

REVISTA ENERGETICA

AÑO 8
3/84

Mayo - Junio/84
May - June/84



Organización Latinoamericana de Energía
Latin American Energy Organization

ASPECTOS INSTITUCIONALES RELATIVOS AL DESARROLLO DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS **olade** INSTITUTIONAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF SMALL HYDROPOWER STATIONS **olade** ACTIVIDADES DE CAPACITACION DEL PROGRAMA DE HIDROENERGIA EN EL CAMPO DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS **olade** HYDROENERGY PROGRAM TRAINING ACTIVITIES IN THE FIELD OF SMALL HYDROPOWER STATIONS **olade** DISEÑO, ESTANDARIZACION Y FABRICACION DE TURBINAS PELTON **olade** DESIGN, STANDARDIZATION AND MANUFACTURE OF PELTON TURBINES **olade** INVENTARIO REGIONAL DE FABRICANTES DE EQUIPOS Y MATERIALES PARA PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS **olade** MAJOR ASPECTS OF THE REGIONAL INVENTORY OF MANUFACTURERS OF EQUIPMENT AND MATERIALS FOR SMALL HYDROPOWER STATIONS

DISEÑO, ESTANDARIZACION Y FABRICACION DE TURBINAS PELTON

PROGRAMA REGIONAL
DE HIDROENERGIA DE OLADE

El Programa Regional de Hidroenergía de la Secretaría Permanente de OLADE, dentro de los aspectos referentes a capacitación, se encuentra trabajando en la elaboración de un Manual de Diseño, Estandarización y Fabricación de Equipos para Pequeñas Centrales Hidroeléctricas, el cual constará de 9 volúmenes. El volumen I, correspondiente a Turbinas Michell-Banki ya fue editado a mediados de 1983 y en el transcurso del presente año será editado el volumen II, correspondiente a Turbinas Pelton.

A diferencia de otros documentos preparados por OLADE, cuya difusión es amplia e irrestricta, en razón del carácter metodológico o informativo de su contenido los manuales que incluyen tecnologías de diseño de equipos con un nivel suficiente de información de detalle que permita utilizarlos como base del desarrollo de producciones industriales, tienen una difusión principalmente orientada hacia los países que confirman su interés en desarrollar la fabricación de equipos a que se refiere el Manual, mediante una solicitud oficial de asistencia técnica dirigida a OLADE señalando la institución o empresa designada para el desarrollo de la producción de equipos, la cual se constituiría como depositaria de la tecnología desarrollada por OLADE.

En este artículo se tratarán las principales características y alcances del volumen II del Manual, así como las modalidades de cooperación de OLADE hacia los países miembros, para promover la fabricación de estas turbinas empleando la tecnología desarrollada por la Organización.

1. DESCRIPCION DEL VOLUMEN II

1.1 Índice

El volumen II tiene el siguiente índice:

Introducción

1. Descripción general y parámetros de diseño.
2. Diseño y cálculos hidráulicos
 - 2.1 Diagramas de velocidad
 - 2.2 Geometría de la tobera
 - 2.3 Geometría del rodete
3. Diseño de detalle y cálculos mecánicos
 - 3.1 Diseño y cálculos de la tobera
 - 3.2 Diseño y cálculos del rodete
 - 3.3 Cálculo y diseño del eje
 - 3.4 Diseño del soporte de rodamientos
 - 3.5 Diseño del mecanismo de regulación
 - 3.6 Diseño de la carcasa
4. Estandarización y selección
 - 4.1 Estandarización
 - 4.2 Selección y reubicación
5. Recomendaciones para la fabricación
 - 5.1 Fabricación de la tobera
 - 5.2 Fabricación del rodete
 - 5.3 Fabricación del eje principal
 - 5.4 Fabricación de los soportes de rodamientos
 - 5.5 Fabricación del mecanismo de regulación
 - 5.6 Fabricación de la carcasa

Anexo N° 1

Anexo N° 2

Anexo N° 3

1.2 Reseña de la introducción al Volumen II

La turbina Pelton, es una turbina de acción de flujo tangencial, llamada también de impulso, que se utiliza en grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas, en donde se aprovechan grandes saltos y pequeños caudales. Está provista de una o más toberas cuyas funciones son las de regular y orientar chorros de agua hacia las cucharas en la periferia de un disco, transmitiendo de esta forma potencia al eje de la turbina. La principal ventaja de esta turbina radica en su buena eficiencia cuando opera a carga parcial reducida.

El diseño de esta turbina se viene perfeccionando desde 1880, año en que fue patentada por Lester A. Pelton de los Estados Unidos. En la actualidad existen numerosas fábricas en el mundo que la producen e instituciones que realizan actividades de desarrollo y adaptación de tecnología y fabricación de este tipo de turbina, para utilizarlas principalmente en proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas.

Entre los objetivos de este manual se pueden mencionar: difundir los principales criterios que intervienen en el diseño de la turbina Pelton, presentar una metodología para el cálculo y dimensionamiento de la turbina, proporcionar un documento de consulta a los ingenieros y técnicos interesados en el desarrollo y adaptación de tecnología de este tipo de turbina y facilitar información de diseño completa, incluyendo planos de detalle, para una serie estandarizada de turbinas Pelton, adecuadas para una amplia gama de aplicaciones en pequeñas centrales hidroeléctricas. Cabe señalar que la información relativa a la serie estandarizada, contenida en este volumen del manual, es suficiente para iniciar la fabricación de turbinas Pelton, requiriéndose solamente complementar datos en cuanto a ajustes y tolerancias.

El volumen II del manual está desarrollado en cinco capítulos y tres anexos y fue realizado bajo la orientación y dirección del Dr. Ulises Ramírez Olmos, Secretario Ejecutivo de OLADE y del Ing. Luiz Claudio Magalhaes, Director Técnico. La supervisión de su elaboración estuvo a cargo del Ing. Enrique Indacochea R. de S., Jefe del Programa Regional de Hidroenergía de

OLADE, y su preparación fue encomendada al Ing. Carlos Alberto Hernández Bazo, experto contratado de OLADE.

1.3 Resumen del contenido y alcances

a. Especificación general del contenido:

- 120 páginas
- 17 figuras
- 7 tablas
- 21 planos de detalle
- 15 tablas de dimensiones de los planos de detalle.

b. Descripción de cada capítulo:

Capítulo I: **Descripción general y parámetros de diseño**

En este capítulo se ilustran los principios de funcionamiento de la turbina Pelton como una máquina de acción de flujo tangencial, que posee una o más toberas de sección circular y un rodete de cucharas o cazoletas ubicadas en la periferia de un disco.

El rango de aplicación de las turbinas Pelton lo definen los números específicos de revoluciones.

Asimismo en este capítulo se presentan fórmulas para el cálculo de potencias y velocidades de giro, tablas y figuras para seleccionar el tipo de turbina más conveniente dependiendo del salto y caudal disponible.

Capítulo II: **Diseño y cálculos hidráulicos**

El diseño y los cálculos hidráulicos de una turbina se realizan con el objeto de determinar las dimensiones de sus elementos principales; en el caso de la turbina Pelton, éstos elementos son la tobera y el rodete.

En este capítulo se presentan los triángulos de velocidad en el punto donde el chorro toma contacto con la cuchara y en el punto donde la abandona.

En base a la ecuación de Bernoulli se determina la velocidad del chorro de agua a la salida de la tobera, mediante la cual se expresan todas las demás velocidades, quedando de esta forma expresadas en función de la raíz cuadrada del salto (\sqrt{H}). También se presentan expresiones para determinar la eficiencia hidráulica de la turbina, así como fórmulas para determinar sus dimensiones principales (tobera y rodete).

Capítulo III: **Diseño de detalle y cálculos mecánicos**

Este capítulo tiene por objeto definir las dimensiones de detalle de cada una de las piezas que conforman la turbina Pelton, considerando las diferentes alternativas de producción para cada pieza, sistemas adecuados para su ensamble, aspectos relativos a buenos sistemas de lubricación y hermeticidad para evitar fugas externas de agua.

Por medio de cálculos mecánicos se define si la resistencia del material utilizado para cada pieza es suficiente para soportar los esfuerzos a los que se la solicita. Con ayuda de estos cálculos y utilizando algunos criterios expuestos, se determina la geometría de las piezas que conforman una turbina Pelton, las que están plasmadas en una serie de planos que se incluyen en el anexo N° 2 de Manual, para cada uno de los siguientes componentes:

Tobera: Se presentan fórmulas para calcular el espesor mínimo que deben tener las paredes del tramo recto y el esfuerzo a que está sometida la aguja en el momento de la apertura.

Rodete: Se presentan criterios para determinar las dimensiones en base a la relación Diámetro Pelton/Diámetro del chorro (D_p/d).

Eje: En base a un diagrama típico de fuerzas y momentos en los ejes de la turbina Pelton y con ayuda de fórmulas, se determina el diámetro del eje y la velocidad crítica.

Soporte de rodamiento: Se determina la capacidad de base dinámica y con ayuda del diámetro del eje

y del número máximo de revoluciones, se selecciona el rodamiento, de los catálogos comerciales. Con las dimensiones de este rodamiento se diseña el soporte de rodamientos.

Mecanismo de regulación: Se muestran algunos diseños de sistemas de regulación realizados a través de la aguja y el deflector.

Carcasa y estructura base: Se presenta un diseño de carcasa que contempla la posibilidad de diseñar turbinas Pelton de una o dos toberas como máximo.

Capítulo IV: **Estandarización y Selección**

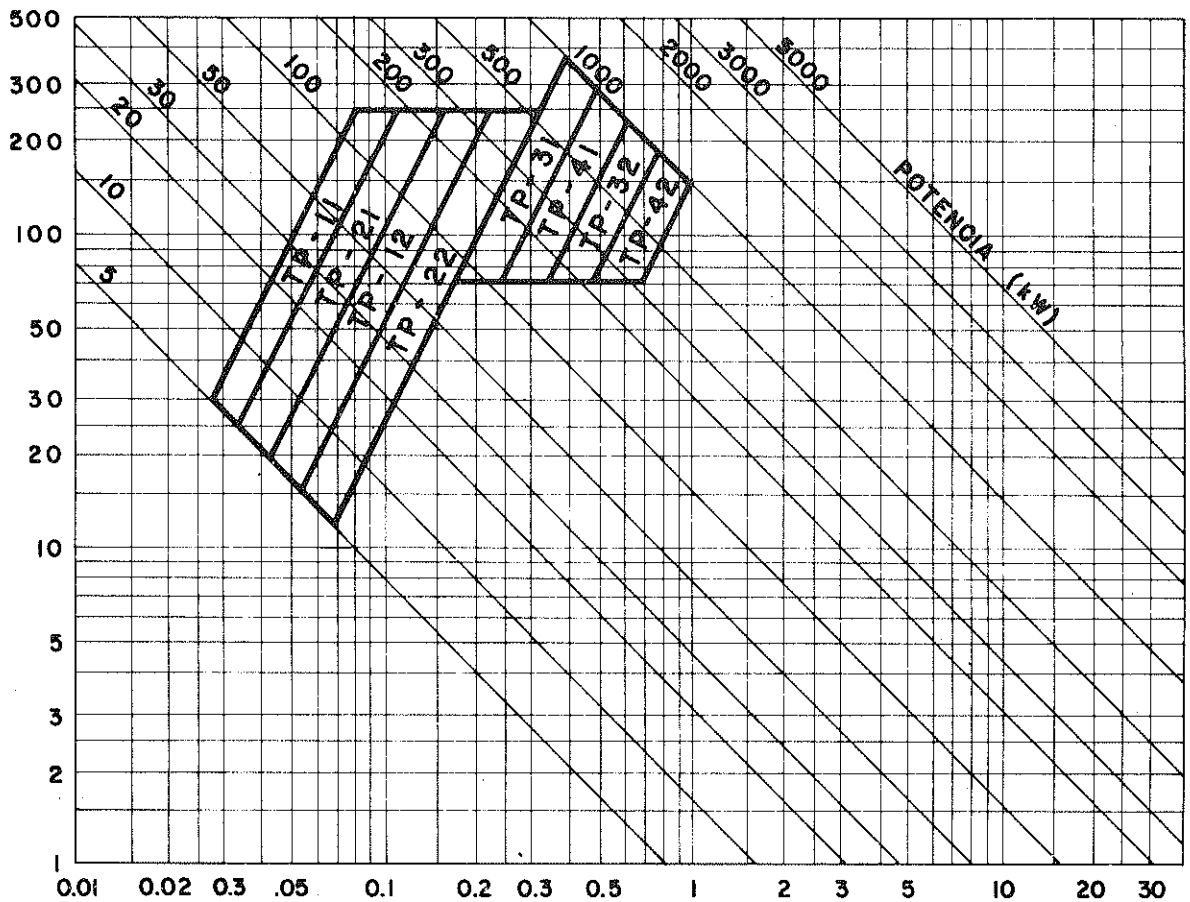
En este capítulo se proponen dos criterios para establecer series de turbinas Pelton estandarizadas, dependiendo del tipo de acoplamiento que se utilice entre la turbina y el generador.

En el caso de acoplamiento mediante bandas o engranajes se utiliza el criterio de estandarización basado en el parámetro Q/\sqrt{H} (Q -caudal, H - salto), mediante el cual se puede determinar los caudales máximos a los que debe trabajar la turbina cuando se la instala con diferentes saltos para que opere a eficiencia constante. Considerando una disminución de la eficiencia, dentro de límites tolerables, se pueden definir áreas de aplicación para diferentes tamaños de turbinas Pelton, que se complementen y puedan aprovechar todos los recursos hidroenergéticos ubicados dentro de un rango de aplicación definido previamente. Como resultado de la aplicación de este criterio dentro del rango específico definido en el manual, se obtiene una serie de ocho turbinas (figura 16) que en realidad corresponde a cuatro tamaños básicos que pueden utilizar una o dos toberas.

En el caso de acoplamiento directo entre la turbina y el generador, además del criterio basado en la relación Q/\sqrt{H} , se utiliza la característica de la turbina Pelton de presentar una buena eficiencia en un rango $\pm 20\%$ de su velocidad óptima, lo que permite definir para cada turbina un rango de salto,

SALTO

H
(m)



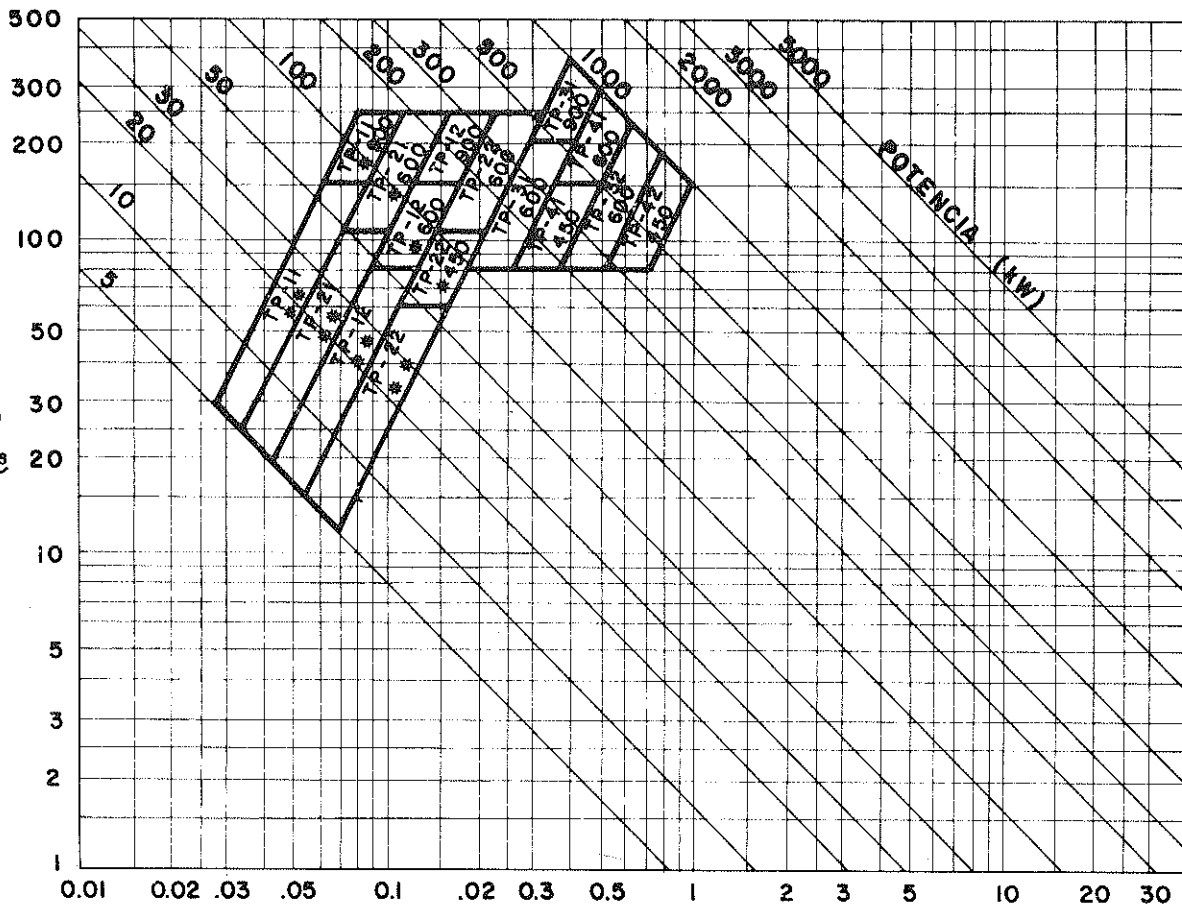
EJEMPLO DE ESTANDARIZACION DE TURBINAS PELTON CONSIDERANDO TRANSMISION POR BANDAS O ENGRANAJES

Figura Nº 16

CAUDAL
Q
(m³/s)

POTENCIA (kW)

SALTO
H
(m)



LEYENDA

TIPO DE TURBINA	Nº DE LA TURBINA	NUMERO DE TOBERAS
PELTON		
TP	22	
	600	
	NUMERO DE REVOLUCIONES DEL GENERADOR	

NOTA:

- * SE RECOMIENDA UTILIZAR ACOPLAMIENTO DIRECTO U OTRO TIPO DE TRANSMISION ENTRE LA TURBINA Y EL GENERADOR.
- ** SE RECOMIENDA UTILIZAR TRANSMISION POR FAJAS O BANDAS ENTRE LA TURBINA Y EL GENERADOR.

EJEMPLO DE ESTANDARIZACION DE TURBINAS PELTON CONSIDERANDO ACOPLAMIENTO DIRECTO
Figura Nº 17

CAUDAL
Q
(m³/s)

dentro del cual se garantiza que el número de revoluciones con que operará la turbina estará muy próximo a su número óptimo y corresponderá a la velocidad síncrona del generador. Como resultado de la aplicación de este criterio se obtiene una serie de 16 turbinas (Figura 17), que en realidad corresponden a cuatro tamaños básicos en combinación con el uso de una o dos toberas y utilizando diferente número de revoluciones del generador.

Los planos de detalle con sus correspondientes tablas, para cada pieza de las turbinas de la serie se incluyen en el anexo N° 2, para un límite de potencia de 1000 kW y en el anexo N° 3, para un límite de potencia de 5000 kW.

En este capítulo también se proponen criterios para la selección de turbinas a partir de catálogos de fabricantes y un método para definir las posibilidades de reubicación de turbinas existentes que tengan que operar en condiciones distintas de las que fueron originalmente especificadas, empleando criterios semejantes a los adoptados para el proceso de estandarización.

Capítulo V: **Recomendaciones para la fabricación**

En este capítulo se proponen alternativas de procesos productivos metalmecánicos para la fabricación de cada una de las piezas que conforman la turbina Pelton, la mayor parte de las cuales se debe producir mediante procesos de fundición.

Anexo N° 1; Ejemplo práctico de diseño y cálculo de una turbina Pelton.

Anexo N° 2: Planos de detalle y tablas de dimensiones de turbinas Pelton estandarizadas.

Anexo N° 3: Tablas de dimensiones de turbinas Pelton estandarizadas para potencias de hasta 5.000 kW.

A título ilustrativo, a continuación se presentan algunos planos incluidos en el manual, y en solo uno de los casos, su tabla de dimensiones correspondiente.

2. **COOPERACION TECNICA REGIONAL PARA EL DESARROLLO DE LA FABRICACION DE TURBINAS PELTON**

En esta parte se proponen procedimientos a seguir para obtener asistencia técnica y documentación tecnológica de OLADE (Volumen II del Manual), se definen los alcances de esta asistencia y las alternativas para su financiamiento.

2.1 **Procedimiento**

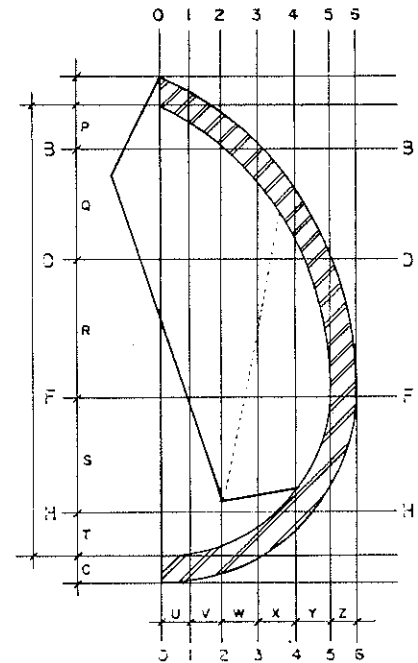
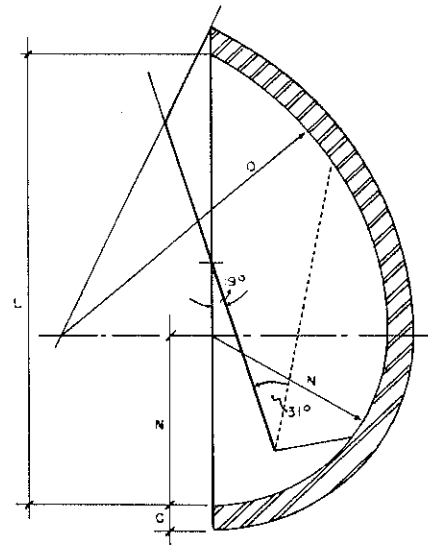
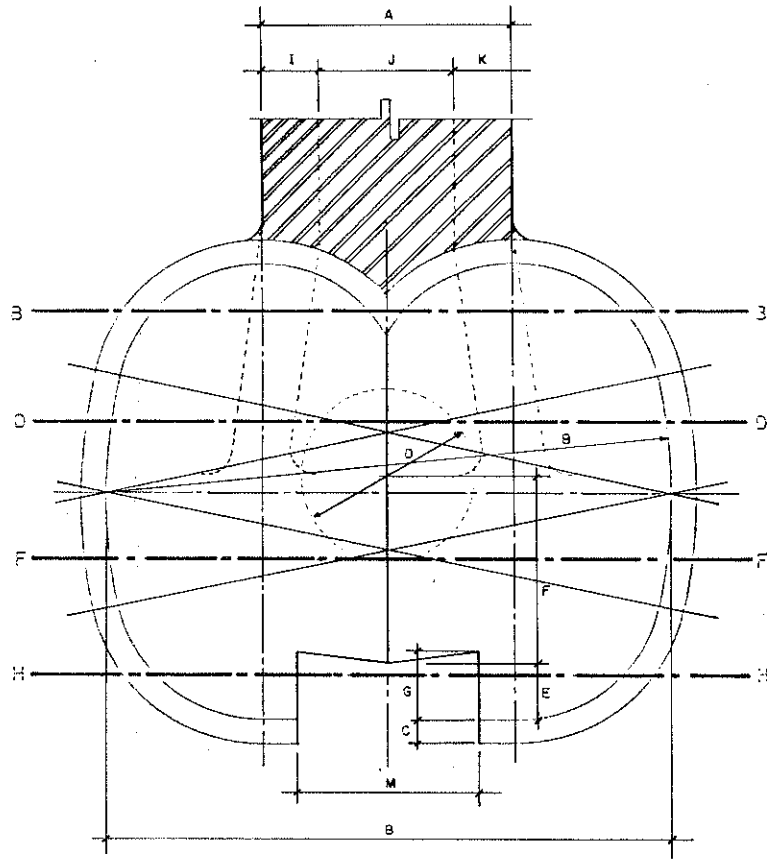
La iniciativa para recibir asistencia técnica de OLADE para desarrollar la fabricación de turbinas Pelton, puede nacer de cualquier institución o empresa, pero para que pueda concretarse, debe ser solicitada oficialmente a OLADE por el Ministerio o Secretaría de Estado responsable de asuntos energéticos, que representa al país en el seno de OLADE.

La solicitud del Ministerio o Secretaría de Estado responsable, será dirigida al Secretario Ejecutivo de OLADE señalando lo siguiente:

- a. Interés del país en el desarrollo de la fabricación de turbinas Pelton y definición preliminar de los alcances de la Asistencia Técnica solicitada (ver 2.2).
- b. Nombre de la institución o empresa designada como beneficiaria de la asistencia técnica de OLADE y depositaria de la tecnología desarrollada por la organización.

Asimismo, la solicitud deberá estar acompañada de una carta de intención de la institución o empresa designada, la cual deberá contener lo siguiente:

- a. Interés de la institución o empresa en desarrollar la producción de turbinas Pelton con asistencia técnica y tecnología de OLADE.
- b. Compromiso de la institución o empresa en el sentido de que en el caso de decidir la implementación de la fabricación de turbinas Pelton empleando la tecnología de OLADE facilitará a la organización copia de los planos de fabricación que se elaboren así como detalles sobre cualquier mejora que se produzca,



MANUAL DE DISEÑO DE
TURBINAS PELTON

CUCHARA DE TURBINA PELTON ($D_e/d = 7.5$)

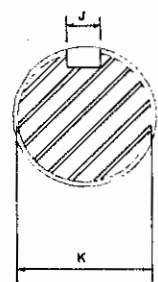
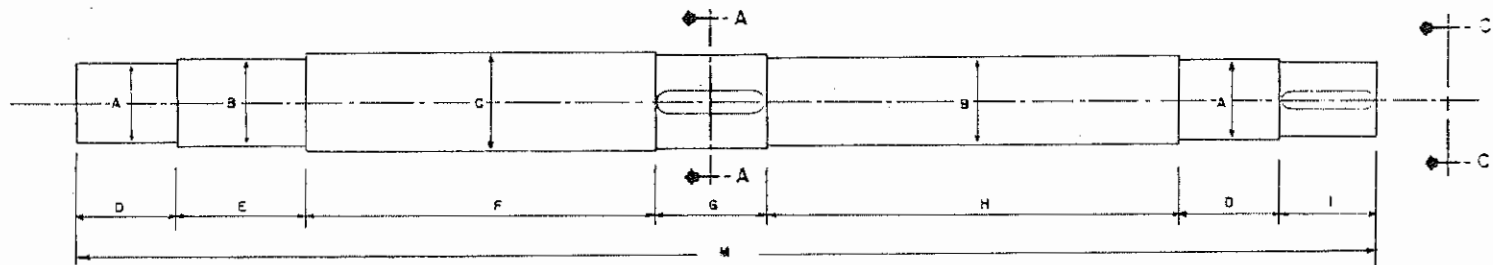
Nº Plano: TP - 03 -05

DISEÑADO POR: CARLOS HERNANDEZ B.

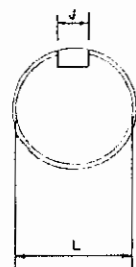
DIBUJADO POR: MARCELO BENAVIDES E.

ESCALA: S. E.


FECHA: OCTUBRE _____ 83



CORTE A-A



CORTE C-C

		MANUAL DE DISEÑO DE TURBINAS PELTON	
		EJE	
Nº PLANO :	TP - 04 - 01	DISEÑADO POR:	CARLOS HERNANDEZ B.
ESCALA:	S. E.	DIBUJADO POR:	MARCELO BENAVIDES E.
		FECHA:	OCTUBRE ____ 83

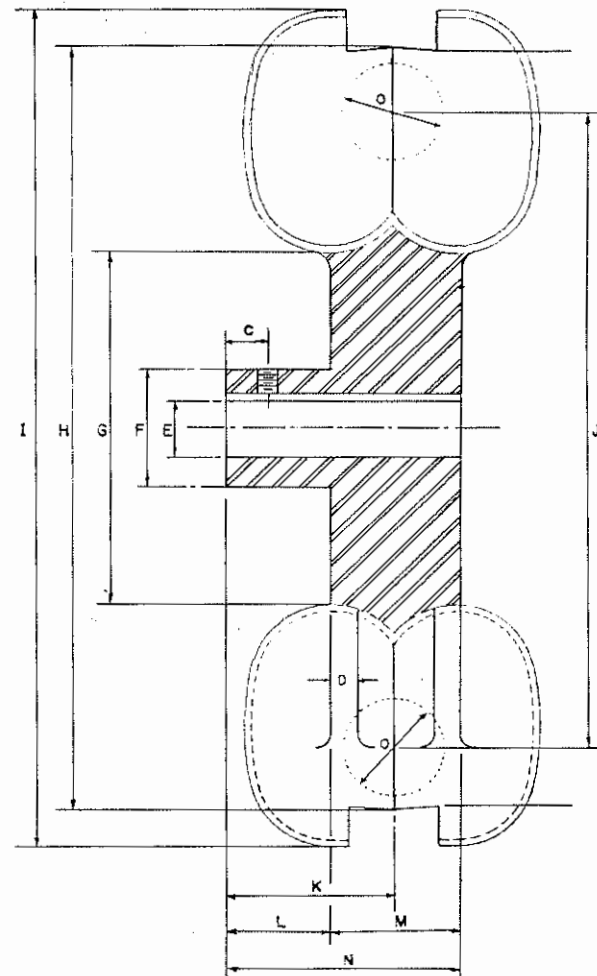
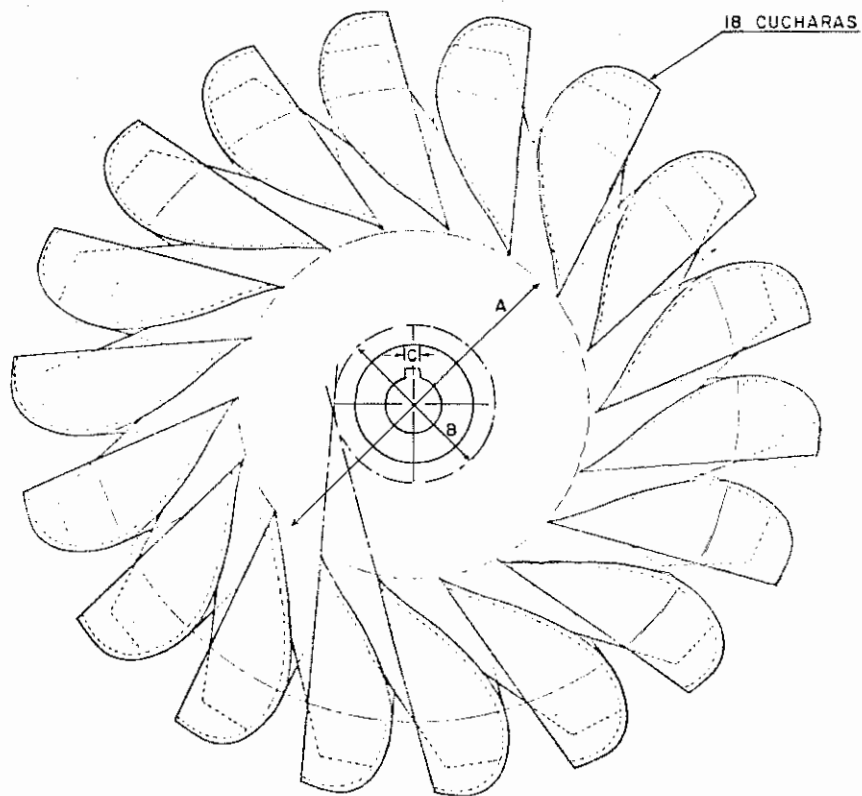


MANUAL DE DISEÑO DE TURBINAS PELTON
TABLA DE DIMENSIONES
 (mm)

PLANO Nº TP.04-01

SIMBOLO	TURBINA ESTANDARIZADA					
	TP - 11 12	TP - 21 22	TP - 31 32	TP - 41 42	TP - 51 52	TP - 61 62
A	115	135	170	200	240	280
B	120	140	175	205	250	300
C	125	150	200	225	255	305
D	120	125	160	165	170	180
E	100	120	170	210	170	210
F	271	330	548	664	550	665
G	160	190	240	260	320	370
H	157	194	402	514	400	515
I	145	170	215	260	300	350
J	30	30	50	50	75	75
K	123	143	180	210	356	366
L	110	130	165	195	235	275
M	1073	1254	1895	2238	2080	2470





MANUAL DE DISEÑO DE
TURBINAS PELTON

RODETE PELTON FUNDIDO EN
UNA SOLA PIEZA

N. PLANO	TP - 03 - 02	DISEÑADO POR: CARLOS HERNANDEZ B.
ESCALA:	S. E.	DIBUJADO POR: MARCELO BENAVIDES E.
		FECHA: OCTUBRE ____ 83

en beneficio del conjunto de países de la región. Igualmente se compromete a que toda turbina que se fabrique sobre la base de la tecnología antes mencionada, deberá incluir en forma destacada, en la placa de la máquina, la frase "TECNOLOGIA: OLADE".

Luego de evaluar la solicitud, se podrá programar una misión técnica de la Secretaría de OLADE al país solicitante, con la finalidad de preparar conjuntamente con la contraparte nacional la formulación del Proyecto PLACE respectivo, el cual, entre otros aspectos, deberá contener planteamientos respecto a:

- Perspectivas de la producción de turbinas Pelton en el país.
- Capacidad de la institución o empresa designada.
- Número de copias del volumen II del Manual y planos requeridos.
- Alcances y programa de asistencia técnica requerida.
- Programa tentativo de ejecución de la producción (a nivel de prototipos o a nivel industrial).
- Compromisos de la contraparte.
- Financiamiento de la asistencia técnica.

La formulación del proyecto que se adopte con motivo de la visita técnica, será luego enviada por OLADE al Ministerio o Secretaría de Estado pertinente, para someterla a su conformidad.

La conformidad a la ejecución del proyecto y su financiamiento será dada por el Secretario Ejecutivo, sea que el proyecto involucre solamente el envío de copias del Manual y asistencia técnica directa del personal técnico de la Secretaría de OLADE o que se requiera contratar expertos para la prestación de asistencia técnica o cualquier otra ayuda económica con fondos del PLACE.

Contando con la aprobación definitiva del proyecto, OLADE y la institución o empresa designada, suscri-

birán un Acuerdo simple, mediante el cual se formalizará la ejecución del proyecto, pudiendo actuar como testigo el señor Ministro o Secretario de Estado responsable de las actividades energéticas en el país.

Luego de culminar los procedimientos señalados, se procederá a la ejecución del proyecto, para lo cual, OLADE coordinará directamente con la institución o empresa designada.

2.2. Alcances

Los alcances del Proyecto de asistencia técnica podrán variar según requerimientos particulares de cada país o institución y según las disponibilidades de asistencia técnica y recursos con que cuenta OLADE.

En el caso de un país o institución que cuente con una elevada capacidad de asimilación tecnológica y recursos financieros propios, el proyecto puede limitarse a un nivel mínimo, consistente en el envío de copias del volumen II del Manual y el otorgamiento de asistencia técnica de algunos días de duración, con la finalidad de aclarar la aplicación del manual y definir las actividades que es necesario realizar para desarrollar la producción.

En el caso de países que tuvieran mayores requerimientos de asistencia técnica, la ayuda podrá comprender algunos de los aspectos que se señalan a continuación, además del envío de copias suficientes del volumen II del Manual:

- a. Asistencia técnica para algunas de las diversas fases de implementación, tales como:
 - Asimilación de la tecnología
 - Definición de procesos productivos
 - Preparación de planos de fabricación
 - Definición de requerimientos complementarios de equipos de producción.
 - Modificación de la serie estandarizada.

- b. Entrenamiento de personal de diseño.
- c. Asesoría en el establecimiento de criterios para la evaluación del mercado.
- d. Asesoría para la fabricación y prueba de prototipos.

En cualquiera de los casos que pudieran ser materia de asistencia técnica de OLADE, deberá existir una contraparte técnica nacional que esté en condiciones de asimilar la ayuda que pudiera otorgar OLADE, considerando que ésta deberá tener la más breve extensión posible.

2.3 Financiamiento

Una vez aprobado el proyecto de asistencia técnica, la documentación tecnológica (volumen II del Manual y copias de planos) que será entregada por OLADE a la institución o empresa designada, será **totalmente gratuita**, al considerarse como una actividad de cooperación en el marco del PLACE.

También será gratuita cualquier asistencia técnica inicial y de corto plazo que otorgue OLADE para facilitar la asimilación de tecnología.

El resto de las actividades necesarias para desarrollar la fabricación de turbinas Pelton, serán en general financiadas y determinadas por el país y la Institución o empresa encargada.

En determinados casos, dependiendo de los criterios aprobados para la ejecución del PLACE, será posible una mayor asistencia financiera de OLADE empleando recursos del PLACE, principalmente para otorgar la asistencia técnica que resultare necesaria. También en determinados casos sería posible financiar parcial o totalmente la fabricación de un prototipo.

Evidentemente, los alcances del financiamiento que otorgue OLADE en el marco del PLACE, podrán variar de caso a caso, para lo cual se tomarán en cuenta, entre otros, los siguientes criterios:

- Perspectivas de desarrollo e importancia de la fa-

bricación de turbinas Pelton en el país.

- Nivel de desarrollo relativo del país.
- Dificultades económicas del país para financiar actividades de asistencia técnica.
- Requerimientos específicos de asistencia técnica.
- Efectividad mostrada en el establecimiento de una contraparte nacional adecuada.
- Marco jurídico de la institución o empresa designada; si bien será competencia del Ministerio o Secretaría de Energía del país interesado designar a la institución o empresa responsable, pudiendo ésta ser de carácter público, privado, mixto o de cualquier otra naturaleza, cualquier asistencia financiera de OLADE que signifique desembolsos a favor de la institución o empresa, sólo se podrá realizar si la entidad designada depende del sector público.

3. COOPERACION EXTRARREGIONAL

Si bien las funciones específicas de OLADE tienen un carácter regional limitado a sus países miembros, es posible que la organización otorgue asistencia a instituciones y empresas ubicadas fuera del marco regional, en forma similar a lo establecido en 2.1 y 2.2 en cuanto a procedimientos y alcances, pero considerando las siguientes limitaciones:

- a. Cooperación con instituciones oficiales de países del tercer mundo.
 - Tendrá un tratamiento favorable en el marco de la cooperación sur-sur.
 - La institución receptora pagará a OLADE una suma mutuamente convenida por la entrega de copias del volumen II del Manual en español y/o inglés, además de copias de los planos correspondientes. Esta suma será una contribución para cubrir parcialmente los costos incurridos por OLADE en el desarrollo de la tecnología y podrá ser financiada directamente por el país



beneficiario o por un organismo internacional que acepte apoyar al país interesado. Estas condiciones podrán ser sustancialmente modificadas en el marco de los acuerdos que eventualmente se realizarían entre OLADE y ONUDI para el desarrollo y difusión del manual.

- Los plazos y alcances de la asistencia técnica que OLADE otorgue, serán establecidos de mutuo acuerdo pero limitados al envío de expertos de OLADE. La institución beneficiaria pagará a OLADE los costos de la asistencia técnica que sean acordados. Asimismo, cubrirá los costos de pasajes y viáticos de los expertos de OLADE por el tiempo que dure la misión de asistencia técnica.
 - La transferencia de tecnología y asistencia técnica serán convenidas mediante un acuerdo formal de cooperación técnica.
- b. Cooperación con países desarrollados y directamente con empresas particulares:
- En general esta cooperación se realizará bajo condiciones comerciales de transferencia de tecnología que sean negociadas y convenidas mutuamente mediante contrato.
 - En el caso de instituciones de investigación de países desarrollados, será posible realizar actividades de asistencia técnica y transferencia de tecnología como parte de un acuerdo de trueque por otras tecnologías desarrolladas por esas instituciones que pudieran tener interés para OLADE y cuyo valor sea estimado como equivalente.

DESIGN, STANDARDIZATION AND MANUFACTURE OF PELTON TURBINES

REGIONAL HYDROENERGY
PROGRAM OF OLADE

Within the aspects referring to training, the Regional Hydroenergy Program of the Permanent Secretariat of OLADE has been working on the preparation of a **Manual on Design, Standardization and Manufacture of Equipment for Small Hydro Power Stations**, which comprises nine volumes. Volume I, corresponding to Michell-Banki turbines, was published in mid-1983; and Volume II, corresponding to Pelton turbines, is expected to come out in the course of this year.

Unlike other documents prepared by OLADE, the dissemination of which is broad and unrestricted because of the methodological or informative nature of their contents, the manuals which include equipment design technologies with sufficiently detailed information, permitting their use as the basis for developing industrial production, are primarily geared to the countries that confirm their interest in undertaking the manufacture of the type of equipment referred to in the manual, through an official request to OLADE for technical assistance, and noting the institution or firm designated to develop such equipment production and to serve as the depository for the technology developed by OLADE.

This article deals with the main features and scope of the manual's second volume, as well as the modalities of cooperation between OLADE and its member countries to promote the manufacture of these turbines using the technology developed by the organization.

1. DESCRIPTION OF VOLUME II

1.1 Index

Volume II has the following index:

Introduction

1. General Description and Design Parameters
2. Hydraulic Design and Calculations
 - 2.1. Speed Diagrams
 - 2.2. Nozzle Geometry
 - 2.3. Runner Geometry
3. Detailed Design and Mechanical Calculations
 - 3.1. Design and Calculation of the Nozzle
 - 3.2. Design and Calculation of the Runner
 - 3.3. Design and Calculation of the Shaft
 - 3.4. Design of the Bearings Support
 - 3.5. Design of the Regulating Mechanism
 - 3.6. Design of the Casing
4. Standardization and Selection
 - 4.1. Standardization
 - 4.2. Selection and Relocation
5. Manufacturing Recommendations
 - 5.1. Manufacturing the Nozzle
 - 5.2. Manufacturing the Runner
 - 5.3. Manufacturing the Main Shaft
 - 5.4. Manufacturing the Bearings Support
 - 5.5. Manufacturing the Regulating Mechanism
 - 5.6. Manufacturing the Casing

Appendix N° 1
Appendix N° 2
Appendix N° 3

1.2 Summary of the Introduction to Volume II

The Pelton turbine is a tangential-flow impulse turbine which can be used in either large or small hydro power stations, to tap large heads and small flows. It is provided with one or more nozzles or injectors whose function is to regulate and direct jets of water towards the buckets located on the edge of a disk, thereby transmitting power to the turbine shaft. The main advantage of this type of turbine lies in its good efficiency when operating with small partial loads.

The turbine design has been perfected gradually since 1800, the year in which it was patented by Lester A. Pelton in the United States. Currently, there are numerous factories worldwide which produce it and numerous institutions that have activities underway to develop and adapt the technology and manufacturing processes for this type of turbine, mainly for its use in small hydro projects.

Among the objectives, mention should be made of the following: to disseminate the major criteria that play a part in the design of Pelton turbines; to present a methodology to calculate and dimension the turbine; to provide a reference document for engineers and technicians interested in the development and adaptation of technology for this type of turbine; and to facilitate complete design information, including detailed drawings for a standardized series of Pelton turbines suitable for a wide range of applications in small hydro power stations. It should also be noted that the information relative to the standardized series series contained in the second volume of the manual is sufficient to begin manufacturing Pelton turbines, requiring only complementary data on fits and tolerances.

Volume II of the manual is developed through five chapters and three appendices. It was prepared under the direction and orientation of

Dr. Ulises Ramirez, Executive Secretary of OLADE, and Luiz Claudio Magalhaes, Technical Director. Enrique Indacochea R. de S., Head of the Regional Hydroenergy Program of OLADE, supervised its elaboration by engineer Carlos Alberto Hernández Bazo, the expert hired by OLADE for this express purpose.

1.3 Summary of Contents and Scope

a. General specification of contents:

- 120 pages
- 17 figures
- 7 tables
- 21 detailed drawings
- 15 tables of dimensions for the detailed drawings

b. Description of each chapter:

Chapter 1: **General Description and Design Parameters**

This chapter illustrates the operational principles of the Pelton turbine, as a tangential-flow impulse turbine with one or more circular-section nozzles and a runner with buckets located on the edge of a disk.

The range of application of the Pelton turbines is defined by specific number of revolutions.

This chapter also presents formulas for calculating power capacity and speeds of rotation, as well as tables and figures for selecting the most convenient type of turbine, as a function of available head and flow.

Chapter II: **Hydraulic Design and Calculations**

The hydraulic design and calculations for a turbine are aimed at determining the dimensions of its main components; in the case of the Pelton turbine, these are the nozzle and the runner.

This chapter gives speed triangles for the points at

which the jet of water makes contact with the bucket and then leaves it.

On the basis of the Bernoulli equation, the speed at which the jet of water exits from the nozzle is determined; and as a result, all of the other speeds can be determined as a function of the square root of the head (\sqrt{H}). Formulas are also provided to determine the hydraulic efficiency of the turbine and its principal dimensions (nozzle and runner).

Chapter III: **Detailed Design and Mechanical Calculations**

This chapter is geared to defining the detailed dimensions of each one of the pieces that make up the Pelton turbine, considering the different production alternatives for each, suitable assembly systems, and aspects related to good lubrication and hermeticity to avoid water leaks to the outside.

By means of mechanical calculation, it can be determined if the material used to make each piece is resistant enough to withstand the stress to which it will be subject. With the help of these calculations, and making use of certain criteria set forth, the shape of the pieces that comprise the Pelton turbine can be determined. Each one of the following components is then pictured in a series of drawings included in Appendix N° 2 of the manual:

Nozzle: Formulas are given to calculate the minimum thickness that the walls of the straight section must have, and the stress to which the needle is subject at the moment of opening.

Runner: Criteria are presented for determining the dimensions on the basis of the Pelton diameter/water jet diameter ratio (D_p/d).

Shaft: Based on a typical diagram of stress and moment in the Pelton turbine shaft, and with the aid of formulas, the shaft diameter and critical speed can be determined.

Bearings support: The capacity of the dynamic base

is determined; and with the diameter of the shaft and the maximum number of revolutions, the bearings are selected from commercial catalogs. With the dimensions of the bearings, the bearings support can be designed.

Regulating mechanism: Some designs are given for regulating systems using the needle and the deflector.

Casing and base structure: A casing design is presented contemplating the possibility of designing Pelton turbines with a maximum of one or two nozzles.

Chapter IV: **Standardization and Selection**

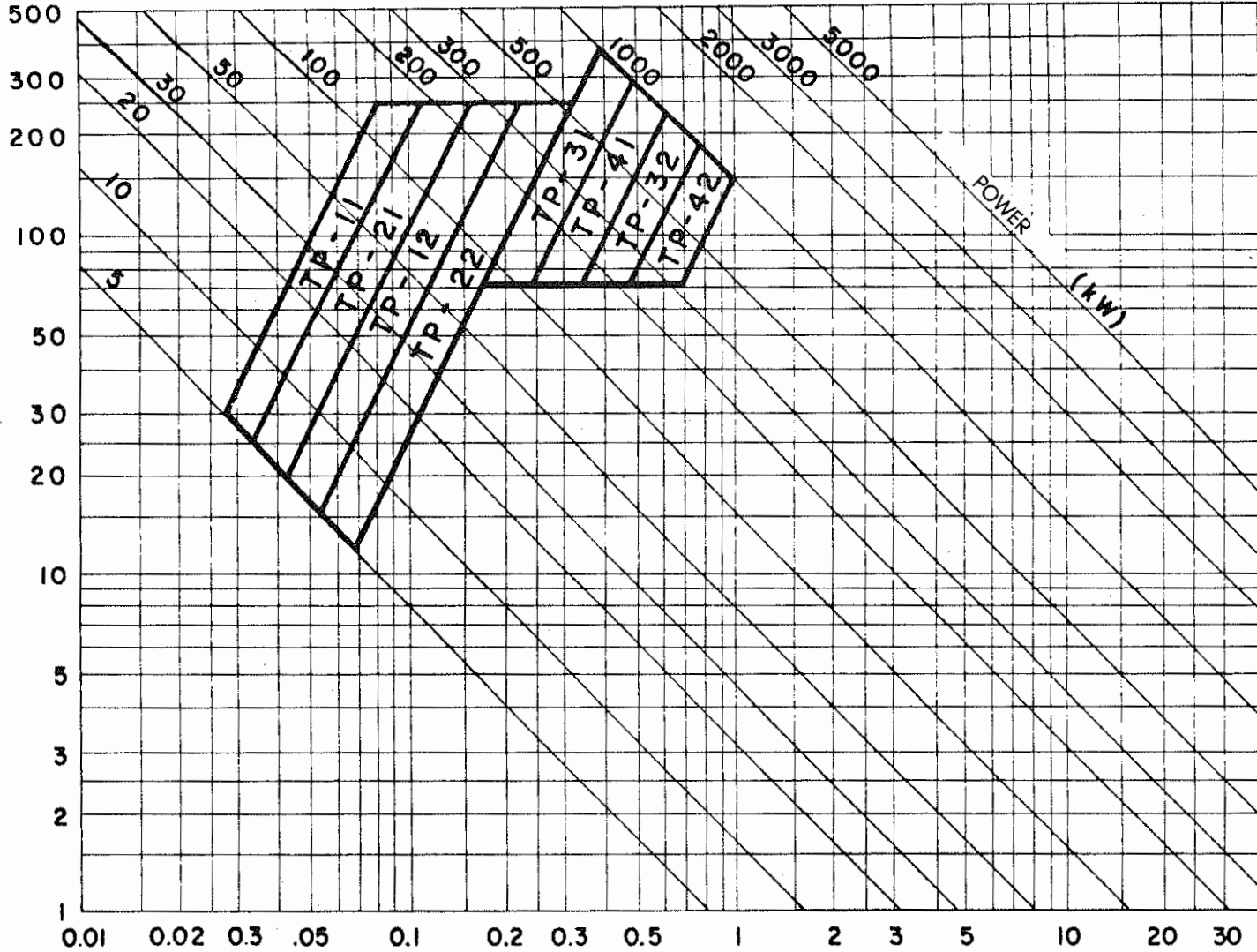
This chapter proposes two criteria for establishing a series of standardized Pelton turbines, depending on the type of coupling used between the turbine and generator.

In the case of coupling through belts or gears, the standardization criterion based on the parameter Q/\sqrt{H} (Q = flow; H = head) is used to yield the maximum flows with which the turbine can work when it is installed with different heads, so that it will operate at constant efficiency. Considering a reduction in efficiency, within tolerable limits, areas of application can be defined for different sizes of Pelton turbines; these complement each other and can therefore embrace all the hydroenergy resources falling within a previously defined range of applications. As a result of this criterion, and within the specific range defined in the manual, a series of eight turbines (Figure 16) can be obtained; this actually includes only four basic sizes, each of which can be used with either one or two nozzles.

In the case of direct coupling between the turbine and the generator, in addition to the criterion based on the ratio Q/\sqrt{H} , the fact that the Pelton turbine offers good efficiency (in a range of $\pm 20\%$ of its optimum velocity) is taken into account. This makes it possible to define a range of heads for each turbine and thereby to guarantee that the

HEAD

H
(m)

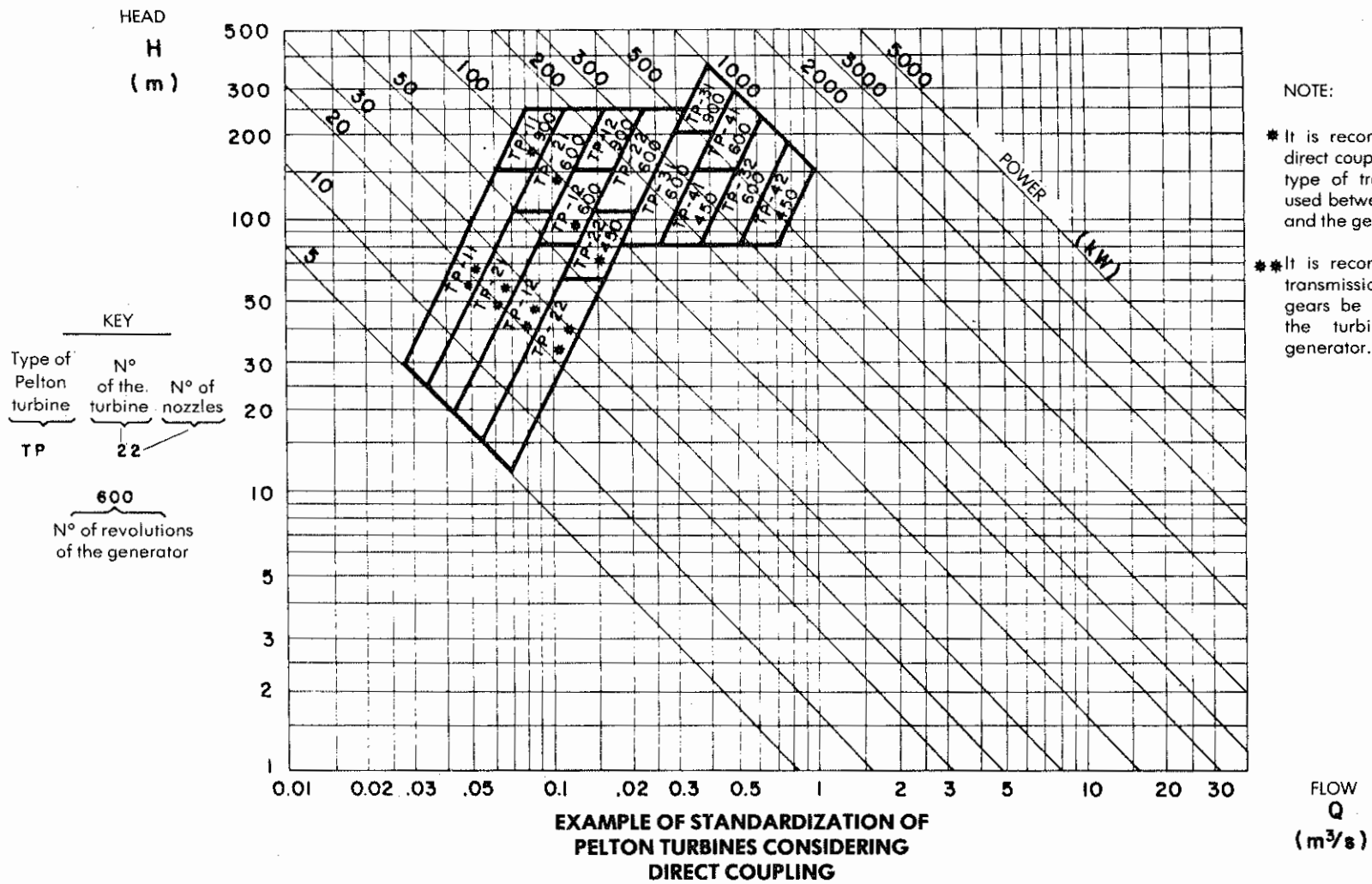


POWER
(kW)

FLOW
Q
(m³/s)

**EXAMPLE OF THE STANDARDIZATION
OF PELTON TURBINES CONSIDERING
TRANSMISSION BY BELTS OR GEARS**

Figure 16



NOTE:

- * It is recommended that direct coupling or another type of transmission be used between the turbine and the generator.
- ** It is recommended that transmission by belts or gears be used between the turbine and the generator.

Figure 17

number of revolutions at which it will work is very close to the optimum number and in line with the synchronous speed of the generator. As a result of the application of this criterion, a series of 16 turbines can be obtained (Figure 17); this actually includes only four basic sizes in combination with the use of either one or two nozzles and different numbers of generator revolutions.

The detailed drawings for each piece of the turbine series, with the corresponding tables of dimensions, are included in Appendix N° 2 for a power capacity of up to 1000 kW, and in Appendix N° 3 for a power capacity of up to 5000 kW.

This chapter also proposes criteria for the selection of turbines from manufacturers' catalogs, as well as a method for defining possibilities for the relocation of existing turbines that would have to operate under conditions different to those for which it was originally specified, by applying criteria similar to those adopted for the standardization process.

Chapter V: **Manufacturing Recommendations**

This chapter proposes alternative metal-mechanics production processes for the fabrication of each one of the pieces that make up the Pelton turbine, most of which have to be cast.

Appendix N° 1: Practical example of the design and calculation of a Pelton turbine.

Appendix N° 2: Detailed drawings and tables of dimensions for standardized Pelton turbines.

Appendix N° 3: Tables of dimensions for standardized Pelton turbines for power outputs of up to 5000 kW.

For the sake of illustration, some drawings included in the manual are presented herewith and, in only one of the cases, the corresponding table of dimensions.

2. REGIONAL TECHNICAL COOPERATION FOR THE DEVELOPMENT OF PELTON TURBINE MANUFACTURING

This part proposes procedures to be followed in

obtaining technical assistance and documents from OLADE (Volume II of the manual), in defining the scope of such aid, and in identifying alternatives for financing.

2.1 Procedures

The initiative for requesting OLADE technical assistance in developing the manufacture of Pelton turbines can be taken by any institution or firm, but such a request must be officially submitted to OLADE by the Minister or Secretary of State responsible for energy affairs and for representing the country in OLADE.

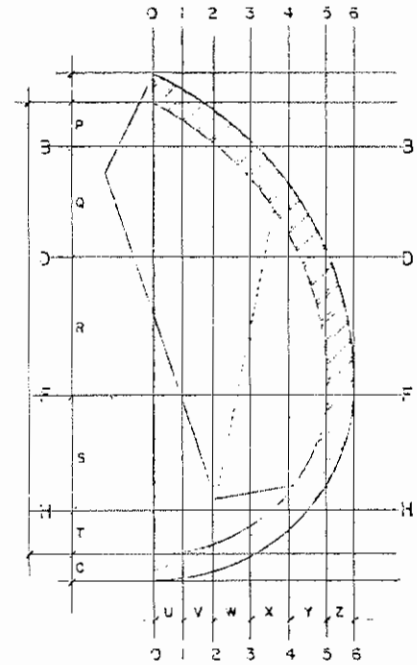
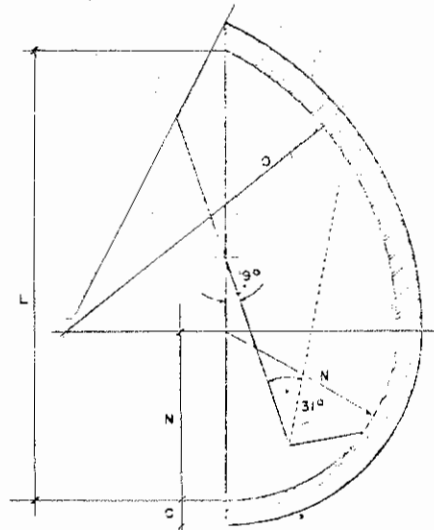
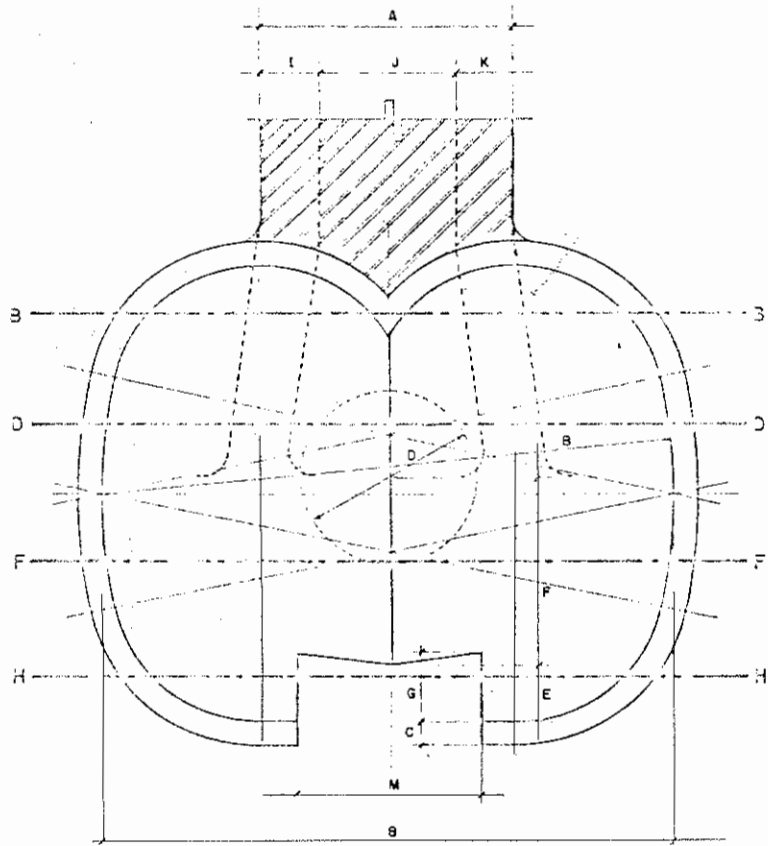
The request of the Minister or Secretary of State will be directed to the Executive Secretary of OLADE and will expressly state the following:

- a. The country's interest in developing the manufacture of Pelton turbines and the preliminary definition of the scope of the technical assistance requested (see point 2.2)
- b. The name of the institution or firm designated as beneficiary of the technical assistance from OLADE and as the depository for the technology developed by the Organization.

The request of the Minister or Secretary responsible for energy activities in the country should be accompanied by a letter of intention from the designated institution or firm, which letter should signal the following:

- a. The interest of the institution or firm in developing the production of Pelton turbines with OLADE technical assistance and technology.
- b. Its agreement, in the event that the manufacture of Pelton turbines is undertaken using OLADE technology, to provide the Organization with a copy of the manufacturing drawings elaborated as well as details on any improvements made, in benefit of the regional countries; likewise, its commitment that any turbine manufactured on the basis of the





**DESIGN MANUAL FOR
PELTON TURBINES**

PELTON TURBINE BUCKET (D₀/d = 7.5)

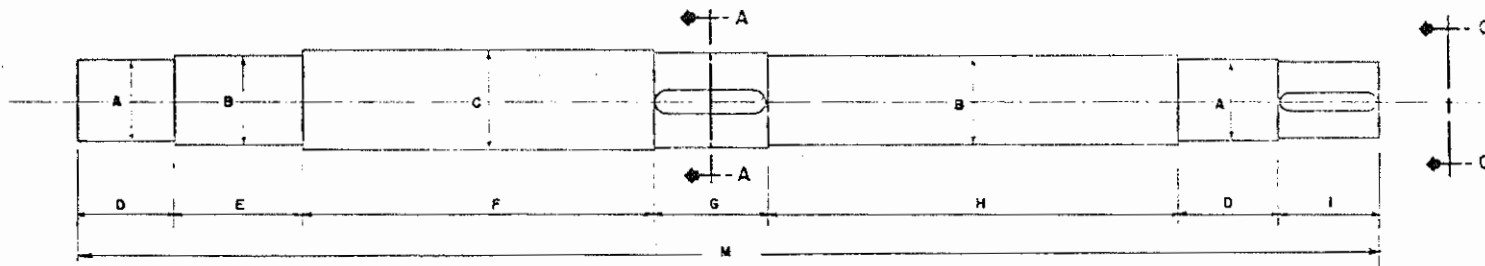
N° OF DRAWING: TP-03-05

DESIGNED BY: CARLOS HERNANDEZ B.

DRAWN BY: MARCELO BENAVIDES E.

SCALE: NONE

DATE: OCTOBER _____ /83



CORTE A - A



CORTE C - C



DESIGN MANUAL FOR
PELTON TURBINES

SHAFT

Nº OF DRAWING: TP-04-01

DESIGNED BY CARLOS HERNANDEZ B.

DRAWN BY: MARCELO BENAVIDES E.

SCALE NONE

DATE: OCTOBER _____ /83



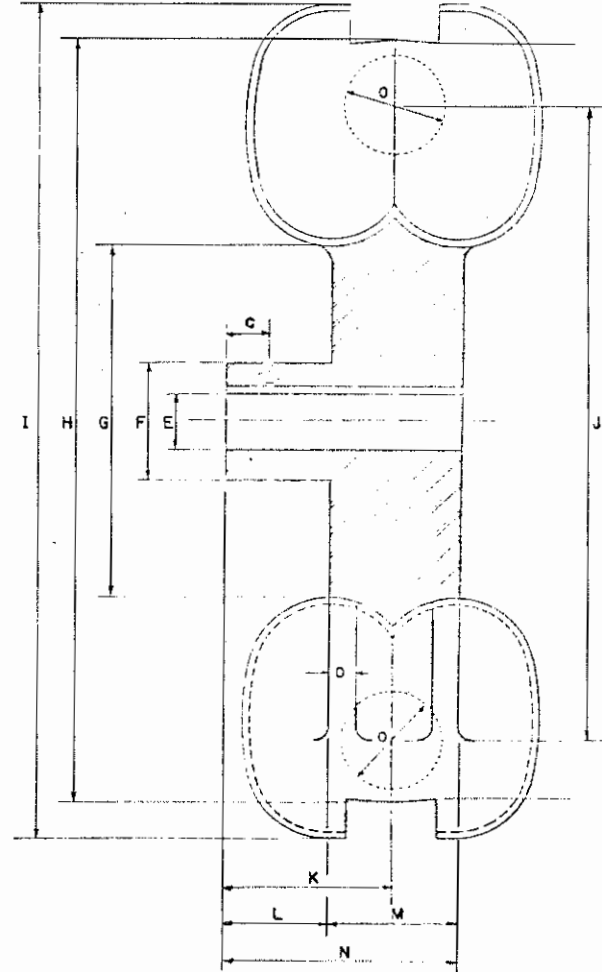
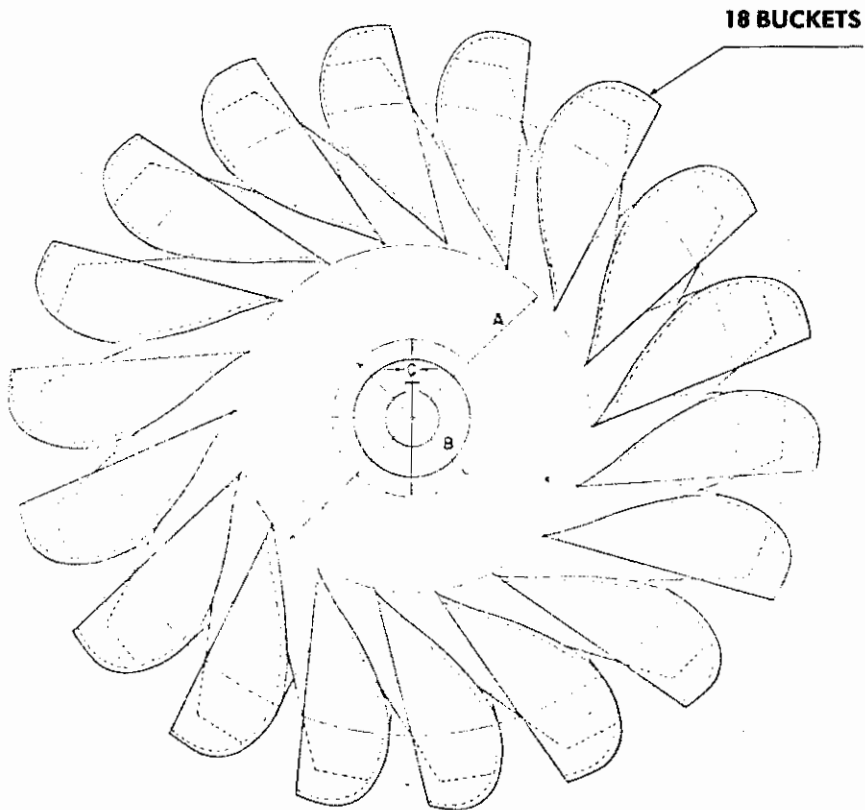
DESIGN MANUAL FOR PELTON TURBINES

TABLE OF DIMENSIONS

(mm)

DRAWING N° TP.04-01

SYMBOL	STANDARDIZED TURBINE					
	TP - $\frac{11}{12}$	TP - $\frac{21}{22}$	TP - $\frac{31}{32}$	TP - $\frac{41}{42}$	TP - $\frac{51}{52}$	TP - $\frac{61}{62}$
A	115	135	170	200	240	280
B	120	140	175	205	250	300
C	125	150	200	225	255	305
D	120	125	160	165	170	180
E	100	120	170	210	170	210
F	271	330	548	664	550	665
G	160	190	240	260	320	370
H	157	194	402	514	400	515
I	145	170	215	260	300	350
J	30	30	50	50	75	75
K	123	143	180	210	356	366
L	110	130	165	195	235	275
M	1073	1254	1895	2238	2080	2470



DESIGN MANUAL FOR
PELTON TURBINES

PELTON RUNNER CAST IN ONE PIECE

N° OF DRAWING: TP - 03 - 02	DESIGNED BY: CARLOS HERNANDEZ B.
	DRAWN BY: MARCELO BENAVIDES E.
SCALE: NONE	DATE: OCTOBER _____ /83

above-mentioned technology, will include an easily-seen phrase "Technology: OLADE" on the machine's plate.

After the request has been evaluated, a technical mission can be programmed from the Permanent Secretariat of OLADE to the beneficiary country, for the purpose of jointly preparing, with the national counterpart, the respective PLACE project, which among other aspects should contain proposals with respect to:

- Prospects for producing Pelton turbines within the country.
- Capabilities of the designated firm or institution.
- Number of copies of Volume II of the manual and full-size drawings to be sent.
- Scope of the required technical-assistance program.
- Tentative time-schedule for implementing production (at the level of prototypes or industrial models).
- Counterpart commitments.
- Funding of technical assistance.

The project formulation adopted on the occasion of the technical visit will later be sent by OLADE to the pertinent Ministry or Secretariat of State for approval.

Agreement with the execution and financing of the project must come from the Executive Secretary of OLADE as well, whether the project involves only the delivery of copies of the manual and direct technical assistance from the OLADE Secretariat staff or requires the hiring of experts to provide technical assistance or any other economic aid from PLACE funds.

Once the project has been definitely approved, OLADE and the designated firm or institution will sign a simple agreement, by means of which project implementation will be formalized, the Minister or Secretary of State responsible for the country's energy affairs being able to act as witness thereto.

Upon the culmination of the aforementioned procedures, the project will be launched and for that purpose OLADE will coordinate directly with the designated firm or institution.

2.2 Scope

The scope of the technical assistance project may vary according to the particular requirements of each country or institution, and according to the availability of technical assistance and resources from OLADE.

In the case of a country or institution with a large capacity for technological assimilation and financial resources of its own, the project can be reduced to a minimum: submission of copies of Volume II of the manual and technical assistance over a period of just a few days, in order to clarify the application of the manual and define the activities it will be necessary to undertake to implement production.

In the case of countries having greater technical needs, the aid could include some of the aspects listed below, in addition to the submission of a sufficient number of copies of Volume II of the manual:

- a. Technical assistance in some phases of implementation, such as:
 - assimilation of technology
 - definition of production processes
 - preparation of manufacturing drawings
 - definition of complementary equipment production requirements
 - modification of standardized series
- b. Design training for personnel.



- c. Advising in the establishment of criteria for market evaluation.
- d. Advising in the manufacturing and testing of prototypes.

In any of the cases that call for technical assistance from OLADE, a national technical counterpart should be available to assimilate the aid lent by OLADE, which should be as brief as possible.

2.3 Financing

Once the technical assistance project has been approved, the technological documentation (Volume II of the manual and copies of the drawings) to be handed over by OLADE to the designated firm or institution will be **totally gratis**, since it will be considered part of cooperation activities within the framework of the PLACE.

Any initial, short-term technical assistance granted by OLADE to facilitate assimilation of the technology will also be free of charge.

The rest of the activities necessary for the implementation of Pelton turbine manufacturing will usually be determined and funded by the country and the institution or firm in charge.

In given cases, depending on the criteria approved for the execution of the PLACE, it will be possible for OLADE to provide more financial assistance from PLACE resources, primarily to cover the technical assistance that might prove necessary. Also, in given cases, it would be possible to partially or totally fund prototype manufacturing.

Obviously, the scope of financing granted by OLADE in the framework of the PLACE could vary from one situation to another; in this regard, the following criteria will be taken into account, among others:

- Prospects for the development and importance of Pelton turbine manufacturing in the country.
- Relative level of development of the country.
- Economic difficulties of the country in financing technical assistance activities.
- Specific technical assistance requirements.
- Effectiveness shown in the establishment of a suitable national counterpart.
- Legal framework of the designated firm or institution.

While it falls to the Ministry or Secretariat of Energy of the interested country to designate the responsible firm or institution, the latter can be public, private, mixed, or any other kind; but any financial assistance from OLADE that entails disbursements to that firm or institution can only be made if the designated entity depends on the public sector.

3. EXTRA - REGIONAL COOPERATION

While the specific functions of OLADE are of a regional nature, limited to its member countries, it is possible for the Organization to grant assistance to institutions and firms from outside the regional framework, in a way similar to that established in points 2.1 and 2.2, insofar as procedures and scope, but with the following restrictions:

- a. Cooperation with official institutions from Third World countries.
 - This would receive a favorable response within the context of South-South cooperation.
 - The receiving institution would pay OLADE a mutually-agreed sum for the delivery of copies of Volume II of the manual in Spanish and/or English, as well as full-size copies of the drawings. The amount would work as a contribution to partially cover the costs incurred by OLADE in developing the technology, and it could be

funded directly by the beneficiary country or by an international organization that agrees to support the interested country. These conditions could be substantially modified in the framework of agreements that might be signed between OLADE and UNIDO for the development and dissemination of the manual.

- The time-schedule and scope of the technical assistance granted by OLADE would be established by mutual agreement, but limited to the sending of experts from OLADE. The beneficiary institution would pay OLADE agreed-upon technical assistance costs. Likewise, it would cover the cost of air fares and per diems for the OLADE experts for the duration of the technical assistance mission.
 - The transfer of technology and technical assistance would be agreed upon through a formal technical cooperation agreement.
- b. Cooperation with developed countries and directly with private firms:
- In general, this cooperation would take place under commercial conditions of transfer of technology, to be negotiated and mutually agreed upon in a contract.
 - In the case of research institutions in developed countries, it would be possible to undertake technical assistance and transfer of technology activities as part of a barter agreement in exchange for other technologies with an estimated equivalent value, developed by those institutions and of interest to OLADE.