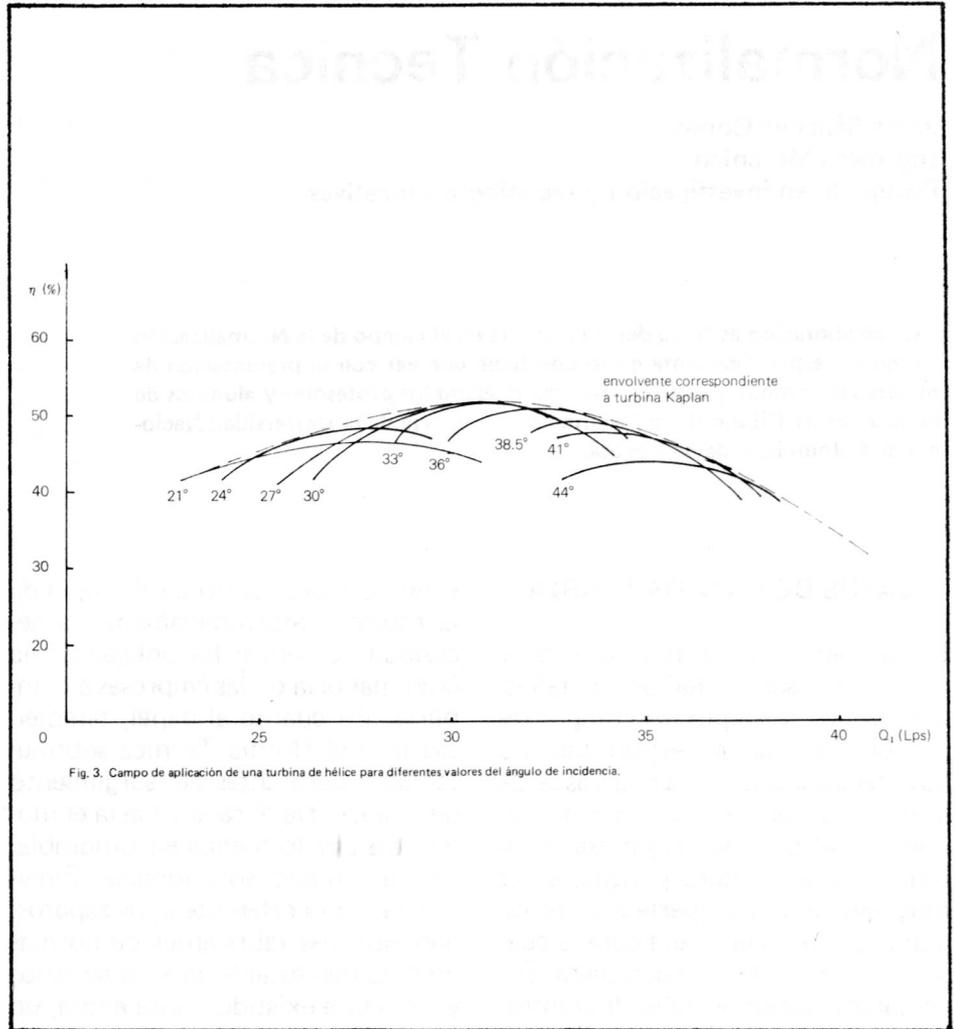


Fig. 3. Campo de aplicación de una turbina de hélice para diferentes valores del ángulo de incidencia.

es aún bajo para una máquina de este tipo debido a irregularidades en el montaje del equipo que ocasionan pérdidas considerables. Esta circunstancia, no le resta validez al estudio ya que todos los ensayos se realizaron bajo las mismas condiciones y el ángulo hallado como óptimo, es de todas maneras el que presenta mayores ventajas —reflejadas en la mayor eficiencia— para el funcionamiento de la turbina.

Por ser recto el perfil de las hélices consideradas en este estudio su superficie presenta simultáneamente diversas clases de contacto con el agua, siendo en algunas zonas choque o separación y en otras un contacto perfectamente tangencial. Para el ángulo de $31,5^\circ$ se ha logrado que las pérdidas ocasionadas por choque y separación sean mínimas, siendo por ello, el ángulo con el cual se logra el mejor comporta-

miento del modelo.

El estudio de la turbina será complementado en un próximo artículo después de realizar ensayos similares con hélices de perfil curvo que permitan establecer un análisis comparativo ■

BIBLIOGRAFIA

1. Viejo adagio en el diseño de turbinas citado en "Mecánica de Fluidos" de Víctor L. Streeter. pág. 506.
2. Polo Encinas. "Turbomáquinas hidráulicas". pág. 244.
3. Albarracín Fermín y otros. "Diseño y construcción de una turbina hidráulica para generar 3 kw". Segunda etapa. pág. 28 ss.
4. Polo Encinas. "Turbomáquinas hidráulicas". pág. 136.