RO-51
(699)
BIBLIOTECA - OLADE
QUITO - ECUADOR

DOCUMENTOS TECNICOS ELABORADOS POR LOS EXPERTOS DEL PROGRAMA REGIONAL DE PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS DE OLADE

/DOCUMENTO II/ P.C.H II METODOLOGIA/
/PROGRAMA REGIONAL DE P.C.H II OLADE/

1980.

SECCION - A -

METODOLOGIA SINTETICA PARA EL CALCULO Y ESPECIFICACION PRELIMINAR DE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS

POR

ING. ENRIQUE INDACOCHEA R.DE.S
Jefe del Programa Regional de
Pequeñas Centrales Hidroeléctri
cas de la Organización Latinoa-
mericana de Energía

Quito, Julio 1980

Editado por
ORGANIZACION LATINOAMERICANA DE ENERGIA

METODOLOGIA SINTETICA PARA EL CALCULO Y ESPECIFICACION PRELIMINAR DE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS

ALCANCES

PRIMERA PARTE: EVALUACIONES GENERALES Y CALCULOS BASICOS

1. CLASIFICACION Y DEFINICIONES
   - 1.1 CLASIFICACION
   - 1.2 DEFINICIONES
   - 1.3 UNIDADES

2. ESTIMACION DE LA DEMANDA ENERGETICA
   - 2.1 ANALISIS SOCIOECONOMICO
   - 2.2 DETERMINACION APROXIMADA DE LA CAPACIDAD INSTALADA REQUERIDA
   - 2.3 METODOLOGIA ANALITICA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD INSTALADA REQUERIDA Y EL CONSUMO ENERGETICO

3. EVALUACION DEL MEDIO FISICO Y ESTIMACION DEL RECURSO APROVECHABLE
   - 3.1 REQUERIMIENTOS MINIMOS PARA EL RECONOCIMIENTO
   - 3.2 MEDICIONES DE CAUDAL

4. PROCEDIMIENTO DE CALCULO Y DETERMINACION DE ESPECIFICACIONES TECNICAS
   - 4.1 DEFINICION DE POTENCIAS Y EFICIENCIAS
   - 4.2 ESPECIFICACIONES Y ALTERNATIVAS DE SELECCION DE TUBERIA DE PRESION
   - 4.3 CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA SALTO NETO Y CAUDAL REQUERIDO

4.4 VERIFICACION DEL ESPESOR MINIMO DE PARED DE LA TUBERIA DE PRESION

4.5 CALCULO DEL PESO DE LA TUBERIA

4.6 SELECCION DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA

4.7 SELECCION PRELIMINAR DE LA TURBINA

ANEXO I PROGRAMA DE CALCULO DE MICROCENTRALES PARA MINICALCULADORA PROGRAMABLE TEXAS INSTRUMENTS MOD TI - 59

ANEXO II CONVERSIONES DE UNIDADES

ANEXO III REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. ALCANCES

Consideramos que sería una pretensión excesiva considerar este documento como un manual en el sentido más amplio de la palabra, si entendemos que un manual debe tratar los diyersos aspectos relacionados con el tema en forma amplia y con suficiente profundidad en cada caso. El autor ha pretendido más bien presentar un instrumento más sencillo, casi un formulario de aproximación al diseño de Microcentrales Hidroeléctricas, de ahí el carácter sintético hasta el exceso en la presentación del material. Obviamente esta aproximación nos obliga a dejar de lado algunos comentarios y recomendaciones de utilidad, así como cualquier demostración de las fórmulas que se emplean.

Este documento está dirigido especialmente hacia los Ingenieros jóvenes o aquellos que no hayan tenido experiencia profesional en el campo de la hidroenergía, estando al alcance de los profesionales de cualquier especialidad de ingeniería siempre que su formación comprenda estudios fundamentales de hidráulica y energética.

No se pretenden elevadas dosis de originalidad en los planteamientos, justamente se ha hecho un esfuerzo en el sentido contrario, a fin de poder presentar soluciones prácticas para la aplicación de algunas tecnologías no convencionales aún no muy difundidas, como sería el empleo de tuberías de presión en materiales no metálicos.

Los principios fundamentales contenidos son aplicacbles a cualquier tipo o tamaño de central, sin embargo algunos aspectos metodológicos en cuanto a la simplificación de la ingeniería del proyecto y la aplicación de algunas tecnologías no convencionales, resultan particularmente relevantes para las potencias menores disminuyendo su aplicabilidad conforme se crece hacia potencias mayores, de ahí que adoptamos en el título el término "Microcentrales Hidroeléctricas" el cual, según el sistema de clasificación adoptado por OLADE, corresponde a las centrales de potencias inferiores a 50 kW. tal como se explica en el siguiente capítulo.

Por otra parte, pese a que la tecnología hidroenergética tiene un carácter universal, se ha querido acentuar aquellos elementos que a juicio del autor tienen mayor relevancia para latinoamérica, en cuanto a la terminología empleada y sus equivalencias regionales, las tecnologías y equipos con mayores perspectivas de disponibilidad en la región y al acento sobre las aplicaciones en caídas medianas y elevadas.

Este documento se divide en dos partes; en la primera se presentan cuestiones de carácter general, en cuanto a clasificación y definiciones, métodos simplificados de evaluación de la demanda energética y evaluación de los recursos hídricos, así como procedimientos de cálculos básicos para especificar una central. En la segunda parte, se tratan en mayor detalle, cuestiones relativas a las especificaciones de las obras civiles y la selección de equipamiento.

En esta publicación, se presenta solamente la primera parte y los anexos, quedando para una proxima publicación la presentación de una segunda parte del trabajo, en la que se analizarán aspectos de carácter general para la especificación de las obras civiles y se tratará en mayor detalle la especificación y selección de cada uno de los equipos e instalaciones que integran una Microcentral Hidroeléctrica.

PRIMERA PARTE: EVALUACIONES GENERALES Y CALCULOS BASICOS

1. CLASIFICACION Y DEFINICIONES

1.1. CLASIFICACION

Adoptamos el sistema propuesto por OLADE

a) Según Potencias y saltos

	Rango Potencia	S A L T O (mt)		
		BAJO	MEDIO	ELEVADO
Micro centrales Hidroeléctricas.	Hasta 50	menos de 15	15-50	más de 50
Mini centrales Hidroeléctricas.	50-500	menos de 20	20-100	más de 100
Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.	500-5000	menos de 25	25-130	más de 130

CUADRO No. 1 RANGOS DE POTENCIA Y SALTO.

- Los rangos de potencia y salto son indicativos solamente
- Los saltos bajos. mediosy elevados corresponden aproximadamente al empleo típico de turbinas Axiales, Francis o Michell-Banki y Pelton respectivamente.
- La denominación"Pequeñas Centrales Hidroeléctricas" corresponde también al conjunto de centrales de potencias hasta de 5000 kW.
- El presente documento está destinado a emplearse principalmente en Micro centrales Hidroeléctricas con caídas medianas y elevadas.

b) Según la captación
   - A filo de agua (toma lateral desde un cauce principal).
   - Con embalse o represa .

c) Según su regulación
   - Regulable (Control del caudal al ingreso de la turbina), a su vez puede ser manual o automático.
   - De carga constante, sea por la naturaleza propia de la carga o por la disipación del exceso de energía.

d) Según su vinculación con el sistema eléctrico
   - Centrales aisladas
   - Centrales integradas a pequeños sistemas eléctricos
   - Centrales integradas a grandes redes zonales o nacionales.

e) Según su concepción tecnológica

Es una clasificación indicativa referida a la naturaleza de los principales elementos tecnológicos de una central.

- Centrales con tecnologías convencionales. Comprendiendo

civiles de calidad en la toma, canal y cámara de carga; desarenado en toma, tubería de acero, equipo electromecánico de alto costo y construído con los más exigentes criterios de materiales y procesos de fabricación, tableros ampliamente instrumentados.

- Centrales con tecnologías no-convencionales. Frecuentemente emplean tomas y canales de riego existentes que son mejorados, cámara de carga instalada en línea sobre el canal e incluyendo el desarenador, equipos electromecánicos diseñado y construídos con tecnologías adecuadas al nivel de desarrollo industrial del país y considerando la disponibilidad de materiales nacionales, equipos estandarizados, tableros modulares y con un mínimo de instrumentación.

1.2. DEFINICIONES

Se presenta un glosario explicado de los principales elementos de una central, señalando entre paréntesis términos alternativos empleados en algunos países de la región.

a) Obra de toma.- Puede incluir obras de embalse (presas, cortinas) del cauce principal, captación a filo de agua (captación lateral, toma de río). Frecuentemente se instalan presas sumergidas (soleras , barrajes) para elevar el nivel del agua al ingreso de la toma.

b) Conducción, puede tomar la forma de canal o túnel que porta el agua desde la toma hasta la cámara de carga, o más lejos cuando se utilizan canales de regadío.

c) Cámara de carga (taza, tanque de carga, reservorio) Estructura que recibe el agua del canal antes de su ingreso a la tubería de presión.

d) Desarenador (separador de sólidos, sedimentador) estructura civil para facilitar el asentamiento de las partículas sólidas suspendidas en el agua al reducir la velocidad de flujo. Puede instalarse en la toma o en la cámara de carga.

e) Compuertas. Dispositivos para controlar el flujo en tomas, canales y cámaras de carga.

f) Rejillas (mallas). Dispositivos para evitar el paso de sólidos flotantes o arrastrados, por encima de determinada dimensión.

g) Tubería de Presión (Tubo, ducto de presión,) tubería que transporta el agua desde la cámara de carga hasta la turbina y que permite aprovechar la energía potencial del salto.

h) Salto (Salto Bruto, caída) altura vertical desde el nivel libre del agua en la cámara de carga hasta el nivel de máximo aprovechamiento en la turbina .

i) Válvula Principal. Elemento de aislamiento de la turbina con respecto a la tubería de presión. Normalmente no se usa para fines de regulación.

j) Turbina; Motor hidráulico que aprovecha la energía hidráulica disponible y la convierte en energía mecánica .

k) Transmisión turbina-generador- Sistema para transmitir la energía desde el eje de la turbina hasta el eje del generador;puede ser por acoplamiento directo o por medio de transmisión, sea por fajas (bandas) en "V" o planas, engranajes o cadenas.

l) Generador.- Máquina eléctrica que convierte la energía mecánica en energía eléctrica; puede ser un alternador (Generador sincrónico o síncrono) o un Generador asíncrono (generador asincrónico, motor eléctrico invertido).

ll) Tablero de control e instrumentación (Tablero, Sistema de control, tablero de mando) .

m) Transformador .

n) Línea de transmisión- En pequeñas centrales hidroeléctricas se emplean bajas y medias tensiones para la transmisión desde la planta hasta el punto de consumo.

ñ) Línea de distribución- (Distribución) Se emplea para abastecer los sistemas domiciliarios a baja tensión.

1.3. UNIDADES

Empleamos principalmente las siguientes

- Longitud y altura : metros (m)
  Excepto en lo referente a diámetros y espesores de pared de tubos donde se emplea las dimensiones en milímetros (m.m.); los valores nominales de tubería estandar también se expresan en pulgadas(").
- Velocidad: metros/segundo (m/s)
- Caudal : metros cúbicos/segundo (m^3/s)
- Trabajo: Kilovatio Hora (kW-H)
- Potencia: Kilovatio (kW)

  Exepto para indicadores de requerimientos de capacidad instalada per cápita que se expresan en Watt (W) y para la velocidad específica "de Potencia" N_s, donde los valores de la potencia se expresan en caballos de vapor (CV).
- Velocidad de giro. Revoluciones/minuto (R.P.M.)
- Esfuerzo Kilogramo fuerza/milímetro cuadrado ($kg\text{-}f/mm^2$)
- Temperatura Grados centígrados (°C).

En el Anexo II se muestran algunos factores de conversión de unidades.

2. ESTIMACION DE LA DEMANDA ENERGETICA

La presente metodología no pretende analizar aspectos de factibilidad económica financiera de proyectos, sinó solo presentar aquellos elementos que permitan determinar características técnicas y alternativas para orientar el análisis preliminar de proyectos de Microcentrales Hidroeléctricas. Sin embargo, no está demás mencionar que la profundidad y amplitud de los estudios que se considere realizar para cada proyecto específico, debe estar relacionada con la seguridad que se pretende dar a la inversión, en consecuencia debe existir una proporción adecuada entre los costos de estudios y la inversión total en el proyecto.

Para los fines indicados, el análisis de la demanda puede sustentarse en los siguientes aspectos:

- Un análisis socio-económico global, basado en información de campo y del que se desprendan perspectivas de desarrollo energético.
- Aplicación de indicadores para determinar los requerimientos de capacidad instalada
- Aplicación de indicadores y tipificación de la demanda energética para evaluar los consumos probables de energía.

2.1. ANALISIS SOCIO ECONOMICO

Objetivo: Determinar información básica sobre requerimientos y demanda energética

Método : Encuesta directa (total o muestra suficientemente grande según el tamaño la población). Apreciación sobre perspectivas, proyecciones e identificación de proyectos de actividades productivas insumidoras de energía.

Alcances:

- Población- Número, tamaño de familias, distribución por actividades, niveles de ingreso, nivel cultural, etc. Tipificación de posibles niveles de satisfacción de necesidades energéticas. Información histórica sobre crecimiento (o estancamiento); migraciones.

Previsiones de crecimiento (tasas), prevision de elevación de los índices de requerimientos energéticos (tasas)

- Actividades Económicas.- Descripción de actividades productivas y de apoyo existentes; impacto económico. Potencial de la zona. Identificación de proyectos de inversión en actividades insumidoras de energía
  Requerimientos para el desarrollo de proyectos; plazos.

- Transportes y Comunicaciones; Sistemas de transporte (personal y carga); carreteras, correo, telecomunicaciones, etc.
- Servicios; Agua potable, desague, disponibilidades de energía; comercio.
- Educación - Escuelas y actividades culturales; necesidades educacionales y sus requerimientos energéticos específicos.
- Descripción física de la localidad.- Ubicación geográfica, distancia, descripción física (calles, distancias, tipos de construcción, etc.); planos de la localidad

2.2. DETERMINACION APROXIMADA DE LA CAPACIDAD INSTALADA REQUERIDA

Para evaluaciones preliminares o cuando se tiene limitada información Socio-Económica sobre la población, especialmente en cuanto al tamaño promedio de las familias, es conveniente utilizar índices de requerimientos de capacidad instalada por habitante, cuya magnitud depende de:

- Nivel socio-económico y cultural de la población .
- Existencia de suministro eléctrico.
- Factor de carga; el efecto de cargas de punta elevadas tiende a incrementar los requerimientos de capacidad instalada. Es importante considerar los niveles de simultaniedad en el consumo, principalmente entre el consumo doméstico y el de actividades productivas.
- Existencia de sistemas y educación para el uso racional de la energía.
- Tamaño promedio de las familias.

Los indicadores de requerimientos de capacidad instalada per cápita en el medio rural latinoamericano pueden variar ampliamente. Para el caso particular de poblaciones aisladas, con bajo nivel de desarro

llo socio económico los requerimientos se sitúan entre 30 W/habitante (Ref 1), hasta 100 W/habitante (Ref 2). En estimativos sin mayor análisis es razonable asumir un valor de 50W/habitante.

Cuando se dispone de mayor información socio-económica es más racional utilizar indicadores por unidad familiar o residencia, ya que las necesidades energéticas a nivel doméstico están más vinculadas al número de viviendas que a la población en general.

Un valor mínimo sería del orden de 250 W/vivienda, pudiendo considerarse valores mayores del orden de 500 W/vivienda (ref.2.)

En la determinación de la capacidad la instalada merecen estudiarse las previsiones de simultaneidad entre el consumo doméstico y el de carácter productivo. Frecuentemente en las aplicaciones de Microcentrales hidroeléctricas (menores a 50Kw.) en poblaciones aisladas en latinoamérica es probable una utilización vespertina de la energía eléctrica (6-12 horas) para fines domésticos y de iluminación pública, en este caso la capacidad instalada seleccionada para cubir esas puntas generalmente deja un amplio margen de disponibilidad de planta para las actividades productivas existentes y nuevas actividades que se desarrollen para operar principalmente durante el día (agroindustria, servicios etc.) o en la madrugada (panaderías.)

2.3. METODOLOGIA ANALITICA PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD INSTALADA REQUERIDA Y EL CONSUMO ENERGETICO.

En el numeral anterior se señalan algunos índices que permiten estimar los requerimientos de capacidad instalada en forma preliminar, sin embargo, para definir estos requerimientos con mayor precisión, conviene analizar en mayor detalle la estructura de la demanda que señala a continuación y que se ilustra en el cuadro No. 2, cabe señalar que este método resulta aplicable para centrales aisladas que operan el sistema en forma discontínua.

El sistema consiste en analizar los requerimientos de energía en función de "períodos" discontínuos en los que se puede dividir un día típico de operación y para cada "sector" de consumo, determinando la "carga de punta" y un "coeficiente de carga específico" para cada "período" y "sector", en la forma siguiente:

a) Carga de Punta (Cp) para cada "período" diario y "sector"; se establece identificando los requerimientos de capacidad instalada de consumo (Ci) que pudiera estar operativa, corregidos por un factor de simultaneidad (f) probable. Por seguridad y cuando se considera posible que la carga de punta equivalga a la capacidad instalada de consumo se asumirá fs = 1. En general este factor será inferior a la unidad, salvo que los requerimientos de arranque de motores eléctricos sean tales que obliguen a considerar valores superiores a la unidad.

$$Cp = fs \times Ci$$

Cp en kW

Ci en kW

b) Coeficiente de carga específico (fc) para cada "periodo" diario y "sector", definido como la relación entre la "carga media" (Cm) en kW y la "carga de Punta" (Cp).

Los "períodos" diarios son grupos de horas de un mismo día en que se espera que la central funcione continuadamente, dependiendo de las características de la demanda prevista durante el día, por ejemplo en una central destinada exclusivamente a iluminación nocturna puede considerarse un "período" único de 6 pm hasta las 11 pm. En línea de máxima señalamos tres períodos más o menos típicos de utilización de energía en una población aislada con una buena diversificación de la demanda:

ler. Período; pudiera definirse de 2 am a 5 am requerido por actividades tales como la panificación.

2do. Período; pudiera definirse de 7 a.m. a 5 pm. caracterizado principalmente por la demanda de actividades productivas (agroindustria, servicios, etc.)

3er. Período; pudiera definirse de 6pm. a 11pm., caracterizado principalmente por los requerimientos de iluminación pública y consumo doméstico.

A su vez es necesario definir los sectores de consumo, que para fines del análisis de la demanda propuesto, se sugiere reducir a un mínimo desagregado en la forma siguiente:

- Iluminación Pública.-Su coeficiente de carga específico sería cercano a la unidad, reducido sólo por la incidencia de puntos de iluminación dañados pudiendo asumirse un valor de fc=0.95.
- Consumo doméstico.- Se deben establecer las características típicas de consumo según grupos típicos de la población, estableciendo la familia y residencia tipo para cada grupo. Tambien debe considerarse si se piensa instalar dispositivos de limitación del consumo que tienden a reducir las puntas.

  En el caso de poblaciones aisladas del medio rural con bajos niveles de ingreso, su consumo doméstico estará dado principalmente por los requerimientos de iluminación, con coeficientes de carga específicos bastante elevados (del orden del 80%).

  Para cada residencia tipo se debe estudiar su capacidad de consumo y los coeficientes de carga específicos aplicables a fin de determinar por acumulación los requerimientos de capacidad instalada.

  Consumo productivo y de servicios.-

  Dado que no es de esperarse un gran número de unidades productivas y de servicios atendidas por una Microcentral, los requerimientos de capacidad instalada y consumos se pueden aproximar analizando los procesos productivos y requerimientos energéticos en cada caso.

Los requerimientos de energía para las actividades productivas y de servicios deben estudiarse considerando lo siguiente:

Posibilidad de utilización de la disponibilidad de planta existente para fines productivos durante el día y la madrugada, perspectivas

de expansión de la actividad productiva, excedentes diurnos de disponibilidad para eventual utilización doméstica.

- Limitaciones en el uso del agua durante el día debido a otras prioridades (agricultura principalmente), esto puede ser significativo en microcentrales que utilizan canales de riego existentes; considerar aspectos institucionales.
- El arranque de motores eléctricos puede duplicar transitoriamente los requerimientos de potencia de cada unidad (ref 2y ref.3) Un adecuado control para secuencias de arranque de motores en pequeñas poblaciones es viable, también se pueden considerar el empleo de dispositivos de arranque con tensión reducida (costosos).
- Posibilidades de utilización directa de energía mecánica.

c) Carga Media (Cm).- Esta dada por el producto de la carga de punta y el coeficiente de carga específico.

$$Cm = f_c \times Cp$$

d) Consumo de Energía (c) .- para cada "período" y "sector" estará dado por el producto de la carga media y el número de horas (h) correspondiente al período, en la siguiente forma:

$$c = Cm \times h$$

La suma de los consumos de cada período del día determina el consumo diario de energía y la suma de los consumos de cada sector durante el día equivale al consumo diario del sector

Para determinar el consumo anual se deben considerar eventuales elementos estacionales en el consumo diario y los períodos de parada previstos por razones de mantenimiento o limitaciones en el uso del agua.

e) Determinación de la capacidad instalada

Luego de sumar las cargas de punta de todos los sectores para cada período, se selecciona aquel período que requiere la mayor car

ga de punta, como referencia para determinar los requerimientos de capacidad instalada.

En la definición de la capacidad instalada se deben tomar en cuenta tanto las pérdidas energéticas en la transmisión y distribución, como también una apreciación cualitativa sobre las probabilidades de coincidencia de las cargas de punta de los sectores durante un mismo período, así como las limitaciones en cuanto a continuidad del servicio y cortes eléctricos.

Debe considerarse también una proyección de la demanda futura, tanto en función de crecimiento poblacional, como de incremento delos índices unitarios de demanda, evaluando las ventajas y desventajas comparativas de contar con excedentes de capacidad instalada o requerir eventuales ampliaciones.

Es importante tomar en cuenta que en muchos países de latinoamérica, no es necesario considerar índices de crecimiento en la población rural, debido a intensos procesos de migración hacia las ciudades, lo cual solo parcialmente sería atenuado con la disponibilidad de energía eléctrica.

		Sector Iluminación Pública	Sector Consumo Doméstico	Sector Consumo Productivo y Servicos	TOTALES
CAPACIDAD INSTALADA DE CONSUMO PREVISTA (kW)		8	20	10	
PERIODO"1" 2 a.m.- 6 a.m. (4 horas)	Carga de Punta (kW)	-	-	2	2
	Coeficiente de carga específ.	-	-	0.8	
	Carga Media (kW)	-	-	1.6	
	Consumo de Energía (kW-h)	-	-	6.4	6.4
PERIODO"2" 7 a.m.-5 p.m. (10 horas)	Carga de Punta (kW)	-	-	12(*)	12
	Coeficiente de carga específ.	-	-	0.7	
	Carga Media (kW)	-	-	8.4	
	Consumo de energía (kW-h)	-	-	84	84
PERIODO"3" 6 p.m.-11 p.m. (5 horas)	Carga de Punta (kW)	7.2	18	-	25.2
	Coeficiente de carga específ.	0.95	0.8	-	
	Carga Media (kW)	6.84	14.4	-	
	Consumo de Energía (kW-h)	34.2	72		106.2
CONSUMO DIARIO DE ENERGIA (kW-h)		34.2	72	90.4	196.6

(*) Considerando el arranque del motor eléctrico de mayor potencia.

En este caso se consideró una capacidad instalada de 26 kW (sin tomar en cuenta el crecimiento futuro de la demanda)

CUADRO N° 2.- DIAGRAMA DE ANALASIS DE CARGA Y CONSUMO
(EJEMPLO PRACTICO)

3. EVALUACION DEL MEDIO FISICO Y ESTIMACION DEL RECURSO APROVECHABLE

Dado el marco de referencia de la presente metodología, no pretendemos exhaustivar el análisis de métodos de evaluación del medio físico, sino solamente identificar aspectos a evaluarse y sus limitaciones, poniendo acento más bien en conocidos métodos para calcular los parámetros principales de proyectos específicos; es decir caudal disponible y salto aprovechable.

3.1. REQUERIMIENTOS MINIMOS PARA EL RECONOCIMIENTO

Para proyectos específicos de microcentrales hidroeléctricas se deben reducir al mínimo los estudios de reconocimiento del medio físico, en razón de su elevado costo en relación con la inversión. Resulta más bien recomendable orientar los estudios del medio físico hacia la evaluación de cuencas y sub-cuencas, en forma tal que no sólo se determine el potencial de una cuenca dada, sino que tambien se pueda aprovechar y generalizar la información obtenida para aplicarse en proyectos específicos, sin tener que realizar estas evaluaciones para cada proyecto.

El nivel de reconocimiento del medio físico de una cuenca puede comprender los siguientes aspectos:

- Hidrología
- Ecología
- Geología
- Geomorfología
- Geotecnia
- Disponibilidad de agregados

Los cuales, al ser aplicados al estudio de cuencas y sub-cuencas para microcentrales hidroeléctricas, deben considerar lo siguiente:

a) HIDROLOGIA

Objeto.- Estimar los caudales aprovechables para microcentrales, generalmente determinando caudales mínimos, caudales con una probabilidad de excedencia del orden del 95%.

Aspectos Metodológicos.- La determinación del caudal mínimo generalmente se obtiene a partir de las curvas de caudal/duración, sin embargo frecuentemente se tienen dificultades para determinarlas por métodos directos, dado que muchas veces no se cuenta con registros hidrométricos, debiendo recurrirse a métodos indirectos mediante la determinación y aplicación de valores índices.

También es posible establecer criterios de similitud constante entre las sub-cuencas y las cuencas principales, que permitan la generalización de la información hidrológica más probablemente disponible, para las cuencas mayores, principalmente para la curvas de precipitación/duración y caudal/duración.

La información pluviométrica disponible debe ser completada estableciendo ecuaciones de regresión con los datos existentes, igualmente se debe proceder con la información hidrométrica disponible, generalmente aplicando criterios de interpolación para completar los registros de caudales. También es posible la utilización de modelos hidrológicos cuando no se tienen series hidrológicas representativas en las sub-cuencas, simulando series de escurrimiento para el área de drenaje considerada. Un modelo interesante que requeriría alguna adaptación para ser aplicado en América Latina es el sistema SNSF-Noruego en el que la transferencia a través de cada sub-cuenca es simulada por un sistema de tanques (Ref-4D).

En última instancia el caudal mínimo mensual o aquel que exceda el 95% del tiempo, considerando el empleo predominante de microcentrales a "filo de agua", pueda definirse como un porcentaje del caudal promedio multianual. Se pueden establecer ecuaciones que relacionen el caudal me

dio anual, con el rendimiento hídrico medio anual ($m^3/S/Km^2$) y la correspondiente área de drenaje de la cuenca, que conjuntamente con las curvas de duración determinadas indirectamente, se puede llegar a determinar expresiones lineales para el cálculo de los caudales mínimos mensuales.

Los caudales diarios pueden variar considerablemente, siendo los valores mínimos diarios generalmente inferiores a los mínimos mensuales; sin embargo su predicción es muy incierta, lo cual resultaría en un problema aparentemente difícil de salvar, considerando que en el caso de las microcentrales "a filo de agua" la acumulación es practicamente despreciable. A pesar de esta dificultad, el problema es poco relevante, en razón de que la ocurrencia de caudales mínimos diarios inferiores a los mensuales, solo afectaría transitoriamente la operación de la planta.

Idealmente sería conveniente contar con aforos sobre el cauce de donde se derivarían las aguas por un período mínimo de tres años, sin embargo, esto solo resulta práctico para conjuntos de proyectos en una cuenca dada y no para una microcentral específica.

También la información referencial suministrada por la población local, debidamente interpretada, puede contribuir a estimar caudales históricos, principalmente para la crecidas. Los caudales máximos constituyen una útil referencia para el diseño de las obras civiles, sobre todo en cuanto a su protección.

b) ECOLOGIA

Objeto.- Describir el medio en el que se desarrollarán las plantas a fin de ver su influencia en las características de los proyectos, formas constructivas, materiales y equipos a emplearse; su efecto sobre las expectativas de conservación y recíprocamente el efecto de la instalación de microcentrales en la ecología de la cuenca o sub-cuenca.

Aspectos Metodológicos.- Esta tipo de estudio es apropiado sólo para la evaluación de cuencas y no de proyectos específicos por las razones señaladas anteriormente, en este último caso sólo se requieren comentarios generales sobre los aspectos ecológicos.

Comprende los siguientes aspectos:

- Clima
- Zonas biológicas
- Suelos (desde el punto de vista de su utilización por el hombre)
- Vegetación
- Fauna
- Aguas y Biología Acuática

c) GEOLOGIA

Objeto.- Determinar las características básicas y composición del suelo y sub-suelo de la cuenca,con la finalidad de establecer bases de orientación general para la construcción, principalmente en los aspectos estructurales y sísmicos.

Aspectos Metodológicos.- Conviene realizar estudios aplicables a cuencas y sub-cuencas más que a proyectos específicos. Los aspectos de estudio más relevante son:

- Litología (formaciones geológicas, aplicando métodos de estratigrafía)
- Geología Estructural (fallas, orientación actividad volcánica)
- Sismología (registros, probabilidad de sismos y su magnitud)

d) GEOMORFOLOGIA

Objeto.- Estudiar la conformación de la superficie del terreno y su evaluación, para determinar principalmente la acumulación y depósito de sedimentos en los cursos de agua, considerando su aplicancia en la erosión del equipamiento y en la consecuente necesidad de un adecuado diseño de los sistemas de desarenado y selección de materiales para las turbinas (principalmente rodetes y sistemas de inyección). También permite orientar la selección final de la ubicación de las obras, en cuanto a posibles deslizamientos y aluviones.

Aspectos metodológicos.- Identificación de estructuras a partir de mapas geomorfológicos, principalmente en cuanto a escarpes, vertientes y fondo del valle (cauce del río); aplicables al estudio global de cuencas y sub-cuencas.

e) GEOTECNIA

Objeto.- Estudio de los suelos en cuanto a sus características, propiedades mecánicas, estabilidad y niveles freáticos, principalmente para orientar la construcción de las obras hidráulicas.

Aspectos metodológicos.- La aplicación de estudios geotécnicos a nivel de cuencas y sub-cuencas es limitada, dada la enorme diversidad de variaciones puntuales, en consecuencia en este caso está restringida a aspectos descriptivos derivados de los estudios geológicos.

El estudio geotécnico es particularmente relevante para el estudio de suelos en posibles ubicaciones específicas de las obras civiles, a fin de orientar la selección de las ubicaciones definitivas y definir requerimientos de diseño.

La amplitud de su empleo está ligada a la magnitud del proyecto específico tanto en cuanto a los costos de estudio como a los riesgos de la obra en sí. En el caso de Microcentrales Hidroeléctricas los estudios geotécnicos generalmente deben reducirse a un mínimo dado por apreciaciones cualitativas, principalmente mediante excavaciones y sondeos, determinación aproximada de la capacidad portante del suelo y estimación de factores de seguridad para el diseño de la toma, cámara de carga, algunos anclajes de tubería y cimentación del equipo principal.

f) DISPONIBILIDAD DE AGREGADOS

Objeto.- Estudiar la existencia de materiales adecuados para agregados (piedra, grava, arena. etc), factor importante para reducir los costos de las obras y asegurar adecuada selección de materiales, diseño de obras y métodos constructivos.

Aspectos metodológicos.- Estudio diferenciado de la existencia y características de los principales tipos de materiales requeridos (material granular, materiales de enrocado, material de cantera, etc.).

3.2 MEDICIONES DE CAUDAL

Se describen tres procedimientos:

- Medición aproximada por medio de flotador.
- Medición por medio de vertedero rectangular.
- Medición y por medios de vertedero triangular.

a) Medición aproximada por medio de flotador

Este método permite una rápida y sencilla medición aproximada del caudal de agua que se desplaza en una conducción a pelo libre. Cuando se realizan las mediciones cuidadosamente, el error es del orden de $\pm$ 20%, en consecuencia, debe emplearse sólo para una primera estimación de caudales.

PRINCIPIO:

Se basa en que el caudal es el producto de la velocidad media de flujo por la sección de la parte sumergida del canal, considerando las siguientes hipótesis:

- Que la velocidad superficial, debidamente corregida con un factor que depende del material de las paredes del canal y la relación sección/perímetro mojado, equivale a la velocidad media del agua.

- Que la sección media del canal, es el promedio de dos o tres secciones medidas del tramo del canal empleado para medir la velocidad.

INSTRUMENTOS Y MATERIALES:

1 Cronómetro .
1 Cinta de 1-3 m . de longitud con graduaciones en mm, (para medir el ancho del canal).
1 Regla de plástico de 30-100 cmts. de longitud graduada en mm (para medir la profundidad del canal).
1 Cinta de 10-3 m (para medir la longitud del tramo de canal seleccionado) .
1 Flotador(puede ser una botella pequeña llena con 1/3 de agua, un trozo de madera, etc. (para determinar la velocidad del agua).

PROCEDIMIENTO:

1. Seleccionar un tramo del canal aguas arriba del punto de utilización del agua, pero aguas abajo del último punto de derivación de agua para otros fines. El tramo seleccionado debe ser bastante recto y de sección relativamente uniforme en toda su longitud. Se recomienda una longitud (x) del orden de 10 m .

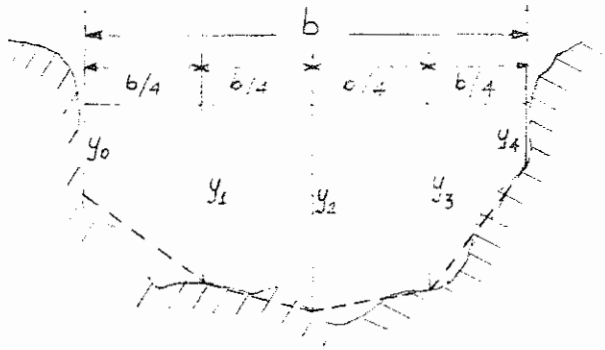
2. Luego de medir y marcar el tramo seleccionado, lanzar el flotador antes del punto inicial y tomar el tiempo (t) en segundos que demora en recorrer la longitud seleccionada.

Repetir varias veces la prueba, observando si el flotador en algún punto toca el fondo o los bordes para descartar la prueba. Si las pruebas son dispersas sobre un rango pequeño, promediar el tiempo. Si hay una agrupación superior y otra inferior, promediar la inferior, dado que la superior pudiera haber estado sometida a retardo.

3. Calcular la Velocidad Superficial:

$$V = \frac{x}{t} \quad (m/seg)$$

4. Seleccionar 2 ó 3 secciones que caractericen el canal y dividir el ancho de cada sección del canal en cuatro partes. Para cada sección, medir la profundidad inicial en el primer cuarto, al centro, en el tercer cuarto y la profundidad del lado opuesto



5. Calcular cada sección por el método de los trapecios:

$$S = \frac{b}{4} \left[\frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + y_3 + \frac{y_4}{2} \right] \quad (m^2)$$

6. Calcular el Ratio Sección/Perímetro mojado para cada sección:

$$\frac{S}{P} = \frac{\left(\frac{b}{4}\right)\left[\frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + y_3 + \frac{y_4}{2} \right]}{y_0 + \sqrt{(y_0-y_1)^2+\left(\frac{b}{4}\right)^2} + \sqrt{(y_1 - y_2)^2 + \left(\frac{b}{4}\right)^2} + \sqrt{(y_2 - y_3)^2+\left(\frac{b}{4}\right)^4} + \sqrt{(y_3-y_4)^2+\left(\frac{b}{4}\right)^2}+}$$

m^2/m

7. Determinar el factor de corrección (k) de velocidad promedio graficamente, por medio de la Figura 1, ó empleando la siguiente ecuación empírica:

$$k = A\left[L_n \quad \left(\frac{S}{P}\right)\right] + B$$

	A	B
CANAL DE BARRO	0.0905	0.782
CANAL DE PEDRUSCOS	0.0362	0.847
CANAL DE CONCRETO	0.0150	0.893

Es conveniente calcular el valor del factor k para cada sección, sin embargo, cuando la diferencia entre el valor mayor y menor de S/P de dos secciones, sea inferior a 0.1, basta con promediar los valores de S/P de todas las secciones consideradas y determinar un sólo valor del factor de corrección k.

8. Calcular el Caudal

$$Q = V\,k\,S = V\left[\frac{k_1 S_1 + k_2 S_2 + \ldots + k_n S_n}{n}\right] \; m^3/_s$$

donde n = número de secciones consideradas generalmente 2 ó 3.

Si se ha determinado un sólo valor del coeficiente k para todas las secciones, la fórmula queda simplificada en la siguiente forma:

$$Q = Vk\left[\frac{S_1 + S_2 + \ldots + S_n}{n}\right] \quad m^3/_s$$

b) Medición de Caudal por medio de vertedero rectangular

El vertedero rectangular consiste en una placa, generalmente de madera, montada sobre el cauce de una corriente de agua, la cual tiene una incisión rectangular con un borde biselado,

MATERIALES DEL CANAL
1.4
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
k
BARRO
PEDRUSCO
CONCRETO
COEFICIENTE DE CORRELACION DE VELOCIDAD (K)

para lo cual se prefiere montar una lámina delgada de acero inoxidable que haga las veces de borde biselado.

El vertedero debe ser dispuesto en forma tal, que debajo del chorro se encuentre un espacio de aire "a" y que el ancho "b" de la incisión rectangular, sea menor que el ancho del cauce "B" (Figura 2), a fin de evitar distorsión en los resultados por la presencia de torbellinos.

Conviene instalar el vertedero en un tramo recto y de sección relativamente uniforme. Dos metros aguas arriba del vertedero (mínimo un metro) se debe clavar una estaca de madera sobre el fondo, cuya parte superior quede a nivel con el borde horizontal del vertedero, o sinó instalar directamente un jalón medido en lugar de la estaca, cuyas medidas sobresalgan sobre el nivel del agua y el cero se encuentre a nivel con el mencionado borde horizontal del vertedero.

El caudal se calcula en la siguiente forma:

$$Q = \frac{2}{3} \; n \; b \; h \sqrt{2g\,h}$$

donde:

Q es el caudal en m^3 /segundo .

es la altura del pelo libre del agua sobre el borde del vertedero en m .

g es la aceleración estandar de la gravedad; 9.81 m /seg^2.

b es el ancho de la inicisión rectangular del vertedero en m.

n es el coeficiente del vertedero, pudiendo tomarse un valor medio de 0.63, pero puede ser calculado por medio de la siguiente fórmula empírica, válida para valores de $b \geq 0.1$ m.:

$$\frac{2}{3}\, n = 0.3838 + 0.0386 \; \frac{b}{B} + 0.00053 \; \frac{1}{h}$$

donde B es el ancho total del cauce dónde está montado el vertedero.

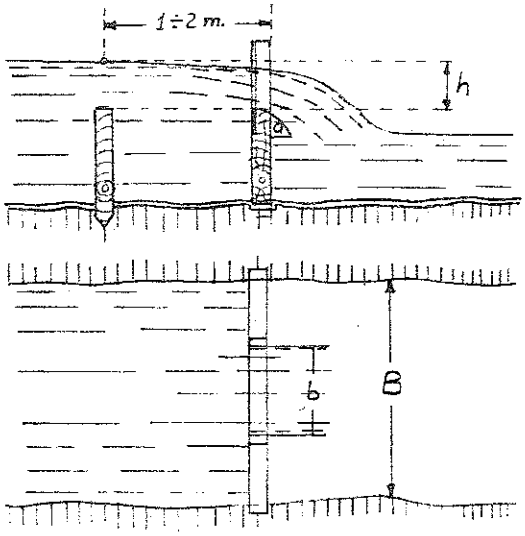


Fig. 2

Una medición correctamente realizada, con un vertedero bien instalado y construído, no debe arrojar errores de un orden superior a $\pm$ 10% en la medición del caudal.

c) Medición de Caudal por medio de vertedero triangular

Se utiliza preferentemente para la medición de aforos reducidos inferiores a 0.2 m^3/segundo y en canales de ancho reducido con respecto a su profundidad donde no resulte viable la instalación de un vertedero de sección rectangular.

La disposición para medir la altura "h" es semajante a la del vertedero rectangular, sólo que ésta se refiere al vértice inferior del vertedero (Figura 3) empleándose la siguiente fórmula:

$$Q = 1.415\ h^{5/2}$$

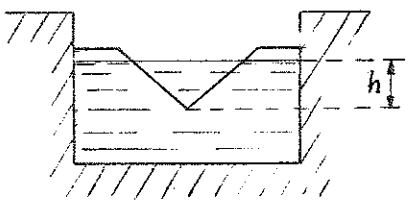


Fig. 3

3.3 NIVELACION APROXIMADA PARA DETERMINAR EL PERFIL DE LA CAIDA

Consideramos que existe suficiente literatura de nivelación topográfica que normalmente se emplean para determinar el perfil de la caída y consecuentemente el salto bruto aprovechable, las longitudes de la tubería de presión, sus apoyos y accesorios. Sin embargo, para fines de una determinación preliminar del salto y perfil, es posible utilizar métodos sencillos que requieren un mínimo de instrumentación y calificaciones del personal que la ejecuta. En el caso particular de las Microcentrales, cuando se requiere reducir al mínimo los gastos de preinversión, y cuando se emplean tuberías de presión no metálicas que se adaptan fácilmente a la conformación del terreno (PVC y polietileno), la determinación aproximada del perfil de la caída que se presenta a continuación, puede resultar suficiente para fines del proyecto definitivo, considerando que con una medición cuidadosamente realizada, el error en la determinación del salto no será superior a $\pm$3%, lo cual ha sido verificado en forma práctica por el autor.

INSTRUMENTACION Y MATERIALES:

1 Cinta de 10 - 30 mt de longitud graduada en centímetros, para medir distancias horizontales y alturas de nivelación.

1 Jalón de madera o un tubo metálico bien alineado de aproximadamente 3 m. de longitud, opcionalmente puede estar graduado en centímetros para simplificar la medición de alturas. Adicionalmente puede incorporar una plomada para verificar su verticalidad. Se debe evitar el empleo de materiales flexibles o con secciones pequeñas a fin de evitar distorsiones por deflexión.

1 Nivel de carpintero (de burbuja) con base no menor de 30 cm.

1 Cuerda de 10 - 30 m. de longitud.

- Estacas de madera mínimo 2, sin embargo, conviene dejar

las estacas en el lugar dónde fueron colocadas, en cuyo caso es necesario contar con una estaca para cada estación de nivelación.

2 Jalones rectos de 2m. de alto, sin graduar, pueden ser cañas derechas (para referencias del punto inicial de nivelación al punto final).

INSTRUMENTOS Y EQUIPOS OPCIONALES:

- Brújula con rumbo para orientar el perfil.
- Cuerda o soguilla en longitud suficiente (100 - 200m.) para trazar el perfil.
- Cal o yeso en polvo para trazar el perfil o pintura al agua; brocha.

PROCEDIMIENTO:

1. Inspección visual y estudio sobre la carta (1:25000 o menor). Si no se tiene construído el canal, o si se trata de aprovechar un canal existente, es necesario identificar alternativas de ubicación de la cámara de carga y casa de fuerza.

   Para seleccionar tentativamente el punto inicial de la tubería y el punto final, considerar entre otros los siguientes factores:

   - Proximidad al centro de consumo.
   - Máximo desnivel entre las vías de agua, acequias o canales.
   - De preferencia seleccionar el punto desde el nivel superior que nos permita una caída brusca, o sea considerar favorablemente aquel punto que permita una mayor "máxima pendiente". Esto permite una mínima longitud de tubería, lo cual tiende a reducir la inversión inicial y la pérdida de carga. Por otra parte considerar las dificultades para el tendido de la tubería.

- Considerar lugares protegidos de aluviones para la toma, como para la eventual ubicación de la sala de máquinas, estudiar en el terreno rastros de aluviones y hacer averiguaciones con los habitantes de la localidad.
- Considerar posibles instalaciones aprovechables (compuertas, casas, molinos abandonados, etc.) que puedan definir la ubicación, aún fuera de sus puntos óptimos.
- De preferencia la tubería de presión no debe pasar por terrenos cultivados.
- Considerar posibles derechos de regantes. Dificultades y problemas legales que se puedan derivar del uso del agua.
- Inspeccionar la toma existente, a fin de verificar su estado y posible mejora (y aumento de caudal) sin mayor inversión; en el caso de canales existentes.
- Verificar estado de conservación de la acequia o canal que se considere aprovechar y su posible ampliación

2. Una vez seleccionados los puntos extremos superior e inferior, plantar dos jalones a fin de orientar el trazo del perfil, si es posible tender un cordel y marcar con cal. Pintar algunas piedras como referencia.

3. Si se está nivelando desde un canal existente, plantar una estaca en el punto más alto y colocar verticalmente el jalón en la orilla más próxima del canal superior tender un cordel desde el jalón, hasta la estaca y nivelarlo en su parte central (asegurarse que el cordel esté tenso, medir la altura de fijación del cordel sobre el nivel del agua para determinar la altura negativa (- h) desde el nivel de la primera estación y la longitud tensada del cordel (l).

4. Si se nivela a partir de un punto dado, plantar en él una estaca y de ahí continuar la nivelación.

5. Plantar la segunda estaca en un punto inferior a la primera, sobre la pendiente de caída manteniendo el alineamiento defini-

do. Colocar verticalmente el jalón sobre la estaca y en forma similar al anterior, tender, tensar y nivelar el cordel desde la primera estaca hasta el jalón, para determinar la altura positiva (h) y la longitud horizontal (l). Repetir este procedimiento para las estaciones sucesivas, hasta alcanzar el nivel del canal inferior que constituiría la última estación, registrando los niveles donde sería posible la instalación de la casa de máquinas.

6. El salto bruto estará dado por:

$$H_b = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 \ldots + hn = \sum_{i=1}^{n} hi \quad (m.)$$

7. La longitud proyectada horizontal del perfil estará dada por:

$$L = l_1 + l_2 + l_3 \ldots + l_N = \sum_{i=1}^{n} l_i \quad (m.)$$

8. La longitud efectiva del perfil (Z) estará dada por:

$$Z = \sqrt{h_1^2 + l_1^2} + \sqrt{h_2^2 + l_2^2} + \sqrt{h_3^2 + l_3^2} \ldots + \sqrt{h_n^2 + l_n^2} =$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sqrt{h_i^2 + l_i^2} \quad (m.)$$

En la figura 4 se muestra un ejemplo práctico de nivelación aproximada por el método propuesto.

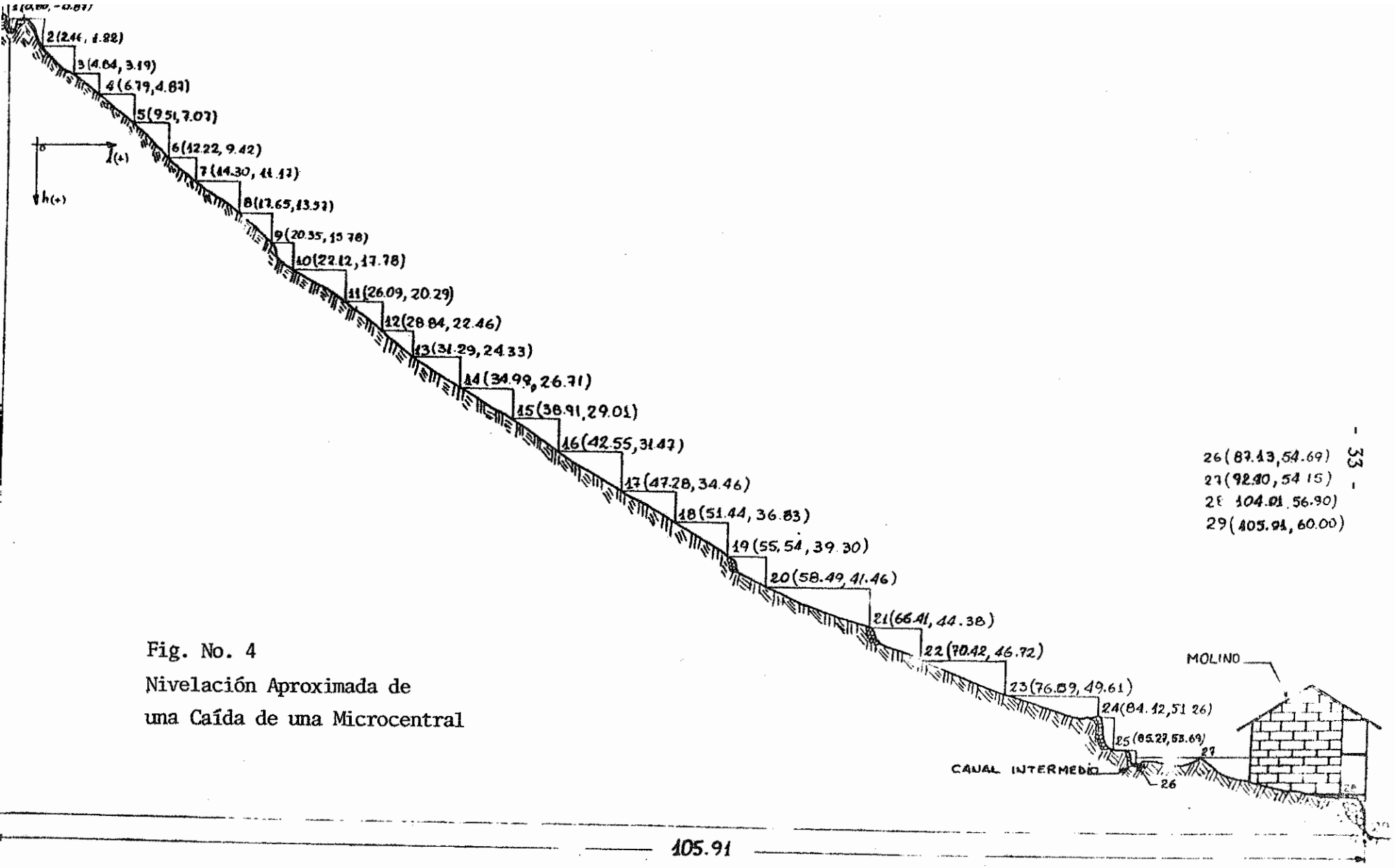


Fig. No. 4
Nivelación Aproximada de
una Caída de una Microcentral

4. PROCEDIMIENTO DE CALCULO Y DETERMINACION DE ESPECIFICACIONES TECNICAS.

En este capítulo se desarrolla una secuencia de cálculo para definir las especificaciones de una Microcentral Hidroeléctrica y sus máquinas motrices.

4.1 DEFINICION DE POTENCIAS Y EFICIENCIAS

a) Potencia en los bornes del generador

Considerando los requerimientos de capacidad instalada que se hayan determinado del análisis de la demanda (Cap. 2), luego de tomar en cuenta las pérdidas de transmisión y distribución, se establece la potencia requerida en los bornes del generador.

A continuación, debe considerarse una selección preliminar del generador a partir de especificaciones comerciales.

Para microcentrales, es recomendable el empleo de generadores de dos y cuatro polos (1.800 RPM y 3.600 RPM respectivamente a 60 Hz).

Generalmente se seleccionan alternadores, pudiendo considerarse la utilización de generadores asincronos también.

De acuerdo a las especificaciones comerciales (catálogos), se selecciona un tamaño tal que la potencia resultante sea lo más próxima posible a la potencia requerida o ligeramente superior, en la siguiente forma:

$$P_g = kVA \times \cos \phi$$

BIBLIOTECA - OLADE - QUITO - ECUADOR

donde:

P_g es la potencia del generador en kW

kVA es la potencia aparente en kilo volt amperes.

Cos Ø es el factor de potencia, usualmente se fija un valor de 0.8, sin embargo, en aplicaciones rurales es frecuente la predominancia de cargas resistivas, pudiendo entonces especificarse valores mayores (0.9 - 0.95).

Una vez, pre-seleccionado el generador, del mismo catálogo comercial, se determina su eficiencia (η_g). De no contar con este dato, se puede asumir una eficiencia del orden de 0.86.

b) Potencia Transmitida al generador (P_{tr})

$$P_{tr} = \frac{P_g}{\eta_g}$$

c) Potencia al freno de la turbina (P_t)

Si se tiene un acoplamiento directo entre la turbina y el generador, ésta será igual a la potencia transmitida al generador; si existe alguna forma de transmisión se debe considerar la eficiencia de la transmisión (η_{tr}) en la siguiente forma:

$$P_t = \frac{P_{tr}}{\eta_{tr}}$$

	η_{tr}
ENGRANAJES	0.98
BANDAS O FAJAS EN "V"	0.95

d) Potencia Hidráulica de la Turbina (P_h)

Considerando la eficiencia mecánica de la turbina (η_m) determinada por la presencia de pérdidas mecánicas por fricción, se determina así:

$$P_h = \frac{P_t}{\eta_m}$$

La eficiencia mecánica de la turbina, depende de sus características de diseño, para microturbinas es razonable asumir valores de n_m en el rango de 0.95 a 0.97.

e) Potencia Absorbida por la turbina (P_a)

Se debe considerar la eficiencia hidráulica (n_h) de la turbina dada por las características hidrodinámicas de la máquina y la eficiencia volumétrica (n_v) dada por las pérdidas de agua que no circula por el rodete, en la siguiente forma:

$$P_a = \frac{P_h}{n_h \, n_v}$$

La eficiencia hidráulica (n_h) depende del tipo de turbina, su diseño hidráulico, las características hidrodinámicas de sus secciones de paso y las proporciones y exactitud en su construcción. En general se pueden considerar los siguientes rangos de valores de eficiencia máxima, para máquinas de potencias inferiores a 50 kW:

	n_h
- Turbinas Axiales	0.86 - 0.92
- Turbinas Francis	0.85 - 0.90
- Turbinas Michell-Banki con buen diseño y construcción	0.75 - 0.82
- Turbina Michell-Banki de construcción artesanal	0.60 - 0.70
- Turbina Pelton	0.82 - 0.87

En máquinas bien construidas frecuentemente se desprecia el valor de la eficiencia volumétrica (n_v=1.0), incorporándolo al valor de la eficiencia hidráulica. Alternativamente se pueden considerar valores del orden de 0.98 a 0.99.

En máquinas de construcción artesanal, los valores de la eficiencia volumétrica pueden ser muy reducidos llegándose a valores del orden de 0.90 ó menos, considerándo deficiencias en ajustes,en alineamientos e inexactitudes dimensionales de construcción o montaje, que determinan importantes fugas de agua.

4.2 ESPECIFICACIONES Y ALTERNATIVAS DE SELECCION DE TUBERIA DE PRESION.

En el presente capítulo se analiza el empleo de tuberías de acero y tuberías no metálicas, en este último caso, se presentan datos solamente para tuberías de polietileno, PVC y asbesto-cemento. Cabe señalar que es posible considerar también el empleo de otros materiales, tales como fibra de vidrio, madera y ferro-cemento.

La selección del tipo de tubo, está determinada por su disponibilidad en los diámetros y espesores requeridos y por consideraciones económicas, en las cuales hay que tomar en cuenta,tanto el precio de adquisición, como los costos de transporte, acarreo, montaje y requerimientos de accesorios.

a) Tuberías de acero.

Constituye la solución convencional más difundida, generalmente se emplean tubos construídos ad-hoc por medio de procesos de rolado y soldado, en consecuencia su diámetro se puede adaptar a los requerimientos del proyecto. Para diámetros pequeños, dónde resulta dificilmente realizable el rolado de tubos, se pueden emplear tubos estandar conformados en frío y soldados. En el cuadro siguiente se señalan sus características dimensionales para la serie normal (cédula 40).

DIA. NOM. (Pulg)	DIA. EXT. (mm.)	DIA. INT. (mm.)	ESPESOR (mm.)
2	60.33	52.50	3.91
2 1/2	73.03	62.71	6.16
3	88.90	77.93	5.49
4	114.30	102.26	6.02
5	141.30	128.19	6.55
6	168.28	154.05	7.11
8	219.08	202.72	8.18
10	273.03	254.51	9.27

Tuberías de Acero Cédula 40.

Pueden estar construidas en diversas calidades de acero, para acero estructural ordinario se pueden asumir los siguientes valores:

Esfuerzo de fluencia S_f = 21 Kg/mm^2
Factor de seguridad 1.5 sobre el esfuerzo de fluencia
Esfuerzo de diseño Sd = 14 kg/mm^2
Densidad del material = 7.85

Si bien es la opción más difundida, el empleo de tubería de acero en Microcentrales, es en general la alternativa más costosa, tanto en cuanto a precio de adquisición, como en cuanto a costos de transporte y montaje, en razón de su peso y a la necesidad de soldadura de tramos en el campo y/o la instalación de bridas de unión entre los mismos.

b) Tuberías de Polietileno

Tienen como ventajas, su costo considerablemente menor que el de las tuberías de acero, si bien mayor al de PVC y al del asbesto cemento, su instalación es sencilla, ya que se adecúa a la conformación del terreno debido a su buena capacidad de deformación, requiere un mínimo de anclajes (al pie de las uniones), puede asentarse directamente sobre el terreno y tiene re-

querimientos mínimos en cuanto a determinar con exactitud el perfil de la caída antes de su instalación. Asi mismo, tiene una buena resistencia a la radiación solar.

Una ventaja adicional está dada por su fácil transporte, pudiendo ser arrollada en diámetros 32 veces mayores que su diámetro nominal.

Sus principales desventajas están dadas por la necesidad de emplear coples metálicos para la unión de tramos de tubería, los cuales son costosos, requieren un montaje cuidadoso por medio de ajuste forzado en caliente y determinan elevadas pérdidas de carga por estrangulación, además estos tubos generalmente se fabrican solo para diámetros pequeños, lo que limita su aplicación a las unidades más pequeñas.

A continuación se muestra una tabla de dimensiones de las tuberías de "Clase 10" adecuadas para presiones nominales, hasta de 10 Kg/cm^2.

DIAMETRO NOMINAL (pulg)	DIAMETRO EXTERIOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)
3	88.5	70.5	9.0
4	114.0	90.8	11.6
6	168.0	133.8	17.1
8	219.0	174.4	22.3
10	273.0	218.0	27.5

TUBERIAS DE POLIETILENO CLASE 10

Esfuerzo de rotura equivalente en tracción (25°C)	2.32 Kg/mm^2
Factor de seguridad recomendado	5
Esfuerzo de Diseño	0.464 Kg/mm^2

c) Tuberías de PVC

Su costo es menor que los tubos equivalentes de acero y polietileno, pero es mayor que el de asbesto cemento.

Los tubos de PVC son muy flexibles y se adaptan fácilmente a la conformación del terreno por su deformación elástica, además son muy livianos y fácils de transportar. La unión de los tramos se realiza por medio de espiga y campana con un pegamento especial.

Sus principales desventajas están dadas por su tendencia a deteriorarse por la radiación solar y a su relativa fragilidad al impacto, en consecuencia conviene instalarlos enterrados.

Sus paredes lisas, determinan reducidas pérdidas de carga. Generalmente se pueden obtener para diámetros hasta de 15" y aún 20" en clase 10 (10 Kg/mm^2 de presión nominal) y clase 15 (15 Kg/mm^2 de presión nominal). A continuación se presenta una tabla de dimensiones de tubos standard de PVC clase 10, hasta 10" de diámetro nominal:

DIA.NOM. (Pulg.)	DIA. EXT. (mm.)	DIA. INT. (mm.)	EXPESOR (mm.)
2	60.0	53.0	3.5
2 1/2	73.0	65.0	4.5
3	88.5	78.9	4.8
4	114.0	102.0	6.0
5	141.8	126.0	7.5
6	168.0	150.2	8.9
8	219.0	195.8	11.6
10	273.0	244.0	14.5

Tuberías de PVC clase 10

Esfuerzo de rotura en tracción (25°C)	=	5-5.2 Kg/mm^2
Esfuerzo de rotura en flexión	=	7-9 Kg/mm^2
Esfuerzo de rotura en compresión	=	6-7 Kg/mm^2
Operando a presión se recomienda un factor de seguridad de 5, a 20°C.		
Esfuerzo de trabajo	=	1.0 Kg/mm^2
Densidad del material	=	1.43

d) Tuberías de Asbesto-Cemento

Probablemente constituyen una de las más interesantes alternativas para microcentrales, mini-centrales y aún para pequeñas centrales, en razón de su bajo costo y amplia disponibilidad en una gran gama de diámetros y espesores.

Tienen excelente resistencia a las condiciones ambientales y su montaje es sencillo. Su principal desventaja está dada por su peso, bastante mayor al de los tubos de PVC y polietileno equivalentes y a su relativa fragilidad que hace recomendable su instalación bajo tierra.

Si bien son rígidos, sus uniones permiten desviaciones angulares hasta de 5°1o que facilita su adaptación al perfil del terreno, además sus uniones actuan como juntos de dilatación.

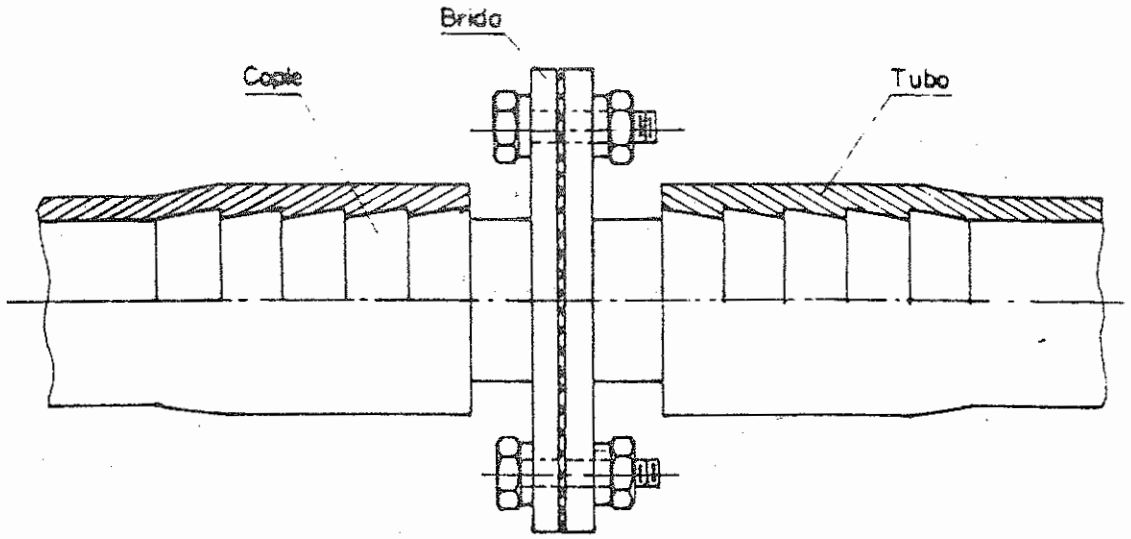
Sus paredes lisas determinan reducidos coeficientes de pérdida de carga, comparables con los correspondientes a tubos de PVC.

A continuación se presenta una tabla de dimensiones estandar de tubos de asbesto cemento clase 10 (hasta

10 Kg/mm^{2}de presión nominal) y diámetros hasta de 24" :

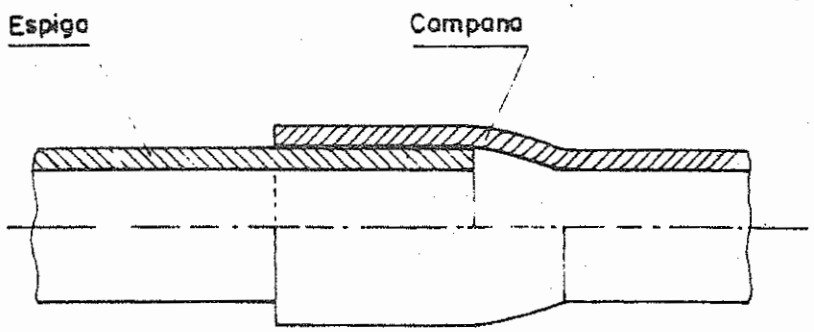
DIAMETRO NOMINAL (pulg)	DIAMETRO EXTERIOR (mm)	DIAMETRO INTERIOR (mm)	ESPESOR (mm)
4	124	100	12
6	178	150	14
8	238	200	19
10	298	250	24
12	354	300	27
14	412	350	31
16	468	400	34
18	526	450	38
20	584	500	42
24	698	600	49

TUBERIA DE ASBESTO CEMENTO CLASE 10

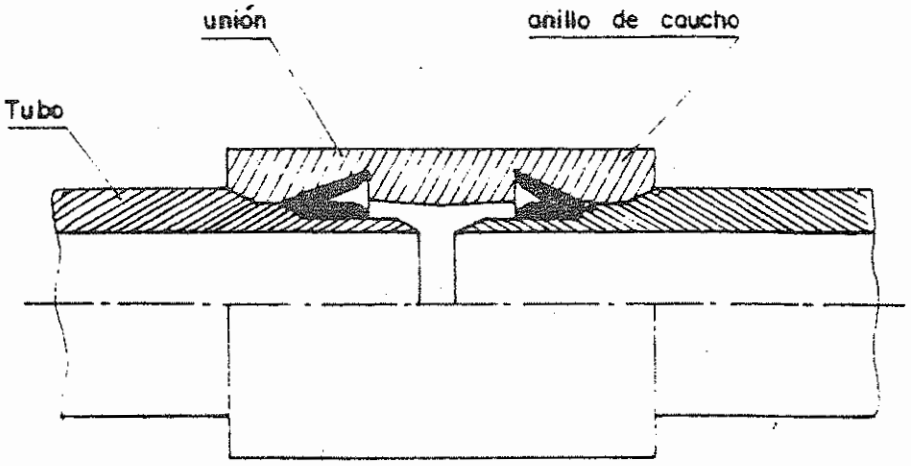


Detalle de la unión tubería polietileno

Fig. No. 5



Detalle de la unión tubería P V C



Detalle de la unión tubería

4.3 CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA SALTO NETO Y CAUDAL REQUERIDO.

Se propone el procedimiento que se resume a continuación. Considerando que en la etapa de diseño y especificación se deben tantear diversas alternativas y condiciones, se recomienda trasladar el proceso de cálculo señalado en el numeral 4.1 y en el presente a un programa adaptable a una mini calculadora programable. En el Anexo I se presenta un programa adecuado para una máquina Texas Instruments modelo TI-59.

Cabe señalar también que si se tienen como datos la potencia las eficiencias y el salto bruto, es necesario determinar las pérdidas de carga y caudal por medio de un proceso iterativo.

1. Selección de tubería para el cálculo.
   Según las particularidades de la aplicación, seleccionar en forma tentativa distintos tamaños y tipos de tubería, calcular las especificaciones de la central para cada caso y luego proceder a la selección final del tubo. La secuencia de cálculo se aplica para cada tipo o tamaño de tubo cuya aplicación se quiera verificar.

2. Cálculo del caudal.

$$Q = \frac{P_h}{9.807\ n_h\ n_v\ H_n}$$

donde:

P_h = Potencia hidráulica de la turbina (kW)
n_h = Eficiencia hidráulica de la turbina
n_v = Eficiencia volumétrica de la turbina
H_n = Salto neto (m.)
Q = Caudal (m^3/seg.)

Nota: en la primera iteración se asume que no hay pérdidas de carga, en consecuencia el salto neto (H_n) será igual al salto bruto (H_b).

3. Cálculo de la velocidad en la tubería C(m/seg.)

$$C = \frac{4 \times 10^6 \, Q}{\pi \cdot Di^2}$$

Di = día interno de la tubería (mm.)

4. Cálculo de la pérdida de carga Hw. (mt.)
Para tubería de acero con costura:

$$H_w = (0.7334 + \frac{0.4827}{\sqrt{C}}) \frac{L_T \, C^2}{Di}$$

Para tuberías de PVC polietileno y Asbesto cemento

$$H_w = (0.4893 + \frac{0.8217}{\sqrt{Di}} + \frac{2.7209}{\sqrt{CDi}}) \frac{L_T \, C^2}{Di}$$

L_T = Longitud equivalente de la tubería m .)

Nota: no incluye pérdidas en uniones, válvulas y cambios de dirección, estos deben computarse separadamente.

5. Cálculo del salto neto aprovechable H_n (m .)

$$H_n = H_b - H_w$$

H_b = Salto Bruto (m.)

6. Iterar al punto 2) con el nuevo valor de H_n y así sucesivamente hasta hallar Q con una aproximación determinada.

4.4 VERIFICACION DEL ESPESOR MINIMO DE LA PARED DE LA TUBERIA DE PRESION.

$$e_{min} = 0.001 \frac{Di \quad Ht}{2 \quad S_d}$$

donde:

e_{min} = Espesor mínimo de la pared del tubo (mm.)

Di = Diámetro interno del tubo (mm.)

Ht = Altura máxima de diseño (m).
Equivale al salto bruto (H_b) más una tolerancia adicional por golpe de ariete.
Generalmente se determina el margen de sobrepresión por golpe de ariete en función de la velocidad del agua en la tubería, la longitud del tubo, su material y la velocidad de cierre de la válvula máxima prevista, así como la existencia de una chimenea de equilibrio.
A nivel preliminar, empleando tuberías no metálicas es usual considerar un margen de 20% - 30% por encima del salto bruto (H_b).

S_d = Esfuerzo de diseño a tracción del material del tubo. ($Kg./mm^2$).

Una vez determinado el espesor mínimo, se compara con el espesor real de la tubería.

Si $e_{min} > e$ descartar la tubería.

Cabe señalar que en el diseño definitivo, merecen estudiarse con mayor cuidado algunos esfuerzos localizados, principalmente en los cambios de dirección y uniones.

4.5 CALCULO DEL PESO DE LA TUBERIA

$$W_T = \frac{\pi \rho_T}{1.000} L_T \, e \, (Di + e)$$

donde:

Wt = Peso total de la tubería (Kg)

ρ_T = Densidad del material del tubo

L_T = Longitud del tubo (m).

4.6 SELECCION DE DIAMETRO DE LA TUBERIA

Al margen de la especificación del material del tubo en función de los aspectos técnicos y económicos vistos en el punto 4.2 y luego de descontadas las alternativas correspondientes por espesor insuficiente de la pared del tubo, se debe proceder a seleccionar el tubo que determine las mejores condiciones tecnico-económicas, en un compromiso entre pérdida de carga y valor de la inversión en un tubo de mayor diámetro.

En general, la selección económica determina velocidades en el tubo entre 1 y 3 m/seg.

Una aproximación al análisis económico estaría dada por el costo anual combinado expresado por:

$$C_a = \frac{V_p \times \frac{i}{100}}{1 - \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{-n}} + V_{kwh}\, P_b \times 8760 \times fc \times \frac{H_w}{H_b}$$

El valor mínimo de C_a nos permite seleccionar la tubería óptima.

donde:

V_p = Valor de la tubería con accesorios igual a Val. Unit. de un tramo x long. de un tramo/long. total + N° de accesorios x Val. Unit. de accesorios.

i = Interés (%) anual

n = número de años de amortización

V_{kwh} = Tarifa por kwh

P_b = Potencia en los bornes del generador

f_c = factor de carga promedio de la planta.

H_w = pérdida de carga (m)

H_b = salto bruto (m)

El primer término representa los costos de amortización e intereses del tubo y el segundo, el valor de la energía dejada de producir por las pérdidas de carga.

4.7 SELECCION PRELIMINAR DE LA TURBINA

El tipo de turbina a ser empleada en cada caso, está determinado por la velocidad específica (n_s ó n_q) que corresponde a las condiciones de funcionamiento dadas por la potencia, salto, velocidad (RPM) y eficiencia.

En la Fig. No. 6 se presenta un Nomograma para selección de turbinas en función de sus parámetros principales.

Se tienen dos expresiones de velocidad específica, la primera depende de la eficiencia de la turbina y está dada por:

$$n_s = N \frac{P^{1/2}}{H_N^{5/4}}$$

Donde:

P = Potencia neta en CV

H_N = Salto neto (m .)

N = Velocidad (RPM)

La segunda velocidad específica nos permite establecer criterios de semejanza independientes del rendimiento y está dada por:

$$n_q = N \frac{Q^{1/2}}{H_N^{3/4}}$$

Donde:

Q = Caudal en m^3/s

Por otra parte, se puede deducir la siguiente relación entre las dos velocidades específicas:

$$n_s = n_q \sqrt{\frac{1000}{75}\, n_h}$$

Donde:

n_h = Eficiencia hidráulica de la turbina (fracción)

Una forma de selección consiste en la consulta a catálogos de fabricantes de turbinas estandarizadas, que permita seleccionar un tamaño estandar de un tipo de turbina dado, a partir de los datos de salto y caudal y consecuentemente determinar la velocidad de giro correspondiente. Un ejemplo muy ilustrativo de este proceso para el caso de turbinas Michell-Banki, aparece en el Documento "Diseño y Estandarización de Turbinas Michell-Banki" por C.A. Hernández.

Una aproximación independiente de una serie estandarizada de turbinas, asumiendo una especificación y diseño ad-hoc de la misma, puede realizarse en la siguiente forma:

1. Asumir una velocidad de giro de la turbina (RPM) considerando una velocidad igual o menor a la del generador; en general no conviene exceder 1800 RPM; sobre esta base se define también si la turbina estaría acoplada directamente al generador o existiría una transmisión intermedia. En este segundo caso conviene considerar los ratios de velocidad generador/turbina que permitan un determinado sistema de transmisión; en general para transmisión por fajas o bandas en "V" no conviene tener valores mayores a 3.5 aproximadamente. En transmisiones por engranajes se pueden tomar ratios mayores.

2. Especificar y diseñar en forma preliminar el sistema de transmisión generador/turbina para determinar su viabilidad técnico-económica.

3. Con la velocidad de giro de la turbina determinar sus velocidades específicas.

4. Seleccionar el tipo de turbina del nomograma o del cuadro que se muestra en la Figura No. 6.

5. Si se quiere profundizar en la selección de la turbina, se puede determinar en forma aproximada su principal dimensión dada por el diámetro del rodete.

   Para el caso de turbinas Michell-Banki, el diámetro del rodete esta dado por la siguiente ecuación:

$$D_V = \frac{39.85 \sqrt{H_n}}{N}$$

   Donde:

   D_V = Diámetro del rodete (m.)

   H_n = Salto neto (m.)

   N = RPM de la turbina

   y para el caso de turbinas Pelton

$$D_V = \frac{41.45 \sqrt{H_n}}{N}$$

   Donde:

   D_V = Diámetro Pelton (m), o sea dos veces el radio determinado por el eje del chorro tangente al rodete.

   Estas fórmulas se derivan de consideraciones técnicas que relacionan la velocidad óptima con el salto neto, para un determinado ángulo de ingreso del chorro y coeficientes experimentales típicos para las pérdidas en el inyector y el rodete.

6. Si el diámetro del rodete determinado resulta en una magnitud poco adecuada o si se quiere fijar valores estandarizados para el mismo, se pueden adecuar las fórmulas para determinar la velocidad de giro a partir de un diámetro dado de rodete, debiendo luego volver al paso 3.

   En el caso de turbinas Pelton, cabe señalar que se puede emplear más de una tobera (usualmente hasta un máximo de seis), en este caso, el diámetro del rodete es proporcional a la raíz cuadrada del número de Toberas.

TIPO DE TURBINA	n_s	n_q	$H_{max.adm.}$
Pelton de una tobera	10 a 29	3 a 9	1800 a 400
Pelton de dos o más toberas	29 a 59	9 a 18	400 a 350
Michell Banki	29 a 220	9 a 68	400 a 80
Francis lenta	59 a 124	18 a 38	350 a 150
Francis normal	124 a 220	38 a 68	150 a 80
Francis rápida	220 a 440	68 a 135	80 a 20
Hélice y Kaplan	342 a 980	105 a 300	35 a 5

SELECCION DEL TIPO DE TURBINA SEGUN CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.

Para eficiencia hidráulica n_h =0.80

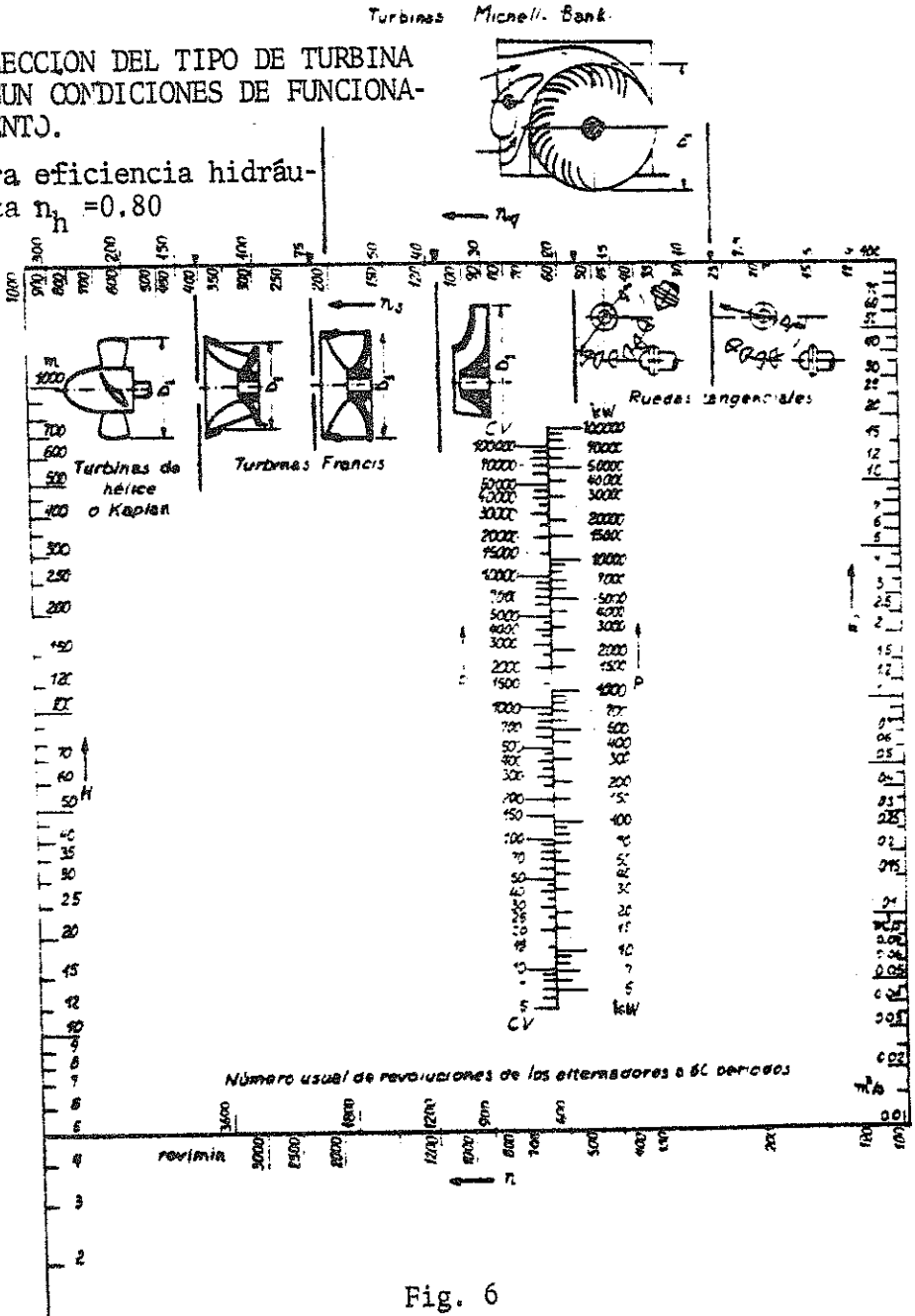


Fig. 6

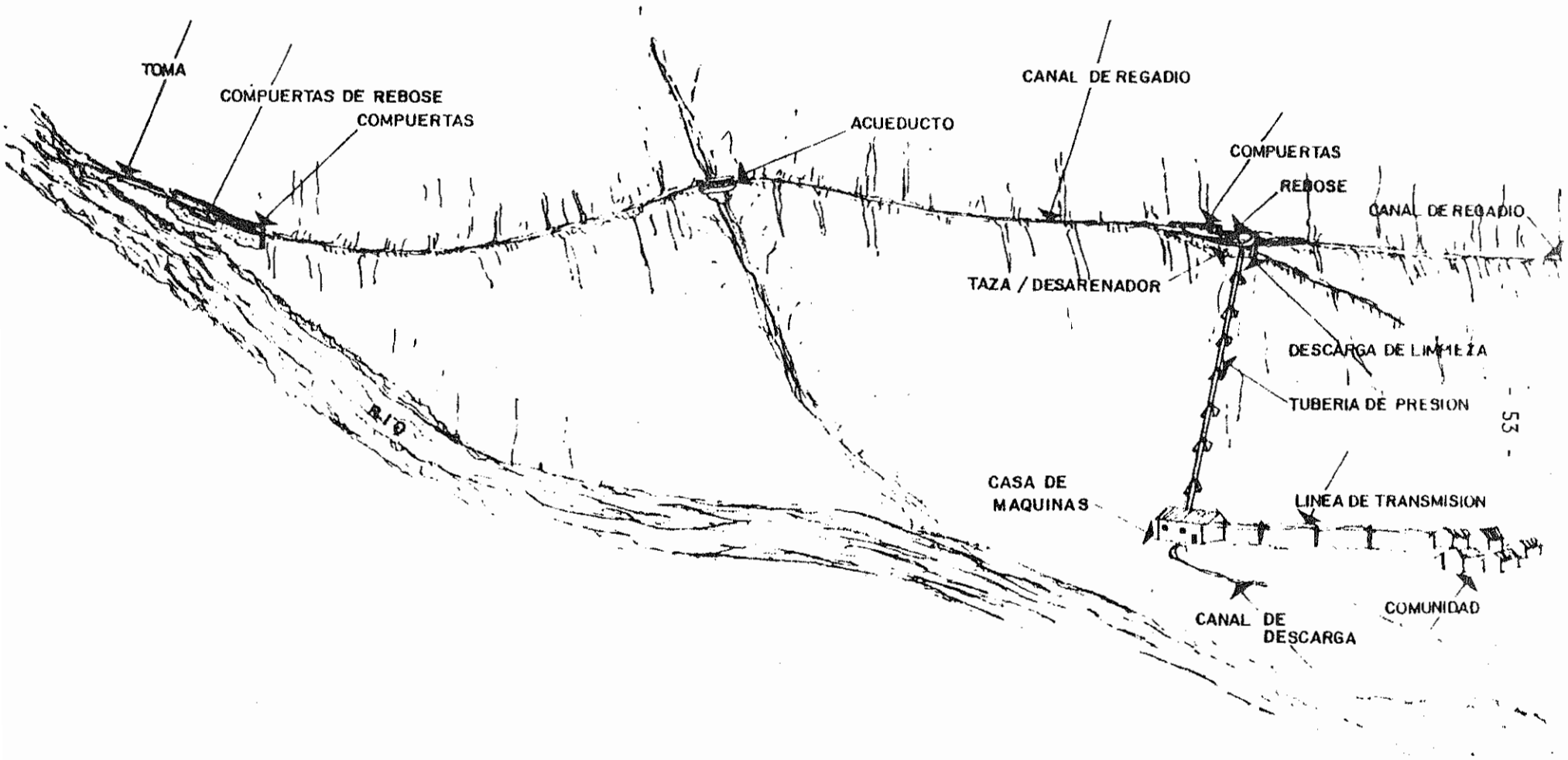


DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UNA PEQUEÑA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA

Fig. No. 7

ANEXO I

PROGRAMA DE CALCULO DE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS

PARA MINICALCULADORA PROGRAMABLE TEXAS INSTRUMENTS -

MOD. TI - 59

TITLE M.C.H PAGE 1 OF 5

PROGRAMMER _____ DATE _____

TI Programmable **Coding Form**

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
000	91	R/S	
	76	* Lbl	
	10	* E'	
	29	* Cp	
	22	INV	
	58	* fix	
	47	* Cms	
	09	9	
	93	.	
	08	8	
010	00	0	
	06	6	
	06	6	
	05	5	
	42	STO	
	22	22	
	25	CLR	
	81	RST	
	76	* Lbl	
	11	A	
020	42	STO	
	08	08	
	42	STO	
	09	09	
	86	* St Flg	
	01	1	
	22	INV	
	67	* x=t	
	22	INV	
	86	* St Flg	
030	00	0	
	76	* Lbl	
	22	INV	
	91	R/S	
	22	INV	
	86	* St Flg	
	01	1	
	91	R/S	
	76	* Lbl	
	12	B	
040	42	STO	
	12	12	
	42	STO	
	14	14	
	22	INV	
	86	* St Flg	
	03	3	
	22	INV	
	67	* x=t	
	23	Ln x	
050	86	* St Flg	
	02	2	
	76	* Lbl	
	23	Ln x	
	91	R/S	

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
	86	* St Flg	
	03	3	
	91	R/S	
	76	* Lbl	
	13	C	
060	42	STO	
	11	11	
	22	INV	
	67	* x=t	
	24	CE	
	86	* St Flg	
	04	4	
	76	* Lbl	
	24	CE	
	91	R/S	
070	76	* Lbl	
	15	E	
	42	STO	
	07	07	
	36	* Pgm	
	01	01	
	71	SBR	
	25	CLR	
	91	R/S	
	43	RCL	
080	07	07	
	42	STO	
	06	06	
	91	R/S	
	49	* Prd	
	07	07	
	42	STO	
	05	05	
	91	R/S	
	49	* Prd	
090	07	07	
	42	STO	
	04	04	
	91	R/S	
	49	* Prd	
	07	07	
	42	STO	
	03	03	
	91	R/S	
	76	* Lbl	
100	14	D	
	22	INV	
2	86	* St Flg	
3	05	5	
4	42	STO	
5	16	16	
6	01	1	
7	06	6	
8	69	* Op	
9	04	04	

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
110	43	RCL	
	16	16	
	69	* Op	
	06	06	
	91	R/S	
	42	STO	
	18	18	
	75	-	
	43	RCL	
	16	16	
120	95	=	
	69	* Op	
	00	00	
	67	* x=t	
	42	STO	
	03	3	
	03	3	
	04	4	
	02	2	
	69	* Op	
130	03	03	
	69	* Op	
	05	05	
	76	* Lbl	
	43	RCL	
	01	1	
	07	7	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
140	18	18	
	69	* Op	
	06	06	
	91	R/S	
	42	STO	
	17	17	
	02	2	
	07	7	
	69	* Op	
	04	04	
150	43	RCL	
	17	17	
	69	* Op	
	06	06	
	91	R/S	
	42	STO	
	19	19	
	01	1	
8	07	7	
9	03	3	SIGUE 2/5

MERGED CODES

62 Prd Std	72 STO Ind	83 GTO Ind
63 Exc Std	73 RCL Ind	84 Op Ind
64 Dsz Std	74 SUM Ind	92 INV SBR

TEXAS INSTRUMENTS

TITLE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS PAGE 1 OF 5

PROGRAMMER ENRIQUE INDACOCHEA DATE AG. /1979

TI Programmable **Program Record**

Partitioning (Op 17) 7,1,9,2,9 (3 * Op 17) Library Module — Printer OPCIONAL Cards 1-2-3

PROGRAM DESCRIPTION

CALCULA UNA VARIABLE DADAS LAS OTRAS TRES, ENTRE SALTO (mt.) (BRUTO O NETO), POTENCIA (KW) (DE LA CENTRAL O LA POTENCIA HIDRAULICA DE LA TURBINA), CAUDAL (m^3/s) Y/O EFICIENCIA (FRACCION DECIMAL) (CONJUNTO DE EFICIENCIAS: HIDRAULICA DE LA TURBINA, MECANICA DE LA TURBINA, TRANSMISION Y DEL ALTERNADOR) O SOLO EFICIENCIA DE LA CENTRAL (SOLO CON POTENCIA DE LA CENTRAL) O SOLO EFICIENCIA HIDRAULICA (SOLO CON POTENCIA HIDRAULICA DE LA TURBINA. CALCULA ASI MISMO LAS VELOCIDADES ESPECIFICAS (ns y n_q) DE LA TURBINA DADAS EN R.P.M. CALCULA Hw PARA PVC y ACERO. NOTA: ASUME $\eta_{USUAL} = 1$ EN $\eta_{HIDRAUL}$

USER INSTRUCTIONS

STEP	PROCEDURE	ENTER	PRESS			DISPLAY
1	INV & Fix, 3 * Op 17 - ENTRAR 3 BANCOS (3 TARJETAS 1,2,3)					
2	INICIAR (RST, CMs, CLR t=0 Rst Flgs)		2nd	E'		0
3	PONER Flg 8 (PARAR EN CASO DE ERROR)		2nd	St flg	8	0
4	ALIMENTAR 3 DATOS ENTRE 4 VARIABLES (H, P, Q, η)					
	LA INCOGNITA SE ALIMENTA CON UN CERO (0) EN LA					
	ETIQUETA (Lbl) DE ENTRADA QUE CORRESPONDE, SE					
	ALIMENTAN EN CUALQUIER ORDEN, LUEGO DE PROCESAR					
	Y ALIMENTAR CERO A LA ETIQUETA DE LA NUEVA IN-					
	COGNITA, SOLO PUEDE HABER UNA INCOGNITA.					
	4.1 ENTRA SALTO (H) (EN CERO SI H ES INCOGNITA)	HB ó HN (mt)	A			HB ó HN (mt) — SI QUIERE ES HN
	4.1.1 SI ES SALTO BRUTO (HB) APRETAR R/S	HB (mt)	R/S			HB
	4.2 ENTRA POTENCIA P(KW) (EN CERO SI P ES INCOGNITA)	Pc ó P_H (KW)	B			Pc ó P_H (KW) — SI QUIERE ES Pc
	4.2.1 SI ES POTENCIA HIDRAULICA DE TURBINA APRETAR R/S	P_H (KW)	R/S			P_H
	4.3 ENTRA CAUDAL Q (m^3/s) (EN CERO SI ES INCOGNITA)	Q (m^3/s)	C			Q (m^3/s)
	4.4 ENTRA EFICIENCIA η (FRACC. DECIM.) (EN CERO SI ES INCOGNITA)	η	E			0 — Si η = ηc Efi. CENTRAL ACA GR
	4.4.1 SI η = $\eta_{HIDRAULICA}$	0	R/S			η = η_H — SEGUIR CON OTRAS EFIC.
	SI NO SE DAN DATOS DE LAS DEMAS EFICIENCIAS	, EL PROGRAMA ASUME QUE				$\eta_c = \eta_H$ ∴ LUE-
	GO $\eta_M = \eta_T = \eta_A = 1$, PESE A QUE EL PROGRAMA LAS	IMPRIME COMO CERO.	Si DAN DATOS DE η_s, SIGUE A			

USER DEFINED KEYS	DATA REGISTERS (INV STO)			LABELS (Op 08)
A ENTRA HB ó HN	0	10 hw mt	20 RPH	INV Int CE CLR x⇄t x²
B ENTRA Pc ó P_H	1	11 Q mt	21 . GA	√x 1/x STO RCL SUM y^x
C ENTRA Q	2	12 Pc KW	22 9.80665	EE ( ) ÷ GTO ×
D ENTRA Di	3 η_A	13 C m/s	23 0.7354 9875	SBR − RST + R/S ·
E ENTRA η	4 η_F	14 P_H KW	24 n_q	+/− = CLR INV
A' INICIAR CALCULOS	5 η_M	15 GTO	25 ns	
B'	6 η_H	16 Di mm.	26	
C' EN RPH ⇒ CALC. η_{ESP}	7 η_c	17 L mt.	27	
D'	8 HB mt.	18 e mm.	28	
E' INICIAR (LIMPIAR)	9 Hw mt.	19 σ_{dis} kg/mm²	29	

FLAGS								
H INCOG. 0	H INCOG. ó HN DATO 1	PKW INCOG. 2	DATO P = $P_{HID.}$ 3	Q INCOG. 4	SI TUBO ES DE ACERO 5	6	7	CONTROL ERROR. 8

TITLE M.C.H. PAGE 2 OF 5

PROGRAMMER _____ DATE _____

TI Programmable Coding Form

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
160	06	6	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
	19	19	
	69	* Op	
	06	06	
	91	R/S	
	42	STO	
	21	21	
170	02	2	
	02	2	
	01	1	
	03	3	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
	21	21	
	69	* Op	
	06	06	
180	91	R/S	
	76	* Lbl	
	42	STO	
	86	* St Flg	
	05	5	
	01	1	
	03	3	
	01	1	
	05	5	
	69	* Op	
190	03	03	
	69	* Op	
	05	05	
	00	0	
	91	R/S	
	42	STO	
	18	18	
	61	GTO	
	43	RCL	
	76	* Lbl	
200	16	* A'	
	87	* If Flg	
	04	4	
	85	+	
	71	SBR	
	25	CLR	
	71	SBR	
	33	x^2	
	43	RCL	
	22	22	
210	65	x	
	43	RCL	
	11	11	
	95	=	
	42	STO	

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
	15	15	
	87	* If Flg	
	00	00	
	75	−	
	71	SBR	
220	53	(	
	43	RCL	
	09	09	
	49	* Prd	
	15	15	
	87	* If Flg	
	02	02	
	65	x	
	87	* If Flg	
	03	3	
230	55	÷	
	43	RCL	
	12	12	
	55	÷	
	43	RCL	
	15	15	
	95	=	
	42	STO	
	07	07	
	61	GTO	
240	93	.	
	76	* Lbl	
	55	÷	
	43	RCL	
	14	14	
	55	÷	
	43	RCL	
	15	15	
	95	=	
	42	STO	
250	06	06	
	61	GTO	
	93	.	
	76	* Lbl	
	65	x	
	43	RCL	
	07	07	
	65	x	
	43	RCL	
	15	15	
260	95	=	
	42	STO	
	12	12	
	71	SBR	
	32	x >< t	
	61	GTO	
	93	.	
	76	* Lbl	
	75	−	
	71	SBR	

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
270	32	x >< t	
	43	RCL	
	12	12	
	55	÷	
	43	RCL	
	15	15	
	55	÷	
	43	RCL	
	07	07	
	95	=	
280	42	STO	
	09	09	
	71	SBR	
	53	(	
	61	GTO	
	93	.	
	76	* Lbl	
	85	+	
	71	SBR	
	32	x >< t	
290	76	* Lbl	
	95	=	
	43	RCL	
	12	12	
	55	÷	
	43	RCL	
	07	07	
	55	÷	
	43	RCL	
	09	09	
300	55	÷	
	43	RCL	
	22	22	
	95	=	
	42	STO	
	11	11	
	71	SBR	
	25	CLR	
	71	SBR	
	33	x^2	
310	71	SBR	
	53	(	
	87	* Lf flg	
	01	01	
	94	+/−	
	75	−	
	43	RCL	
	09	09	
	95	=	
	50	| x |	SIGUE 3/5

MERGED CODES

62	72 STO	83 GTO
63	73 RCL	84
64	74 SUM	92 INV SBR

TEXAS INSTRUMENTS

TITLE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS PAGE 2 OF 5

PROGRAMMER ENRIQUE INDACOCHEA DATE AG / 1979

TI Programmable **Program Record**

Partitioning (Op 17) ⌊ ⌋ Library Module _____ Printer _____ Cards _____

PROGRAM DESCRIPTION

USER INSTRUCTIONS

STEP	PROCEDURE	ENTER	PRESS	DISPLAY
	4.42 ENTRA EFICIENCIA MECANICA DE TURBINA (FRACC. DECIM) SI QUEDA ACA η SE ASUME QUE $\eta_F = \eta_A = 1$, PERO IMPRIME $\eta_F = \eta_A = 0$. SI SE DAN COMO DATOS, SIGUE ASI :	η_M	R/S	η_M
	4.43 ENTRA EFICIENCIA DE TRANSMISION POR FAJAS SI QUEDA ACA SE ASUME $\eta_A = 1$, PERO IMPRIME $\eta_A = 0$. SI η_A ES DATO SE SIGUE ASI :	η_F	R/S	η_F
	4.44 ENTRA EFICIENCIA DEL ALTERNADOR η_A (FRACC. DECIM)	η_A	R/S	η_A
5	ALIMENTAR DATOS DEL TUBO			
	5.1 ENTRA DIAMETRO INTERIOR DEL TUBO Di (mm)	Di (mm)	D	Di
	5.2 SI TUBO ES DE PVC PASAR A 5.3 SI TUBO ES DE ACERO APRETAR R/S			
	5.3 ENTRA ESPESOR DE PARED DEL TUBO e (mm)	e (mm)	R/S	e
	5.4 ENTRA LONGITUD EFECTIVA DEL TUBO (LONG. TUBO + PERD. DE REDUCCIONES)	L (mt)	R/S	
	5.5 ENTRA ESFUERZO DE TRACCION (DISEÑO) DEL MATERIAL DEL TUBO σ_{Dis} (kg/mm^2) { PVC $1\ kg/mm^2$ ACERO $14\ kg/mm^2$	σ_{Dis} (kg/mm^2)	R/S	σ_{Dis}
	5.6 ENTRA FRACCION DECIMAL DEL GOLPE DE ARIETE (.GA) RELATIVO AL SALTO BRUTO.	.GA	R/S	

USER DEFINED KEYS	DATA REGISTERS (INV Ind)		LABELS (Op 08)
A	0	0	
B	1	1	
C	2	2	
D	3	3	
E	4	4	
A'	5	5	
B'	6	6	
C'	7	7	
D'	8	8	
E'	9	9	

FLAGS	0	1	2	3	4	5	6	7	8

TITLE M.C.H. PAGE 3 OF 5

PROGRAMMER _____ DATE _____

TI Programmable Coding Form

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
320	75	−	
	06	6	
	94	+/-	
	22	INV	
	28	* Log	
	95	=	
	77	x ≥ t	
	95	=	
	76	* Lbl	
	94	+/-	
330	76	* Lbl	
	93	.	
	01	1	
	07	7	
	03	3	
	00	0	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
	21	21	
340	85	+	
	01	1	
	95	=	
	65	x	
	43	RCL	
	08	08	
	65	x	
	93	.	
	00	0	
	00	0	
350	00	0	
	06	6	
	05	5	
	65	x	
	43	RCL	
	16	16	
	55	÷	
	43	RCL	
	19	19	
	95	=	
360	69	* Op	
	06	06	
	91	R/S	
	01	1	
	05	5	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
	13	13	
	69	* Op	
370	06	06	
	91	R/S	
	03	3	
	04	4	
	69	* Op	

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
	04	04	
	43	RCL	
	11	11	
	69	* Op	
	06	06	
380	91	R/S	
	02	2	
	03	3	
	01	1	
	04	4	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
	08	08	
	69	* Op	
390	06	06	
	91	R/S	
	02	2	
	03	3	
	03	3	
	01	1	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
	09	09	
400	69	* Op	
	06	06	
	91	R/S	
	02	2	
	03	3	
	04	4	
	03	3	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
410	10	10	
	69	* Op	
	06	06	
	91	R/S	
	03	3	
	03	3	
	01	1	
	05	5	
	69	* Op	
	04	04	
420	43	RCL	
	12	12	
	69	* Op	
3	06	06	
4	91	R/S	
5	03	3	
6	03	3	
7	02	2	
8	03	3	
9	69	* Op	

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
430	04	04	
	43	RCL	
	14	14	
	69	* Op	
	06	06	
	91	R/S	
	03	3	
	01	1	
	01	1	
	05	5	
440	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
	07	07	
	69	* Op	
	06	06	
	91	R/S	
	03	3	
	01	1	
	02	2	
450	03	3	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
	06	06	
	69	* Op	
	06	06	
	91	R/S	
	03	3	
	01	1	
460	03	3	
	00	0	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
	05	05	
	69	* Op	
	06		
	91	R/S	
	03	3	
470	01	1	
	02	2	
	01	1	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
	04	04	
	69	* Op	
	06	06	
9	91	R/S	SIGUE 4/5

MERGED CODES

62	72 STO	83 GTO
63	73 RCL	84
64	74 SUM	92 INV SBR

TEXAS INSTRUMENTS INCORPORATED

TITLE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS PAGE 3 OF 5

PROGRAMMER ENRIQUE INDACOCHEA DATE AG / 1979

TI Programmable **Program Record**

Partitioning (Op 17) ⌊ ⌋ Library Module _____ Printer _____ Cards _____

PROGRAM DESCRIPTION

DIAM. NOM(")	PVC CLASE 10			POLIETILENO CLASE 10			ACERO SCH 40		
	De (mm)	Di (mm)	e (mm)	De (mm)	Di (mm)	e (mm)	De (mm)	Di (mm)	e (mm)
2"	60.0	53.0	3.5	60	47.8	6.1	60.33	52.50	3.91
2½	73.0	65.0	4.5				73.03	62.71	5.16
3	88.5	78.9	4.8	88.5	70.5	9.0	88.90	77.93	5.49
4	114.0	102.0	6.0	114.0	90.8	11.6	114.30	102.26	6.02
5	141.8	126.0	7.5				141.30	128.19	6.55
6	168.0	150.2	8.9	168.0	133.8	17.1	168.28	154.05	7.11
8	219.0	195.8	11.6	219.0	174.4	22.3	219.08	202.72	8.18
10	273.0	244.0	14.5	278.0	218.0	27.5	273.03	254.51	9.27
12	323.0	291.0	16.0						

USER INSTRUCTIONS

STEP	PROCEDURE	ENTER	PRESS			DISPLAY PRIN
6	DESARROLLO DE CALCULOS Y RESULTADOS	(IMPRIME)				
	6.1 INICIAR Y CALCULAR ESPESOR MINIMO DEL TUBO (mm)		2nd	A'		e_{MIN} (mm) EM
	6.2 CALCULAR C VELOCIDAD EN TUBO (mt/s)		R/S			C (m/s) C
	6.3 CALCULAR CAUDAL Q (m^3/s)		R/S			Q (m^3/s) Q
	6.4 CALCULAR SALTO BRUTO H_B (mt)		R/S			H_B (mt) HB
	6.5 CALCULAR SALTO NETO H_N (mt)		R/S			H_N (mt) HN
	6.6 CALCULAR PERDIDA DE CARGA H_W (mt)		R/S			H_W (mt) HW
	6.7 CALCULAR POTENCIA CENTRAL (BORNES) P_C (KW)		R/S			P_C (KW) PC
	6.8 CALCULAR POTEN. HIDRAU. DE TURBINA P_H (KW)		R/S			P_H (KW) PH
	6.9 CALCULAR EFIC. COMBINADA DE CENTRAL $\eta_C = \eta_H \eta_M \eta_F \eta_A$		R/S			η_C (FRACCION) NC
	6.10 ESCRIBIR EFICIENCIA HIDRAUL. TURBINA η_H		R/S			η_H " NH
	6.11 ESCRIBIR EFICIENCIA MECANICA TURBINA η_M		R/S			η_M " NM
	6.12 ESCRIBIR EFICIENCIA TRANSMISION η_F		R/S			η_F " NF
	6.13 ESCRIBIR EFICIENCIA GENERADOR O ALTERNADOR η_A		R/S			η_A " NA
7	CALCULO DE VELOCIDADES ESPECIFICAS					
	7.1 ENTRA RPM y CALCULAR N_q (METRICA)	RPM	2nd	C'		N_q RPM
	7.2 CALCULAR N_s (METRICA)		R/S			N_s Nq= Ns=

USER DEFINED KEYS	DATA REGISTERS (INV STO)		LABELS (Op 08)
A	0	0	
B	1	1	
C	2	2	
D	3	3	
E	4	4	
A'	5	5	
B'	6	6	
C'	7	7	
D'	8	8	
E'	9	9	

FLAGS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

TITLE *MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS* PAGE *4* OF *5*

PROGRAMMER *ENRIQUE INDACOCHEA* DATE *AG/1979*

TI Programmable Program Record

Partitioning (Op 17) Library Module Printer Cards

PROGRAM DESCRIPTION

USER INSTRUCTIONS

STEP	PROCEDURE	ENTER	PRESS			DISPLAY

USER DEFINED KEYS	DATA REGISTERS (INV List)		LABELS (Op 08)
A	0	0	INV __ lnx __ CE __ CLR __ x:t __ x² __
B	1	1	√x __ 1/x __ STO __ RCL __ SUM __ yˣ __
C	2	2	EE __ (__) __ ÷ __ GTO __ X __
D	3	3	SBR __ − __ RST __ + __ R/S __ . __
E	4	4	+/− __ = __ CLR __ INV __ log __ CP __
A'	5	5	tan __ Pgm __ P→R __ sin __ cos __ DMS __
B'	6	6	Exc __ Prd __ |x| __ Eng __ Op __ Int __
C'	7	7	Deg __ Pause __ x=t __ Nop __ Op __ Rad __
D'	8	8	Lbl __ x≥t __ Σ+ __ x̄ __ Op __ St flg __
E'	9	9	If flg __ D.MS __ π __ List __ Write __ Dsz __
			Adv __ Prt __

FLAGS

TITLE M.C.4. PAGE 4 OF 5

PROGRAMMER _____ DATE _____

TI Programmable **Coding Form**

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
480	03	3	
	01	1	
	01	1	
	03	3	
	69	* Op	
	04	04	
	43	RCL	
	03	03	
	69	* Op	
	06	06	
490	22	INV	
	86	* St Flg	
	00	0	
	22	INV	
	86	* St Flg	
	02	2	
	22	INV	
	86	* St Flg	
	04	4	
	91	R/S	
500	76	* Lbl	
	25	CLR	
	53	(	
	06	6	
	22	INV	
	28	* Log	
	65	X	
	04	4	
	65	X	
	43	RCL	
510	11	11	
	55	÷	
	89	π	
	55	÷	
	43	RCL	
	16	16	
	33	x^2	
	54	)	
	42	STO	
	13	13	
520	92	INV SBR	
	76	* Lbl	
	33	x^2	
	87	* If flg	
	05	5	
	34	$\sqrt{x}$	
	53	(	
	53	(	
	93	.	
	04	4	
530	08	8	
	09	9	
	03	3	
	55	÷	

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
	08	8	
	02	2	
	01	1	
	07	7	
	55	÷	
540	43	RCL	
	16	16	
	34	$\sqrt{x}$	
	85	+	
	02	2	
	93	.	
	07	7	
	02	2	
	00	0	
	09	9	
550	55	÷	
	53	(	
	43	RCL	
	13	13	
	65	X	
	43	RCL	
	16	16	
	54	)	
	34	$\sqrt{x}$	
	54	)	
560	76	* Lbl	
	44	SUM	
	65	X	
	43	RCL	
	13	13	
	33	x^2	*
	65	X	
	43	RCL	
	17	17	
	55	÷	
570	43	RCL	
	16	16	
	54	)	
	42	STO	
	10	10	
	92	INV SBR	
	76	* Lbl	
	34	$\sqrt{x}$	
	53	(	
	53	(	
580	93	.	
	07	7	
	03	3	
	03	3	
	04	4	
	85	+	
	93	.	
	04	4	
	08	8	

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
590	07	7	
	55	÷	
	43	RCL	
	13	13	
	34	$\sqrt{x}$	
	54	)	
	61	GTO	
	44	SUM	
	76	* Lbl	
	53	(	
600	87	* If flg	
	01	01	
	54	)	
	53	(	
	43	RCL	
	08	08	
	75	-	
	43	RCL	
	10	10	
	54	)	
610	48	* Exc	
	09	09	
	92	INV SBR	
	76	* Lbl	
	54	)	
	53	(	
	43	RCL	
	09	09	
	85	+	
	43	RCL	
620	10	10	
	54	)	
	48	* Exc	
	08	08	
	92	INV SBR	
	76	* Lbl	
	32	X ><t	
	53	(	
	53	(	
	43	RCL	
630	06	06	
	55	÷	
	43	RCL	
	07	07	
	54	)	
	87	* If flg	
	03	03	
	35	1/x	
	65	X	
	43	RCL	

SIGDE 5/5

MERGED CODES

62 [redacted]	72 STO [redacted]	83 GTO [redacted]
63 [redacted]	73 RCL [redacted]	84 [redacted]
64 [redacted]	74 SUM [redacted]	92 INV SBR

TEXAS INSTRUMENTS

TITLE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS PAGE 5 OF 5

PROGRAMMER ENRIQUE INDACOCHEA DATE 46 / 1979

TI Programmable **Program Record**

Partitioning (Op 17) [ ] Library Module _____ Printer _____ Cards _____

PROGRAM DESCRIPTION

USER INSTRUCTIONS

STEP	PROCEDURE	ENTER	PRESS			DISPLAY

USER DEFINED KEYS	DATA REGISTERS (INV Lbl)		LABELS (Op 08)
A	0	0	
B	1	1	
C	2	2	
D	3	3	
E	4	4	
A'	5	5	
B'	6	6	
C'	7	7	
D'	8	8	
E'	9	9	

FLAGS 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

TITLE M.C.H. PAGE 5 OF 5

TI Programmable Coding Form

PROGRAMMER DATE

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
640	12	12	
	54	)	
	42	STO	
	14	14	
	92	INV SBR	
	76	*Lbl	
	35	1/x	
	55	÷	
	43	RCL	
	14	14	
650	54	)	
	35	1/x	
	42	STO	
	12	12	
	92	INV SBR	
	76	*Lbl	
	18	*C'	
	42	STO	
	20	20	
	03	3	
660	05	5	
	03	3	
	03	3	
	03	3	
	00	0	
	69	*Op	
	04	04	
	43	RCL	
	20	20	
	69	*Op	
670	06	06	
	65	x	
	43	RCL	
	11	11	
	34	√x	
	55	÷	
	43	RCL	
	09	09	
	45	y^x	
	93	.	
680	07	7	
	05	5	
	95	=	
	42	STO	
	24	24	
	03	3	
	01	1	
	03	3	
	04	4	
	69	*Op	
690	04	04	
	43	RCL	
	24	24	
	91	R/S	
	69	*Op	

LOC	CODE	KEY	COMMENTS
	06	06	
	65	x	
	53	(	
	04	4	
	00	0	
700	55	÷	
	03	3	
	65	x	
	43	RCL	
	06	06	
	54	)	
	34	√x	
	95	=	
	42	STO	
	25	25	
710	03	3	
	06	6	
	69	*Op	
	04	04	
	43	RCL	
	25	25	
	69	*Op	
	06	06	
718	91	R/S	
719			

LOC	CODE	KEY	COMMENTS

MERGED CODES

62 63 64 72 STO 73 RCL 74 SUM 83 GTO 84 92 INV SBR

TEXAS INSTRUMENTS

ANEXO II

CONVERSIONES DE UNIDADES

Multiplicar	Por	Para Obtener
Ft.	0.3048	m
Ft^3/s	0.028317 (0.0283168466)	m^3/s
HP	1.0139 (1.013869794)	CV
CV	0.7355 (9.80665 x 3/40)	KW
N_s (Sist. Inglés) $RPM \frac{\sqrt{HP}}{(m)^{5/4}}$	4.446 (4.44603)	N_s (Sist. Métrico) $RPM \frac{\sqrt{CV}}{(ft)^{5/4}}$

ANEXO III

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. NOZAKI, Ing. Tsuguo - "Guía para la Elaboración de Proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas destinadas a la Electrificación Rural del Perú". 1968 - Ministerio de Energía y Minas. Lima,PERU.

2. CHAQUEA B., Ing. Oscar; LOBO GUERRERO, Ing. Jaime; BURTON, Ing. John D., CASASBUENAS M., Ing. Constantino- "Viabilidad de las Microcentrales Hidroeléctricas en Colombia". 1979 - Fundación Mariano Ospina Pérez y C.CH.LG. LTDA. Ingenieros Contratistas. Bogotá, COLOMBIA

3. GAMARRA G., Ing. Abraham y GARCIA C., Ing. Oscar - "Efectos Transitorios en Sistemas de Generación Local durante el Arranque de Motores Eléctricos" 1979 - V Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Ramas Afines - Lima, PERU.

4. (5 Expertos Noruegos) - "Hydroelectric Power Technology in Norway with special Emphasize on Small Scale Power Plants". 1979 - Nonregion Water Resources and Electricity Board; comprende los siguientes trabajos:

   4.A MJØLLNER, W. - "Small Scale Hydro Power Plants".

   4.B BERGSENG, M.S. Elect. Eng. J., - "Electrical Equipment for Small Scale Hydro Power Plants".

   4.C JENSEN, M. Sc. Civil Eng. J. , - Waterways Doms and Power Buildings for Small Scale Power Plants".

   4.D LUNDQUIST, Hydrologist D. - "Hydrology of Small Catchments".

   4.E JENSEN, M. Sc. Civil Eng. J., - "Multi Purpose Aspects".

   4.F GUNNES, M. Sc. Civil Eng. O. - "Proceedings Regarding Planning Official Treatment and Implementation".

/ ...

5. INDACOCHEA, Ing. Enrique - "Problemática del Desarrollo de la Tecnología de Microcentrales Hidroeléctricas y su Contribución a la Electrificación Rural". 1979 - ITINTEC - Lima. PERU.

6. INDACOCHEA, Ing. Enrique - "Estudio del Caso de la Microcentral Hidroeléctrica Piloto de Obrajillo (Perú)" 1979 - ONUDI - Seminar - Workshop on the Exchange of Experiences and Technology Transfer on Mini Hydro Electric Generation Units - Kathmandu - NEPAL.

7. HERNANDEZ, Carlos Alberto - "Desarrollo Tecnológico para el Equipamiento de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas". 1980 - ITINTEC - Lima, PERU.

8. HERNANDEZ, Carlos Alberto - Diseño y Estandarización de Turbinas Michell-Banki". 1980 - OLADE - Quito, ECUADOR.

9. GRUPO DE EXPERTOS - "El Desarrollo de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas en Latinoamérica y el Caribe". 1979 - OLADE - Quito, ECUADOR.