

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRAULICOS
A NIVEL DE POST - GRADO**



**DESARROLLO DE UN MODELO CONCEPTUAL
PARA EL DISEÑO DE MICROCENTRALES
HIDROELECTICAS CON FINES DE
DESARROLLO RURAL**

**ESTUDIO ESPECIAL PRESENTADO A LA ESCUELA
REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -**

**POR LA INGENIERA:
Rosa Adilia Martínez López**

COMO REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO ACADEMICO DE:

**MAESTRO (MAGISTER SCIENTIFICAE)
EN RECURSOS HIDRAULICOS**

Guatemala, Noviembre de 1996.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

08

+ (4076)

C.B

AGRADECIMIENTOS.

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico, por brindarme el apoyo moral y financiero para de realizar la maestría.

Al personal docente y administrativo de la escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos por su dedicación y esfuerzo en aportarnos sus conocimientos y en especial a su secretaria, Cony de Soto por su ayuda.

Un agradecimiento especial al Dr. Carlos Rivera Pomés, asesor del presente trabajo, por su ayuda, comprensión y paciencia.

Al ingeniero Roberto Conde y familia, por prestarme las condiciones necesarias en su finca para realizar el estudio de caso de mi estudio especial.

A Rony, por su apoyo y cariño

ACTO QUE DEDICO A:

Dios, nuestro señor.

Mi madre Lilliam López de Carrera.

Mi abuelito Lázaro Gutierrez.

Mis hermanas : Elena, Chepy, y Amanda.

Mis hermanos : Marvin, Denis, Ronaldo y Mariano.

Mis cuñados y cuñadas

Mis tios y tias, especialmente a mi tio Noel.

Toda mi familia

A Rony

A mi patria querida: Nicaragua.

INDICE GENERAL.

CONTENIDO.	PAGINA.
1.- INTRODUCCION	1
2.- OBJETIVOS	2
3.- JUSTIFICACION	2
4.- HIPOTESIS	3
5.- METODOLOGÍA	3
6.- ALCANCES	3
7.- RESUMEN	4
8.- SIMBOLOGÍA UTILIZADA	5
9.- GLOSARIO	6
10.- REVISION DE LITERATURA : MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS	
10.1.-Introducción	8
10.2.- Clasificación	8
10.3.- Ventajas y desventajas	12
10.4.- Estructuras principales que conforman	13
una central hidroeléctrica	
10.4.1.- Presa	14
10.4.2.- Canal de derivación	15
10.4.3.- Cámara de presión	16
10.4.4.- Tubería de presión	16
10.4.5.- Casa de máquinas	17
10.4.6.- Equipo hidráulico	
10.4.6.1.- Clasificación de las turbinas	19
10.4.6.2.- Gobernador de la turbina	21
10.4.7.-Equipo eléctrico	23
10.4.5.- Canal de desfogue	24
10.5.- Estudios básicos para el diseño de	
microcentrales hidroeléctricas	
Introducción	24
a) Aspectos socioeconómicos	24
b) Hidrología.....	25
b.1. Generalidades	25
b.2. Métodos de medición de caudales	26
b.3. Criterios de localización	29
de estaciones hidrométricas	
c) Hidráulica	29
d) Topografía	29
e) Geología	30
f) Uso del suelo	31
g) Medio ambiente	31

h) Planes y políticas de desarrollo integrado	32
11.- DEDUCCION DE LA ECUACION DE LA POTENCIA	32
12.- ANALISIS Y DETERMINACION DE LOS PARÁMETROS IMPLICADOS EN LA ECUACION DE LA POTENCIA	
12.1.- Caudal	36
12.2.- Carga o caída	38
12.3.- Diámetro	39
12.4.- Coeficiente de fricción	40
12.5.- Limitaciones en los valores admisibles de las pérdidas de carga	42
12.6.- Coeficiente de eficiencia del equipo electromecánico	43
13.- REFERENCIAS	45
14.- FLUJOGRAMAS DE TRABAJO PARA EL DISEÑO DE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS	47
15.- ESTUDIO DE CASO	
15.1. Descripción del área del estudio	50
15.2. Recolección de datos para el diseño	50
15.3. Determinación del caudal de la central	50
15.4. Determinación de la carga total	52
15.5. Determinación del coeficiente de eficiencia de la central	53
15.6. Características finales de la central	54
16.- DISCUSION DE RESULTADOS	55
17.- CONCLUSIONES	56
18.- RECOMENDACIONES	57
19.- ANEXOS.	

1. INTRODUCCION.

La energía eléctrica constituye uno de los factores primordiales que determinan el desarrollo de un país o región. Desafortunadamente la inversión que implica llevar este recurso hasta las zonas mas apartadas de una región es tan elevada, que no cualquier país está en capacidad de realizarla.

Así pues, en los países en vías de desarrollo, no existe una planificación integrada para todo el país, sino que, mientras las grandes ciudades se desarrollan "normalmente", las zonas rurales, a pesar de representar una muy importante fuente de riquezas (zonas agrícolas y ganaderas), quedan generalmente privadas del beneficio de la energía eléctrica.

Dada la necesidad de impulsar el desarrollo de las zonas rurales, y ante las dificultades expuestas anteriormente, mas las asociadas con el suministro y precios del petróleo, los países en vias de desarrollo, cada vez mas frecuentemente vuelven sus ojos hacia fuentes alternas de energía, que ademas de ser renovables y facilmente accesibles, impliquen una reducción en los costos que la puesta en marcha que un proyecto de esta naturaleza generaría.

Una alternativa viable para dotar a estas zonas de energía eléctrica a bajo costo lo constituyen las pequeñas (micro , mini) centrales hidroeléctricas. Estas, además de requerir una inversión no muy alta para su construcción, tambien permiten (gracias a la cercanía con que estan ubicadas de los puntos de consumo), reducir las pérdidas por transmisión, reducir el costo de transporte de energía, y una menor ocupación de las líneas existentes en el país.

Algunos de los factores que han limitado el desarrollo de las microcentrales hidroeléctricas lo constituyen: la carencia, en algunos casos total, de información básica hidrológica necesaria para su diseño y construcción, la preferencia por los proyectos de mayor magnitud por parte de las autoridades encargadas de la aprobación de los mismos, escasez de literatura sobre el tema, etc.

El presente trabajo contiene información general sobre el diseño de microcentrales hidroeléctricas: estudios necesarios, obras civiles e hidráulicas, equipo electromecánico, etc. Asi como tambien la deducción de la ecuación que sirve de base para la determinación de la potencia disponible y del equipo necesario para la generación de dicha potencia. Finalmente se presenta una guía fácil para el diseño de microcentrales y un estudio de caso como ejemplo de aplicación

2. OBJETIVOS

2.1 Generales:

- ◆ Desarrollar un modelo conceptual que permita en cada etapa y fase de estudio caracterizar las diferentes variables involucradas para el establecimiento de una microcentral hidroeléctrica.
- ◆ Sugerir una metodología sencilla de modelaje para ser usada como punto de partida en las alternativas hidroenergéticas para un país o región en vías de desarrollo.

2.2 Específicos:

- ◆ Aplicación de los conocimientos generales sobre hidrología, hidráulica, topografía etc. al diseño de microcentrales hidroeléctricas.
- ◆ Aplicación de métodos alternos de estimación cualitativa a bajo costo para la obtención de información hidrológica para el diseño de microcentrales en lugares donde la existencia de series de datos medidos es nula, evidenciando los criterios generales para la decisión del uso de los mismos.
- ◆ Proporcionar criterios generales de decisión sobre los tipos de estudio necesarios y la metodología apropiada para los mismos en el diseño de microcentrales hidroeléctricas.
- ◆ Aprender a optimizar los recursos disponibles en base a las condiciones de campo del proyecto y área en estudio.

3. JUSTIFICACION

- ⊛ La necesidad de promover la implementación de proyectos energéticos que aprovechen los recursos racionalmente donde quiera que estos se encuentren, a una escala adecuada y a un bajo costo relativo.
- ⊛ Los elevados y variables precios de los combustibles fósiles.
- ⊛ Existe mayor facilidad para conseguir financiamiento para proyectos pequeños con respecto a los de mayor magnitud, y mas si estos van dirigidos a impulsar el desarrollo de las zonas rurales.
- ⊛ Es necesario crear metodologías locales acorde con nuestra realidad.
- ⊛ El menor impacto que sobre el ambiente provocan estos proyectos en relación con los proyectos grandes, y la mayor facilidad para la regulación (manejo), del mismo.

- ⊛ La existencia de muy poca información sobre el tema de microcentrales hidroeléctricas.

4. HIPOTESIS

- ◆ Es posible desarrollar un modelo conceptual sencillo para el diseño de microcentrales hidroeléctricas, que pueda ser utilizado por profesionales con escasos conocimientos sobre el tema.
- ◆ La carencia de datos hidrológicos no debe ser una limitante para el desarrollo de un proyecto de microcentrales hidroeléctricas.

5. METODOLOGIA

- ⊛ Mediante la realización de la menor cantidad de estudios básicos (hidrológicos y topográficos), realizados de la forma más sencilla y al menor costo posible, obtener los parámetros necesarios (caudal y caída), para el diseño de una microcentral hidroeléctrica (determinación de potencia disponible, y equipo electromecánico necesario para la generación de dicha energía)
- ⊛ Partiendo de las ecuaciones de conservación de la masa y de cantidad de movimiento, desarrollar una ecuación que sirva de base para la determinación de la potencia en centrales hidroeléctricas, y del equipo necesario para la generación de la misma.
- ⊛ Realizar un análisis de cada una de las variables de la ecuación de la potencia aportando sugerencias de la forma más sencilla de calcularlas, para finalmente formular un algoritmo que permita de forma sencilla el diseño de microcentrales hidroeléctricas.

6. ALCANCES.

Si bien es cierto, el tema y la revisión de literatura en sí abarca las microcentrales hidroeléctricas en su generalidad, en nuestro trabajo nos limitamos a la parte comprendida entre la presa (si la central es con embalse), o la cámara de carga (si fuera a filo de agua) y la casa de máquinas; o sea nos centramos en la determinación de la potencia disponible, el equipo electromecánico, y los parámetros de la tubería forzada.

7. RESUMEN.

El presente estudio hace referencia a las microcentrales hidroeléctricas como una alternativa para abastecer de energía eléctrica a bajo costo a las zonas y regiones más apartadas de los países en vías de desarrollo.

El estudio pretende proporcionar una guía práctica, general y sencilla sobre el diseño de microcentrales hidroeléctricas, que pueda ser utilizada aún por profesionales que conozcan poco del tema, sabiendo del porqué de cada cálculo y de donde provienen las ecuaciones utilizadas y abarca una descripción general sobre las centrales hidroeléctricas de pequeño y mediano porte; clasificación, estructuras civiles e hidráulicas, equipo electromecánico, estudios necesarios para el diseño etc. para finalmente deducir la ecuación que sirve de base para la determinación de la potencia (según el caudal de río, y la caída en el punto de interés), del equipo electromecánico y el diámetro de la tubería forzada necesarios para la generación de dicha energía y dar una guía fácil para la determinación de los parámetros implicados en dicha ecuación.

Frente a la limitante (la cual es común en la mayor parte de los aprovechamientos de este tipo) de la falta de información básica hidrológica para el diseño, se intentó dar respuesta mediante combinación de la experiencia que especialistas en la materia, como lo son los asistentes al taller de micro centrales hidroeléctricas realizado en 1990 en Montevideo, Uruguay (ver ref 1) los cuales por ejemplo opinan que ante una marcada ausencia de datos hidrológicos se puede recurrir a la realización de aforos durante el período de estiaje asumiendo el promedio de los caudales resultantes del mismo como caudal de diseño para la operación de central siendo el error en que se incurre casi igual al caso de realizar estudios hidrológicos más científicos y de mayor costo, y de la aplicación de nociones básicas de hidrología (por ejemplo el concepto del balance hidrológico)

El estudio trata, como mencionamos anteriormente, de determinar, con la menor cantidad de estudios realizados, con el menor costo y de la forma más sencilla, el potencial de un río, y si este satisface los requerimientos de energía para los que se concibió.

7. SUMMARY.

The present study takes issue with the micro - hydropower plants as an alternative to supply of electrical energy to under cost to the more separated zones and regions of the countries in development process.

The study intends to provide a practical guide, general and simple on the micro - hydropower plants design, that could be used yet by professional that know little of the topic, knowing of the why of each calculation and of where originate the used equations and encompasses a general description on the hydropower plants of small and average freighthouse; classification, civil and hydraulic structures, electromechanical equipment, necessary studies for the design etc., for finally to deduce the equation that serves as base for the determination as the power (according to the river wealth, and the fall in the interest point), of the electromechanical equipment and the diameter as the necessary forced pipeline for such energy generation and to give an easy guide for the determination of the parameters implicate in such equation.

As compared to the limiting (the one which is common in the lion's share of the utilizations of this type) of the lack of hydrological basic information for the design, was attempted to give response through combination of the experience that specialists in the matter, as it are the attendees to the workshop of micro - hydropower plants accomplished in 1990 in Montevideo, Uruguay (to see ref 1), those which for example hold that before a labeled absence of hydrological data can be appealed to the appraisals accomplishment during the period of low water assuming the average of the resulting wealth of the same as design wealth for the operation of the central, being the mistake in which is incurred almost equal to the case of accomplishing hydrological studies more scientific and of greater cost; and of the application of basic hydrology notions (for example the hydrological balance concept)

The study tries, as we mentioned previously, first of all of determining, with the smaller quantity of accomplished studies, with the smaller cost and of the form but simple, the potential of a river, and this satisfies energy requirements for those which was conceived.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

RESUMEN

L'étude du présent fait référence des microcentrales hydroélectriques comme une alternative pour l'approvisionnement de l'énergie électrique à un coût bas pour les zones et les régions fluviales éloignées des pays - en voie de progrès.

L'étude prétend proposer une guide pratique générale et facile sur le dessin des microcentrales hydroélectriques quelque soit utilisé par les professionnels qui connaissent le thème, à savoir que chaque calcul et de lui provient l'équation utilisée y a une description générale sur les centrales hydroélectriques de petit est moyen débit; classification, structure civile et hydraulique, équipement électromécanique, études nécessaires pour les dessins etc. finalement déduire l'équation qui servent de base pour la détermination de la puissance (selon le débit de la rivière, et la hauteur au point d'intérêt), l'équipement électromécanique, le diamètre des tubes forcés nécessaires pour la génération de l'énergie et avoir un guide facile pour la détermination des paramètres impliqués dans l'équation.

Devant la limite (laquelle est commune dans la plupart des cas d'exploitation de ce type) de la faute d'information de base hydrologique pour le dessin, ont essayé donner des réponses à base d'une combinaison d'expérience que l'expert dans la matière comme les assistants au atelier des microcentrales hydroélectriques réalisés en 1990 à Montevideo, Uruguay (voir référence 1) les quelques par exemple opine que devant la réalisation du jaugeage pendant la période de débit assumer le pourcentage du débit résultant du même comme débit du dessin pour l'opération, la centrale quoi - qui le soit l'erreur que commettre par ailleurs au cas des réalisations études hydrologiques plus scientifiques est plus chère, est l'application des notions de base d'hydrologie (par exemple les concepts du bilan hydrologique).

L'étude traite comme mentionnées antérieurement, sur tout déterminé, avec la moindre quantité d'études réalisées, avec un coût moyen est la forme la plus facile, le potentiel d'une rivière, est satisfaisant les exigences d'énergie pour ce qui a été fait.

8. SIMBOLOGIA UTILIZADA .

Simbolo	Denominación	Unidades(S.I)	Dimensiones
F	Fuerza	N (newton)	MLT^{-2}
m	Masa	Kg (kilogramo)	M
L	Longitud	m (metros)	L
t	Tiempo	s (segundos)	T
v	Velocidad	m / s	LS^{-1}
	Densidad	kg / m ³	ML^{-3}
Γ	Peso específico	N / m ³	$ML^{-2}T^{-2}$
A	Area	m ²	L ²
τ	Esfuerzo cortante	Pa (pascal)	$ML^{-1}T^{-2}$
g	Aceleración de la gravedad	m / s ²	LT^{-2}
p	Presión	Pa (pascal)	$ML^{-1}T^{-2}$
Q	Caudal, descarga	m ³ / s	L^3T^{-1}
V	Volúmen	m ³	L ³
H, Z	Alturas	m (metros)	L
D	Diámetro	m (metros)	L
f	Coefficiente de fricción	ninguna	-
P	Potencia	Kw	ML^2T^{-3}
n	Coefficiente de eficiencia	ninguna	-
E	Escoorrentía	mm (milímetros)	L
I	Infiltración	mm (milímetros)	L
	Viscosidad cinemática	m ² / s	L^2T^{-1}
K	Aspereza absoluta de la tubería (altura de rugosidad)	m (metros)	L
R	Número de Reynolds	ninguna	-

9. GLOSARIO.

- ▶ Gaviones - Estructura compuesta por un cajón de malla relleno de piedras. Por su bajo costo, los gaviones son utilizados en la construcción de pequeñas presas, muros de contención etc.



Fig. # 1: Gaviones

- ▶ Canal cerrado - Es utilizado principalmente en terrenos con fuerte pendiente y representa un canal cuya parte superior dispone de una cubierta que lo protege de azolverse a causa de deslaves.

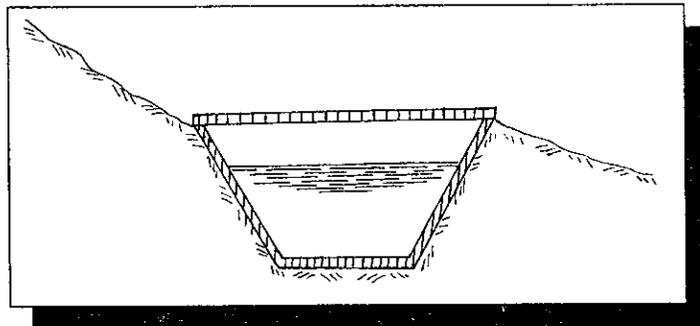


Fig. # 2 : canal cerrado

- ▶ Carga (caída) bruta - Es la diferencia total entre el nivel superficial del agua en el embalse y el canal de desfogue.

- ▶ Canal de desfogue - Estructura, por medio de la cual el agua es devuelta a su cauce en el río, una vez que ha sido utilizada por la turbina.
- ▶ Rodete - Es la parte de la turbina encargada de la transformación de la energía cinética del agua en energía mecánica.

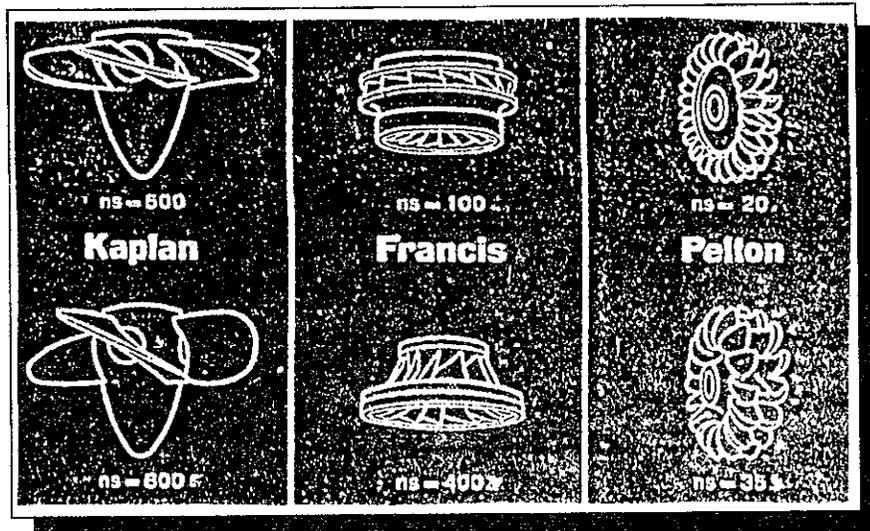


Fig. # 3
Tipos de rodetes de turbinas y sus correspondientes velocidades específicas

- ▶ Golpe de ariete - Cuando se coloca un obstáculo repentinamente sobre el flujo libre del agua en una tubería o canal, inmediatamente se produce una onda hacia atrás, la cual hace que la presión en esta parte aumente, pudiendo producir rupturas en la tubería. A este fenómeno se le llama "golpe de ariete".
- ▶ Potencial teórico - del flujo. Es la potencia neta del río que puede ser aprovechada para la generación de energía, o sea la potencia a la entrada de la turbina.
- ▶ Velocidad específica - de rotación. Representa la velocidad de rotación de una turbina que trabaja con una carga o caída de 1 mt. y produce una potencia de 1 Kw.
- ▶ Curva de duración - de caudales. Análisis hidrológico que permite conocer la frecuencia con que se presentan los diferentes caudales de un río en un período dado.
- ▶ Análisis de caudales - extremos. Es un estudio hidrológico probabilístico por medio del cual, se pueden determinar, los caudales máximos o mínimos, que pueden ocurrir en un determinado período.

10. REVISION DE LITERATURA: CENTRALES HIDROELECTRICAS DE PEQUEÑO Y MEDIANO PORTE.

10.1 INTRODUCCIÓN

Las centrales de pequeño y mediano porte no constituyen algo nuevo para nuestros países, pues su implementación data de más de medio siglo. A pesar de esto la información sobre la tecnología para el desarrollo de las mismas es muy escasa, lo cual se debe principalmente a que por su capacidad de generación pueden satisfacer demandas de usuarios individuales y de pequeñas industrias pero difícilmente pueden comprender servicio público de mayor envergadura.

10.2 CLASIFICACIÓN

Las minicentrales hidroeléctricas pueden clasificarse de la siguiente manera:

1.- Según su porte y capacidad promedio:

Se conoce como centrales hidroeléctricas de mediano y pequeño porte a aquellas que tienen una capacidad promedio de generación menor a los 5000 kw clasificándose de la siguiente manera:

Microcentrales - plantas de menos de 50 kw
Minicentrales - plantas de 50 a 500 kw
Pequeñas centrales - plantas de 500 a 5000 kw

2.- Según su captación (ver pags.9, 10 y 11)

a) Minihidroeléctricas de agua corriente (a filo de agua)

Utiliza el flujo disponible en el río en estado natural, sin regulación.

- ⊛ Con derivación (canal de derivación).
- ⊛ Sin derivación (casa de máquinas al pie de la presa).

b) Minihidroeléctricas de agua embalsada

Están dotadas de embalses artificiales en donde se acumula el agua para ser utilizada posteriormente según las necesidades de generación, o sea existe una regulación del caudal a ser utilizado.

- ⊛ Minihidroeléctrica con derivación (galería de presión).
- ⊛ Minihidroeléctrica sin derivación (casa de máquinas al pie de la presa).

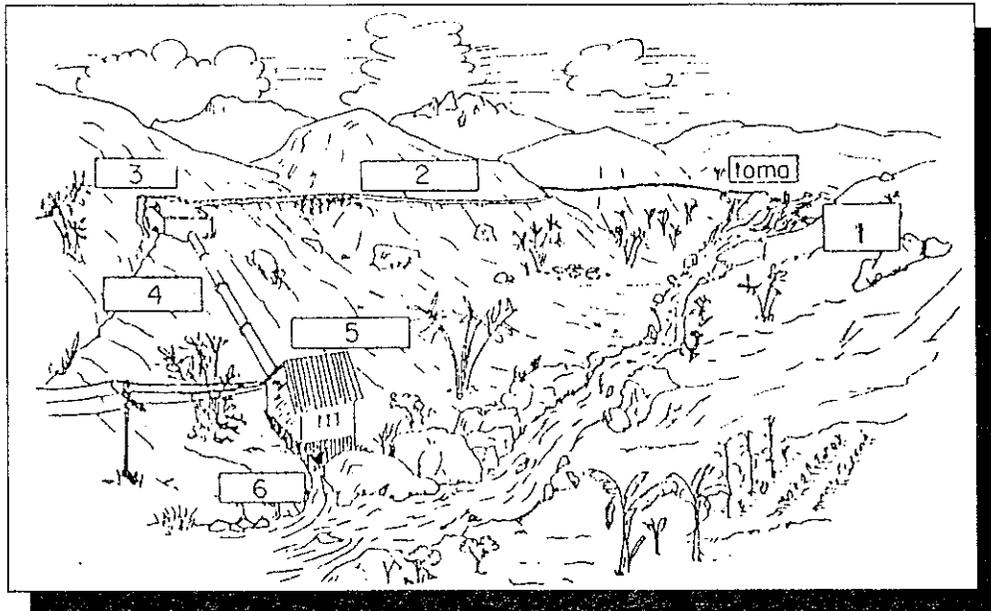


Fig. # 4a

Minihidroeléctrica de agua corriente con derivación
 1. toma, 2. canal de derivación, 3. cámara de presión.
 4. tubería de presión, 5. casa de máquinas, 6. desfogue.

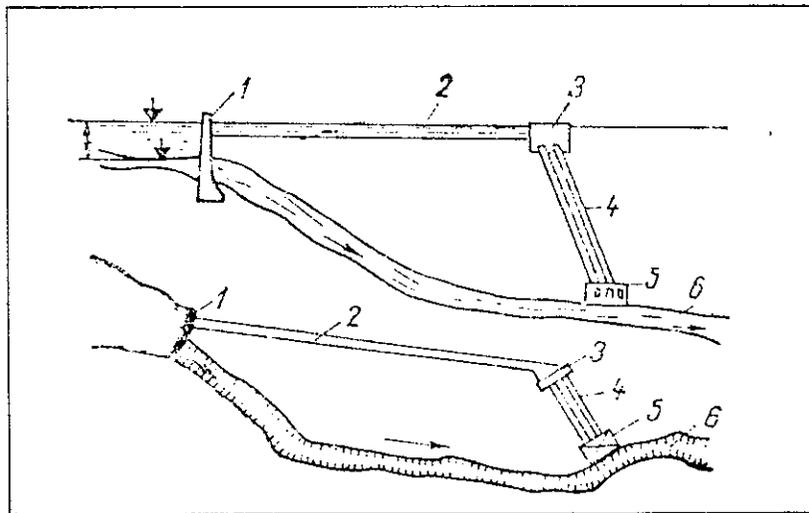


Fig. # 4b

Esquema de una minihidroeléctrica de agua corriente con derivación
 1. presa derivadora, 2. canal de conducción, 3. cámara de presión
 4. tubería de presión, 5. casa de máquinas, 6. río

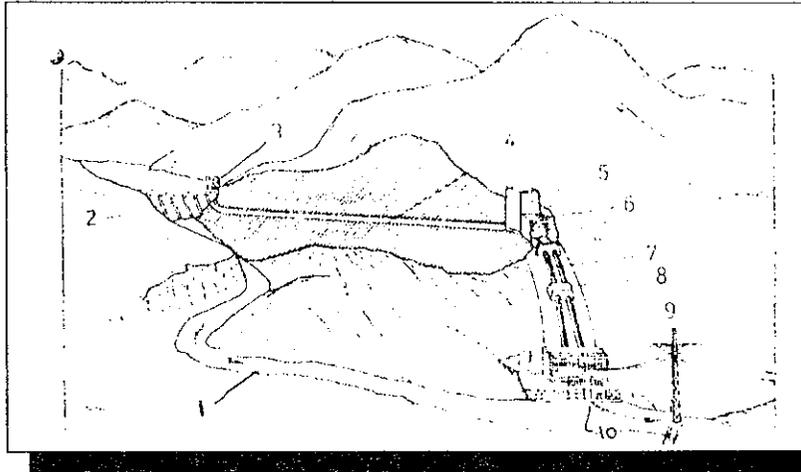


Fig. # 5a

Minihidroeléctrica de agua embalsada con derivación

- 1. presa 2. toma 3. tunel o galería de presión,
- 4. cámara de presión 5. tubería de presión,
- 6. casa de máquinas, 7 desfogue.

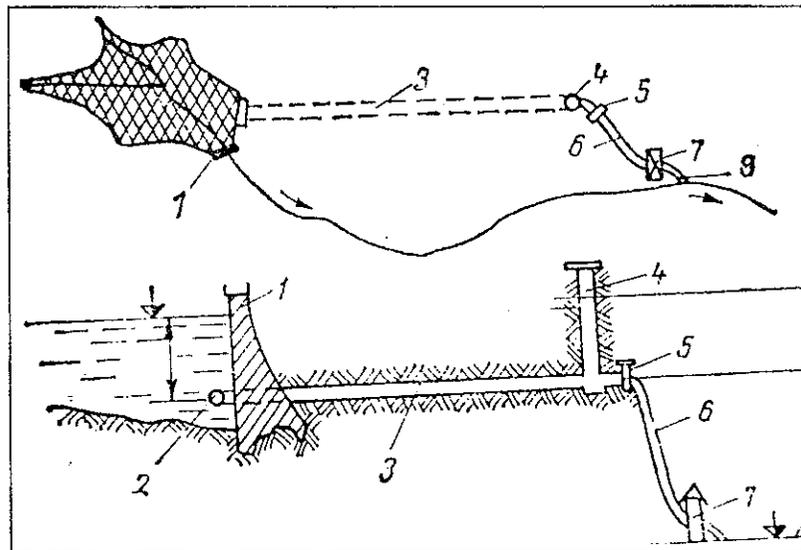


Fig. # 5b

Esquema de una minihidroeléctrica de agua embalsada con derivación

- 1. río, 2.presa, 3. toma, 4. galería de presión, 5. chimenea de equilibrio,
- 6. cámara de válvulas, 7.tubería de presión, 8. casa de máquinas

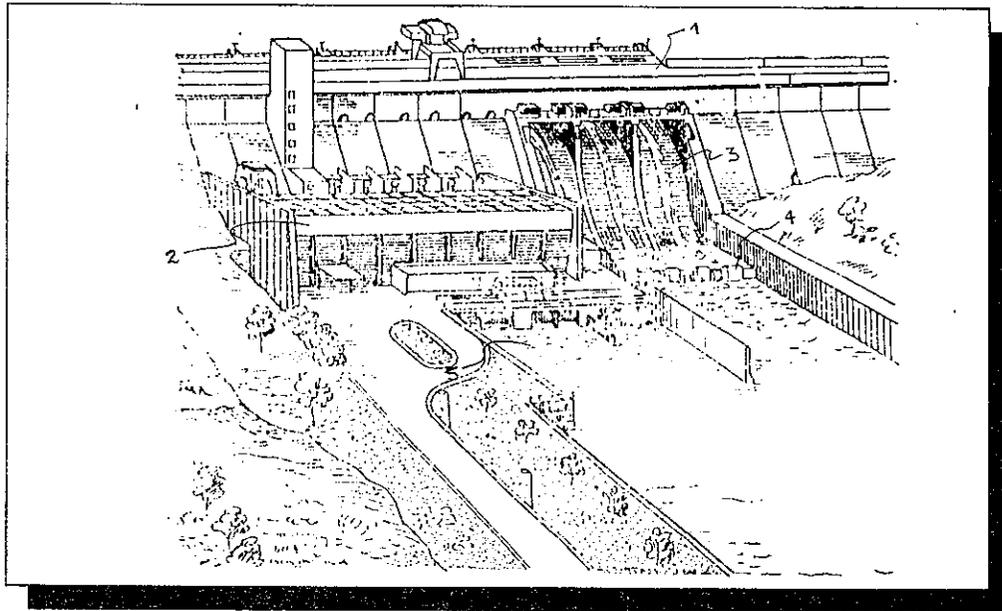


Fig. # 6a
 Minihidroeléctrica de agua embalsada sin derivación
 1. presa, 2. casa de máquinas 3. vertedero
 de demasías, 4. disipadores de energía.

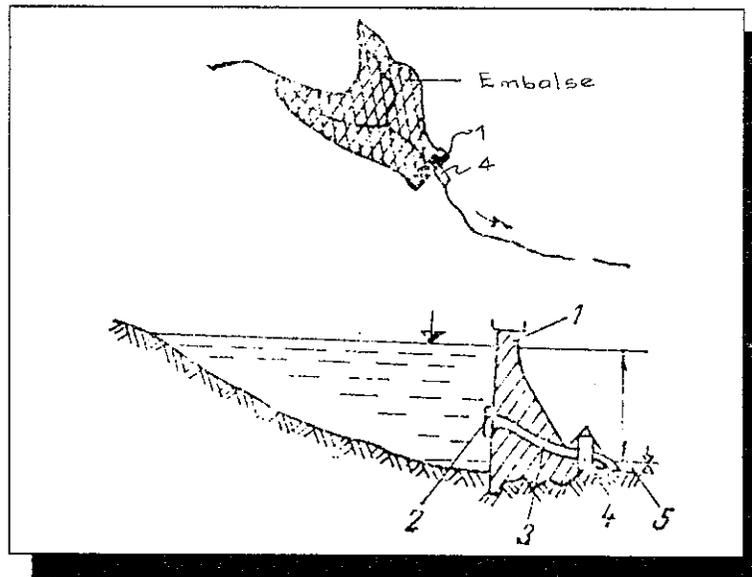


Fig. # 6b
 Esquema de una minihidroeléctrica de agua embalsada sin derivación
 1. presa, 2. casa de máquinas, 3. vertedero de demasías,
 4. disipadores de energía

3.- Según su regulación

- a) Regulable (ver pag. 21 - 23 : gobernadores con control del caudal al ingreso de la turbina)
 - ✧ De regulación manual
 - ✧ De regulación automática : utilización de gobernadores óleo - mecánicos o eléctrico - electrónicos.
- b) De carga constante - por naturaleza propia de la carga o por disipación del exceso de energía (ver pag. 23 utilización de gobernador eléctrico - electrónico con disipación de energía).

4.- Según su vinculación al sistema eléctrico:

- a) centrales aisladas - Abastecen directamente al consumidor y no están incorporadas a ningún sistema eléctrico, ni regional ni nacional.
- b) centrales integradas a pequeños sistemas eléctricos - Están conectadas a la red del sistema eléctrico local, o sea de algún pueblo cercano.
- c) Centrales integradas a grandes redes zonales o nacionales

5) Según su concepción tecnológica

- a) Centrales con tecnologías convencionales: Son aquellas en las cuales todas las estructuras y equipo son diseñados y construidos con los más exigentes criterios de calidad, e implican un alto costo.
- b) Centrales con tecnologías no convencionales : Frecuentemente emplean estructuras ya existentes las cuales pueden ser mejoradas o reacondicionadas de acuerdo a su nuevo uso. El equipo electromecánico generalmente es de fabricación local, o sea, se hace uso de una tecnología acorde al nivel de desarrollo industrial del país y considerando la disponibilidad de materiales nacionales.
(Ref 1 y 2)

10.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS MEDIANAS Y PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS CON RESPECTO A LAS TERMoeLECTRICAS.

10.3.1 Ventajas :

- Uso de tecnología local - Toda o casi toda la maquinaria hidráulica necesaria puede ser diseñada y construida localmente.

- No se requiere el uso de divisas para la importación de repuestos, además éstos podrían ser de fácil obtención.
- Requiere menos calificación para el personal de mantenimiento y reparación.
- Probable vida útil mayor en comparación con las termoeléctricas.
- Contribuyen a disminuir la demanda y dependencia del petróleo.
- No producen mayor contaminación en el medio ambiente
- Bajo costo de transmisión debido a su aplicación en sitios cercanos a la fuente de consumo.
- Bajas pérdidas de carga por transmisión
- Puede compatibilizarse con el uso de agua para otros usos: riego, abastecimiento de agua potable etc.
- Realizan su función mediante el aprovechamiento de una fuente de energía renovable

10.3.2 Desventajas :

- Mayor inversión inicial en los estudios básicos.
- Mayores requerimientos de estudio para su diseño, construcción e instalación.
- Mayor tiempo para la construcción de las obras necesarias para su puesta en funcionamiento
- La producción puede verse afectada por cambios meteorológicos y estacionales.
- Su aplicación está condicionada a la disponibilidad de recursos ubicados en proximidad con los puntos de demanda
- Es necesario prever eventuales contradicciones en las prioridades del uso del agua.
(Ref 2,)

10.4 **ESTRUCTURAS PRINCIPALES QUE CONFORMAN UNA CENTRAL HIDROELECTRICA**

Las pequeñas y medianas centrales hidroeléctricas están constituidas por una serie de obras civiles, equipo hidráulico y electromecánico por medio de los cuales se transforma la energía del agua en energía mecánica y posteriormente en eléctrica.

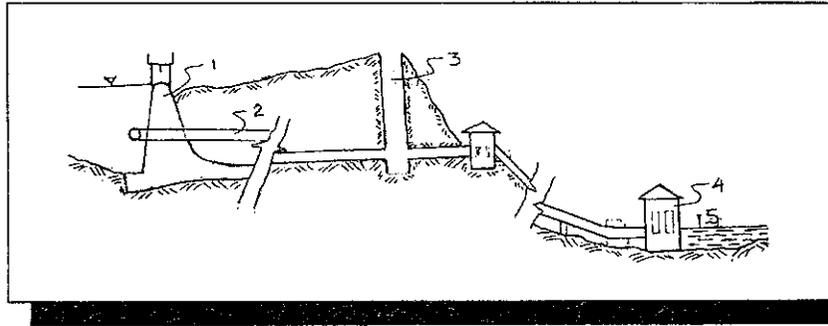


Fig. # 7a
 central hidroeléctrica con galería de presión
 1. presa, 2. galería de presión, 3. chimenea de equilibrio
 4. casa de máquinas, 5. desfogue

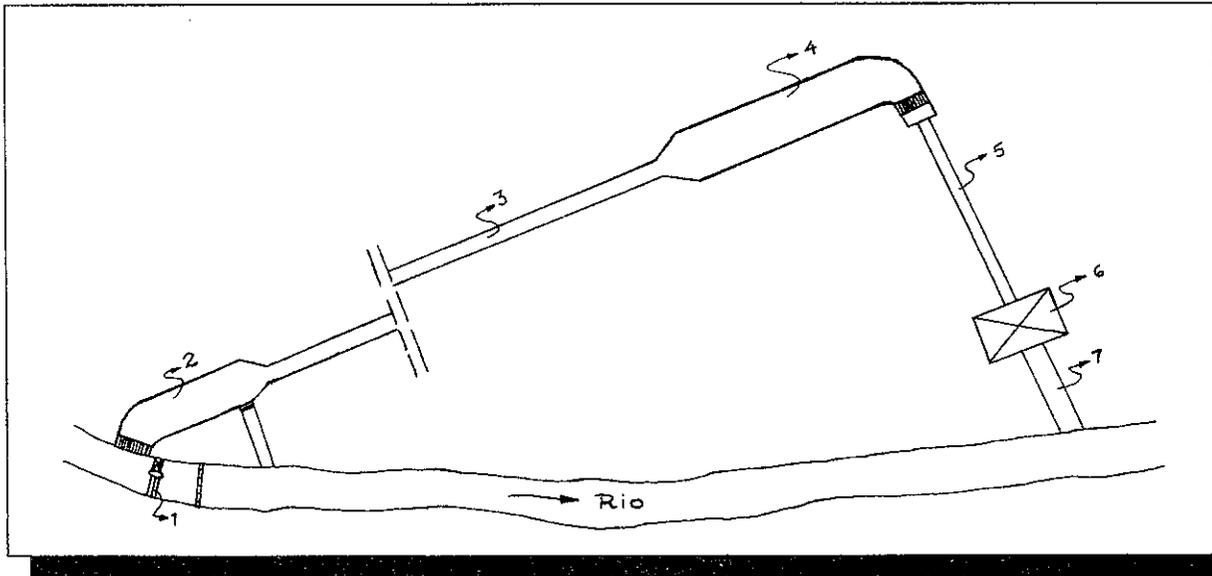


Fig. # 7b
 central hidroeléctrica con canal de derivación
 1. presa derivadora, 2. desarenador, 3. canal de derivación
 4. cámara de presión, 5. tubería de presión, 6. casa de máquinas
 7. desfogue

Las obras principales que conforman una central hidroeléctrica son:

10.4.1. Presa:

De acuerdo con su función puede ser: de derivación (desviación) o de almacenamiento. El sitio y tipo de presa para el diseño dependerán de las condiciones topográficas y los estudios geológicos del terreno. Los tipos de presa generalmente usados son: de gravedad, de tierra, de enrocado y de mampostería

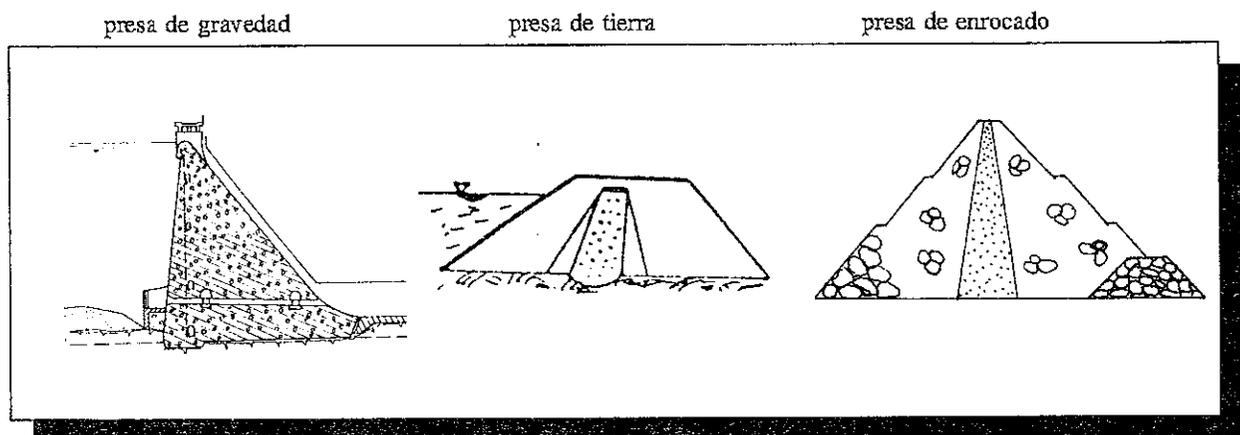


Fig. # 8

Aunque generalmente para pequeñas centrales se utilizan las presas de gravedad de concreto, también se pueden utilizar las de gravedad construidas con gaviones. Esto reduce aún más el costo de construcción al poder utilizar el material arrastrado por la corriente del río en época de crecidas.

Un elemento muy importante que no debe pasar desapercibido son las estructuras auxiliares de la presa:

- Vertedero de demasías - Estructura por medio de la cual, son evacuados del embalse, los volúmenes de agua que superan la capacidad del mismo (ver fig # 6).
- Disipadores de energía - Estructura (generalmente bloques colocados después del vertedor de demasías) destinada a disminuir la energía cinética del agua, una vez que esta ha pasado a través del vertedor de demasías, evitando que se erosionen las zonas cercanas a la presa y al vertedor mismo.

Estos le dan consistencia a la presa y la protegen en períodos de crecidas.

10.4.2. Canal de derivación (Fig. # 7)

Conduce el agua desde la obra de toma hasta la cámara de presión, éstos pueden ser a cielo abierto o cerrado. En la construcción en micro y minicentrales hidroeléctricas con galería de presión, los canales son sustituidos por galerías (túneles) que conducen el agua hasta la chimenea de equilibrio.

10.4.3. Cámara de presión ó chimenea de equilibrio (ver fig. # 7)

Está constituida por un depósito del cual arranca la tubería forzada (a presión). Sus principales funciones son:

- Absorber y amortiguar el efecto del golpe de ariete que se produce en el sistema como resultado de una repentina puesta en función (o salida de funcionamiento) de una o todas las unidades de turbomaquinaria.
- Asegurar un equilibrio hidráulico contra las pequeñas oscilaciones en el sistema, producto de una variación (aumento o disminución) de la demanda de generación (carga).

En muchos casos, por razones económicas, se puede utilizar una combinación desarenador - cámara de presión (carga). Esto es posible ya que al pasar de la derivación a la cámara de presión, se produce un ensanchamiento en la sección lo que provoca la disminución de la velocidad del fluido, y por ende el asentamiento de las partículas, que es precisamente la función del desarenador.

10.4.4. Tubería de Presión (Fig. # 7).

Conducto por el cual el agua pasa de la cámara de carga, a las turbinas ubicadas en la casa de máquinas. Estos deben ser diseñados para resistir las presiones estáticas más las presiones transitorias debido a cambios súbitos en la carga (golpe de ariete). Con el fin de soportar el golpe de ariete máximo permitido en minihidroeléctricas la tubería debe poseer una presión nominal del orden de un 30% más del salto bruto. Esta sobrepresión, producto del golpe de ariete puede ser controlada por medio de la determinación del tiempo de cierre apropiado en el regulador o gobernador (ver pag 34). (Ref 2)

La tubería de presión está constituida generalmente por tubos de acero, concreto, polietileno, PVC, asbesto-cemento, etc. Estos pueden estar a flor de tierra (sobre anclajes), ó enterrados. La decisión del tipo de tubos a utilizar se basa en un estudio (evaluación) de la conveniencia técnico-económica de utilizar los tipos anteriormente mencionados, de acuerdo con las condiciones del proyecto a construir, presión y de la geología del terreno.

10.4.4.1. Estructuras auxiliares o complementarias de la tubería de presión.

- a) **Válvulas** - Se utiliza para controlar el flujo en la tubería. A nivel general debe de funcionar en forma hermética, rápida y segura. Su ubicación más comun es:

- ⊙ Al inicio de la tubería - Saca de funcionamiento la tubería en caso de reparación o mantenimiento en la misma. También regula el caudal en caso de iniciar la puesta en marcha de esta tubería ya que un llenado demasiado rápido puede ser peligroso (dañino) tanto para la misma como para las turbinas.
- ⊙ Al final de la tubería - Se colocan inmediatamente antes de cada turbina (en caso de más de 1 turbomaquinaria) y nos aseguran la posibilidad de sacar del sistema una de éstas sin afectar el funcionamiento de las demás. En un sistema con una única turbina, permiten, en caso de estar la turbina fuera de servicio, que la tubería se mantenga llena (a presión) y lista para comenzar a funcionar en el momento de entrada en función de la turbina.
- b) **Apoyos y anclajes.**- Generalmente cuando la tubería forzada es a flor de tierra, ésta es colocada sobre apoyos y anclajes. Tomando en cuenta que la tubería está sometida a diversos requerimientos estructurales, los apoyos y anclajes deben de diseñarse de manera que aseguren la tubería contra volcamiento, deslizamiento, etc. y tengan suficiente capacidad portante.
- c) **Rejillas.**- Elemento de protección que evita el ingreso de basura y material flotante a la tubería de presión y por consiguiente a las válvulas de las turbinas, que de lo contrario podrían afectar estos mecanismos. Se coloca de la salida de la cámara de carga (entrada de la tubería de presión).

10.4.5. Casa de Máquinas (ver fig. # 7)

Es una estructura que aloja en su interior la maquinaria (equipo) hidráulica y eléctrica necesaria para transformar la energía del agua en eléctrica. Su tamaño y diseño dependen de la potencia a ser instalada, ya que ésta dicta las dimensiones y cantidad de unidades (turbinas) a ser instaladas. Su construcción puede realizarse con cualquier material dependiendo de la disponibilidad de recursos.

10.4.6. Equipo Hidraulico - Turbina (Fig. # 9).

Es la maquinaria que transforma la energía del agua en mecánica y la selección de la misma se basa en 3 parámetros:

1. Caudal
2. Salto
3. Potencia

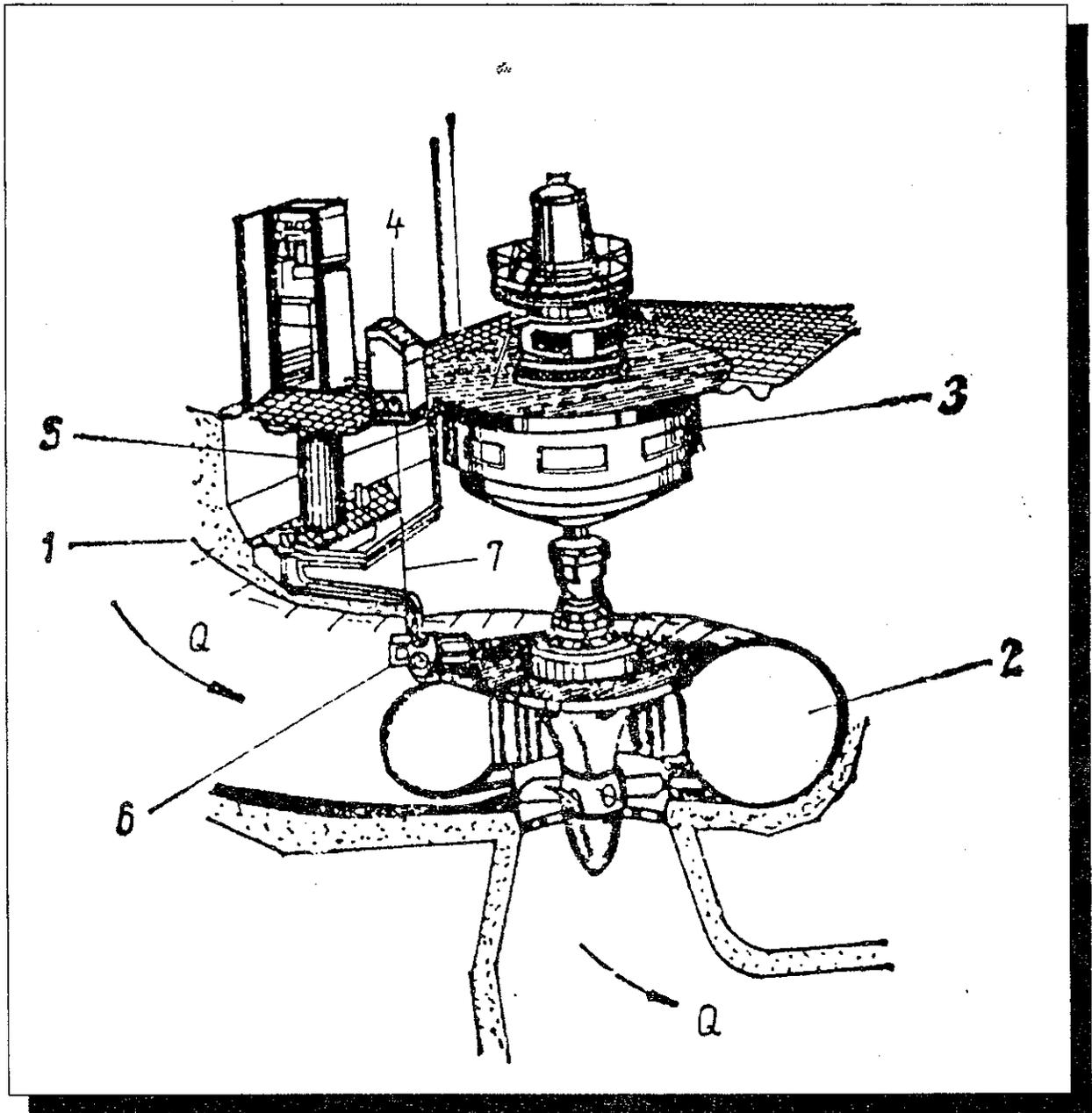


Fig. # 9

Equipo electromecánico.

1. Tubería de presión.
2. Turbina.
3. Generador.
4. Regulador de velocidad ó gobernador
5. Mecanismo de lubricación.
6. Mecanismo de restitución del gobernador.

10.4.6.1. Clasificación de las turbinas.

En dependencia de la forma en que el agua actúa sobre la turbina para mover sus aspas diferenciamos:

a) **Turbinas reactivas:** Utiliza tanto la presión como la velocidad del agua dentro de la cámara de la turbina y entre las aspas para hacerlas girar. Reconocemos:

- ☉ Turbinas Francis: se utilizan para saltos de mediana altura y variaciones moderadas del caudal.

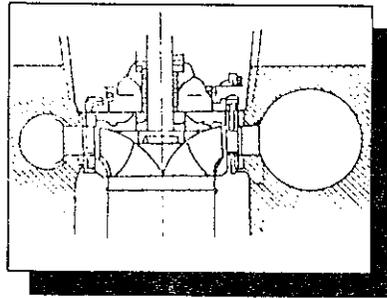


Fig. # 10

- ☉ Turbinas Kaplan y hélice: Utilizadas en casos de saltos pequeños y caudales variables.

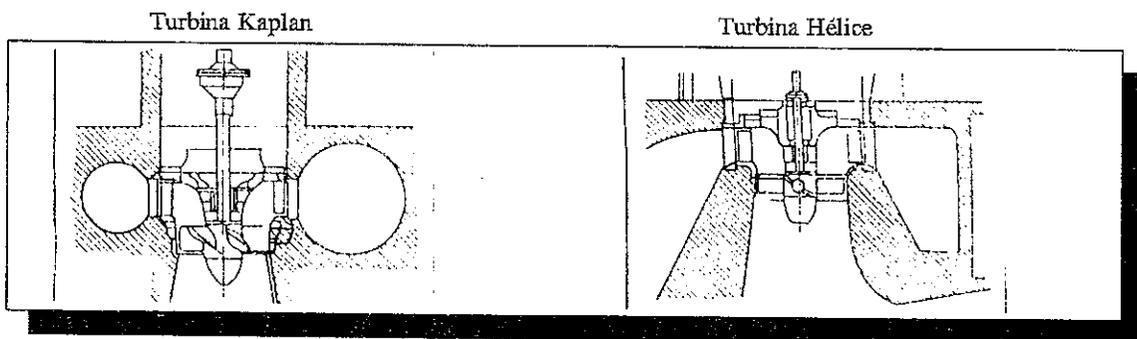


Fig. # 11

b) **Turbinas de acción ó impulso:** Utiliza solamente la velocidad del flujo para hacer girar las cucharas de la turbina. Hacia este tipo de turbinas podemos incluir:

- ☉ Turbinas Pelton (flujo tangencial): Aprovecha grandes saltos y caudales reducidos.

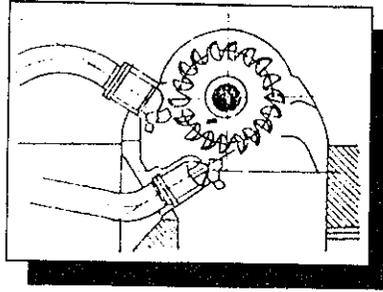


Fig # 12

- ☉ Turbinas Michel Banki (flujo transversal) : Trabaja principalmente con saltos y caudales medianos

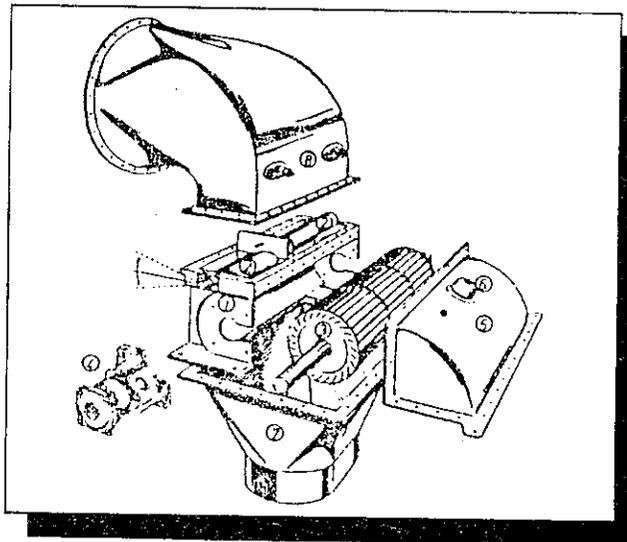


Fig. # 13

En dependencia de la disposición del eje de la turbina distinguimos:

- a) Turbinas de eje vertical.
- b) Turbinas de eje horizontal.

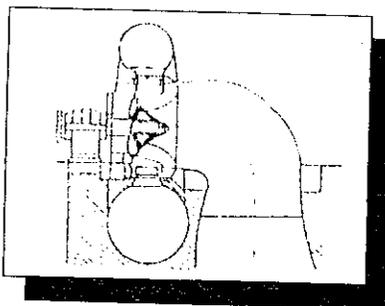


Fig. # 14 : Turbina de eje horizontal

La última se utiliza de preferencia en las centrales de pequeño porte o sea para pequeñas potencias. Tiene como ventaja un rápido y sencillo montaje y desmontaje del rodete para su revisión.

Otros factores complementarios que determinan la elección final entre los diferentes tipos de turbina son:

- Espacio disponible
- Velocidad de rotación.
- Condiciones hidráulicas
- Rendimientos
- Costos etc.

Con el tipo de turbina seleccionada se determina automáticamente el **Regulador de velocidad** o **Gobernador** de la turbina.

10.4.6.2 **Gobernador de la turbina.**

El gobernador de una turbina es un servomecanismo diseñado para regular la velocidad de giro de la turbina y consecuentemente, mantener la frecuencia de la energía eléctrica generada dentro de un rango deseado. Esto se realiza por medio del incremento o reducción del caudal de agua a la entrada de la turbina, para mantener un balance entre la potencia de entrada y la demandada. Los tipos de gobernadores conocidos son: Oleo - mecánico con regulación de flujo, eléctrico - electrónico con regulación de flujo y eléctrico - electrónico con disipación de energía.

◆ **Gobernador oleo mecánico.**

La acción fundamental de este gobernador, mostrada diagramáticamente en la figura # 16 . es la siguiente: Un cambio repentino en la carga demandada causa un cambio en la posición de los "rotating flyballs". Este cambio provoca que la

válvula de control descienda, permitiendo la entrada de aceite bajo presión dentro del cilindro (s) reguladores. Estos a su vez causan el movimiento del pistón del servomotor conectado a la válvula reguladora de caudal de la turbina. Este movimiento es transmitido de regreso a la válvula de control a través del mecanismo de restitución, llevando la misma a su posición original (neutral) después de que la válvula de regulación de caudal ha sido movida (abierta) lo suficiente para compensar el cambio en la carga.

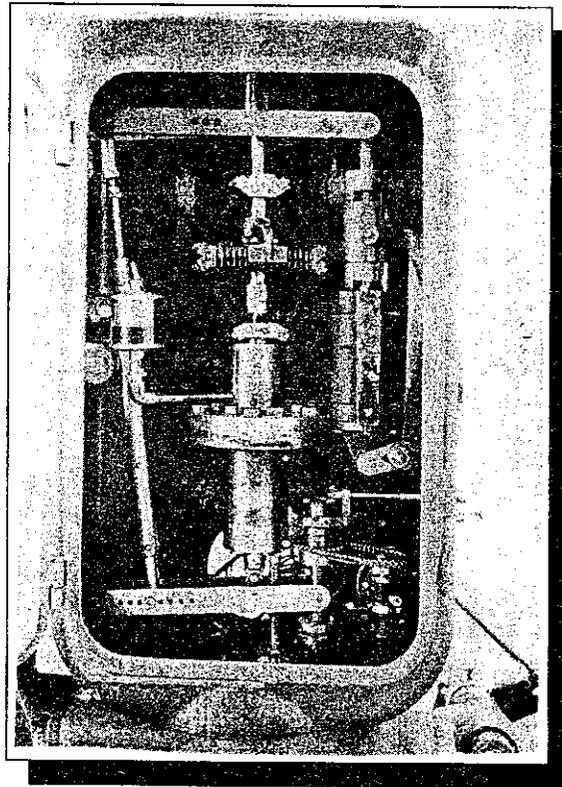


Fig. # 15 : Gobernador óleo mecánico

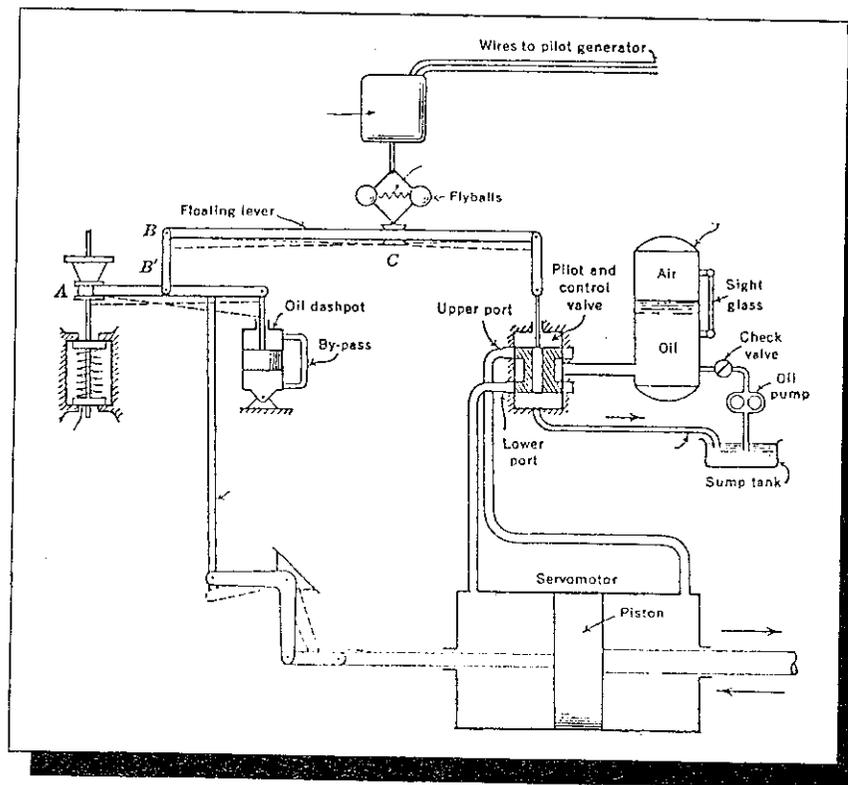


Fig # 16 : Diagrama de funcionamiento del gobernador

◆ **Gobernador electrico - electrónico con regulacion de flujo**

Esta formado por un dispositivo electrónico, encargado de captar la variación de velocidad de la turbina, en base a la variación de frecuencia de generación que ocurre al presentarse una variación de carga y un motor eléctrico que acciona un mecanismo produciendo la apertura o cierre de la válvula reguladora de flujo de la turbina. al girar en un sentido u otro.

◆ **Gobernador eléctrico - electrónico con disipación de energía.**

Esta formado por un dispositivo electrónico, encargado de captar la variación de la velocidad de la turbina en base a la variación de la frecuencia generada y un sistema de resistencias eléctricas que aumentan o disminuyen la carga de la turbina, trabajando ésta siempre con plena apertura.

10.4.7. Equipo Eléctrico - Generador. (ver Fig # 9)

Es la maquinaria que transforma la energía mecánica de las turbinas en energía eléctrica. Se distinguen 2 tipos de generadores:

- ♦ **Generador Síncrono o alternador** - Mas frecuentemente empleado en microcentrales hidroeléctricas.
- ♦ **Generador Asíncrono o de inducción** - Son motores de inducción que operan como generadores en forma autónoma o en paralelo con un alternador.

10.4.7. Canal de desfogue (ver fig. # 6).

Una vez concluida la función de transmitir su energía al sistema Turbina - Generador, el agua debe ser devuelta nuevamente a su cauce natural. Para esto es necesario la construcción de una estructura que a continuación de la casa de máquinas permita este paso. Esta estructura; generalmente canal, puede ser con o sin recubrimiento pero se deben tomar las medidas necesarias en la salida de la casa de máquinas para evitar que el agua socave esta zona con peligro para la cimentación.

10.5. ESTUDIOS BÁSICOS PARA EL DISEÑO DE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS:

INTRODUCCION

Como ya mencionamos anteriormente los estudios necesarios para el diseño de centrales hidroeléctricas consumen una buena parte de la inversión total para la ejecución del proyecto. En el caso específico de centrales hidroeléctricas de pequeño y mediano porte se debe tener especial cuidado en adecuar los requerimientos de estudio a las dimensiones de las mismas, sin que esto afecte la seguridad del proyecto.

Los requerimientos técnicos básicos de estudio para el diseño de centrales hidroeléctricas de pequeño y mediano porte son:

- a) Aspectos socioeconómicos
- b) Hidrología
- c) Hidráulica
- d) Topografía
- e) Geología
- f) Uso del suelo
- g) Medio ambiente
- h) Planes y políticas de desarrollo integrado.

a) ASPECTOS SOCIOECONOMICOS.

El objetivo principal de este estudio es la determinación de información básica sobre requerimientos y demanda energética. En el se deberá incluir la cantidad de habitantes o número de familias de la localidad a ser servida, sus principales actividades productivas, niveles de ingreso, servicios de que disponen (agua potable, energía escuelas etc.), información histórica

sobre su crecimiento etc., y una tipificación de posibles niveles de satisfacción de necesidades energéticas. El estudio permitirá, además de la determinación de la demanda, establecer un estimativo de la capacidad de pago posible de las comunidades, lo que aunado al estudio económico del proyecto (Relaciones Beneficio / Costo, Costo / eficiencia, y TIR), permitirán el establecimiento de la tarifa por el servicio. El estudio también permitirá la realización de un análisis de simultaneidad en el consumo de energía, en caso que la microcentral no tenga la capacidad suficiente para suplir las necesidades existentes y se realiza por medio de la encuesta directa (total o muestra suficientemente grande según el tamaño de la población) y con el auxilio de la socio - cartografía. El producto es un juego de planos en donde todo lo anterior se integra en un sistema de información cartográfica (G.I.S. por sus siglas en inglés)

b) HIDROLOGIA.

b1) Generalidades.

Los resultados de los estudios hidrológicos representan uno de los datos básicos más importantes para el diseño de centrales hidroeléctricas; ellos caracterizan la dimensión y régimen del río en estudio (cantidad de agua y su distribución en el tiempo).

El objeto principal de los estudios hidrológicos para microcentrales hidroeléctricas es estimar los caudales aprovechables para la generación de energía, y los necesarios para el diseño de las obras civiles. Esto se hace generalmente determinando caudales promedios y caudales extremos (máximos y mínimos).

Es de considerar sin embargo que el caudal de un río es variable a través de las diferentes estaciones del año y que además hay años de abundancia de agua y años de sequía, por lo que para optimizar el uso del agua para la generación eléctrica es recomendable diseñar la planta para caudales intermedios entre Q_{max} y Q_{min} . En Microcentrales hidroeléctricas generalmente se utiliza como caudal de diseño aquel que es excedido durante el 80 a 95% del tiempo (Ref 1 y 2). Los caudales extremos son también necesarios de determinar para realizar el dimensionamiento de las obras de desvío, conducción y obras de protección (vertederos, sedimentadores, etc.).

Naturalmente la existencia de datos confiables y representativos de las condiciones predominantes en el área de estudio es decisivo para realizar un análisis hidrológico. En este sentido encontramos dos casos:

1. Que la existencia de información sea muy poca y en algunos casos nula en el punto de interés. En este caso se utilizan métodos indirectos para la obtención de la misma: determinación y aplicación de valores índices, establecimiento de similitud entre las subcuencas y las cuencas principales, extrapolación y relleno de datos faltantes, modelos hidrológicos de generación de caudales (como por ejemplo el SNSF noruego, el HVB sueco), utilización de técnicas de regresión, etc., y luego se realiza el análisis estadístico para la determinación de los caudales. (Ref 1 y 2)

2. Se cuenta con suficiente información hidrológica, con lo que solamente resta realizar el análisis numérico para la determinación de los caudales. En la mayoría de los casos se recomienda contar con datos de por lo menos tres a cinco años.

Es una realidad, sin embargo, que la información hidrológica que se tiene en nuestros países es muy pobre y especialmente en casos de cuencas y ríos muy pequeños (pero aptos para el desarrollo de microcentrales) es nula.

Ante este problema un grupo de especialistas reunidos en Montevideo Uruguay en 1990 en el taller de microcentrales hidroeléctricas se preguntaban ¿hasta qué punto realmente se justifica hacer estudios hidrológicos para microcentrales hidroeléctricas?, afirmando que en este caso específico bien pueden obtenerse los caudales necesarios realizando mediciones en períodos de estiaje (para Q_{min}) y que los resultados obtenidos tienen aproximadamente el mismo porcentaje de error que de obtenerse por métodos indirectos y análisis detallados con la salvedad que en el último caso se elevan los costos incurridos por este estudio (Ref 3).

b.2. Métodos de medición de caudales

Para la medición de caudales de un río (aforo), generalmente se utilizan los siguientes métodos:

b.2.1. Método Volumétrico:

Consiste en hacer llegar el caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito. La fórmula para calcular el caudal entonces sería:

$$Q = \text{Volumen} / \text{tiempo}$$

Este método es de utilización práctica siempre que se trate de mediciones de pequeños caudales.

b.2.2. Método de Sección por Velocidad:

Consiste esencialmente en medir el área de una sección normal a la corriente y determinar la velocidad media en dicha sección con lo que se obtiene el caudal con la fórmula:

$$Q = A \cdot v.$$

La determinación de la velocidad media de la corriente puede hacerse:

a. Medición (aforo) por medio de molinetes o correntómetros.

Hace uso de un sistema eléctrico para la determinación de la velocidad en la sección .

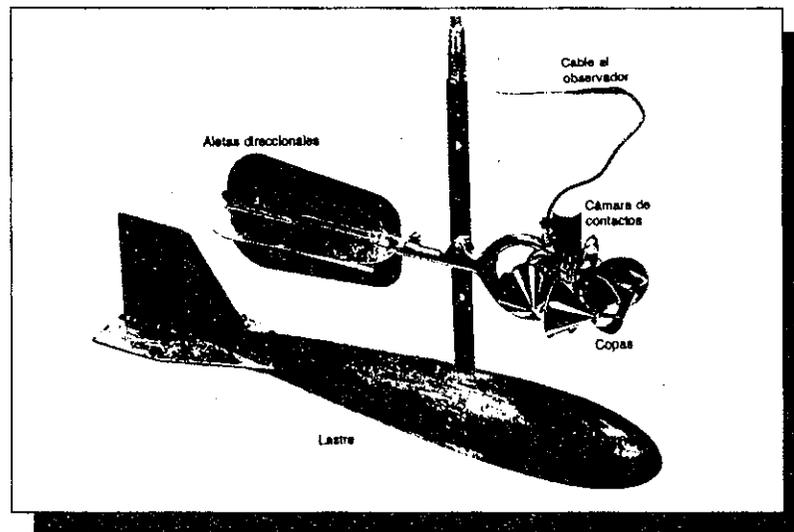


fig # 17
Molinete suspendido en barra con lastre.

b. Determinación por medio de flotadores.

Se escoge un tramo de aforo recto y libre de obstáculos cuya longitud se trata de que no sea menos de seis veces el ancho del río. Se determinan tres perfiles transversales (entrada centro y salida del tramo). Se ponen los flotadores en el agua con la menor brusquedad posible, al principio del tramo escogido y se mide el tiempo en segundos que tarda el flotador en recorrer toda la longitud del tramo. Esta acción se repetirá un mínimo de 10 veces y el promedio de los tiempos es el que se utilizará para la valorización del aforo. La velocidad media será entonces:

$$V = \text{Longitud del tramo} / \text{Tiempo promedio (m/seg)}$$

c.- Determinación por medio de la pendiente:

Cuando las condiciones naturales de la corriente dificultan el uso del molinete o del flotador, se puede determinar la velocidad media por medio de la pendiente. El método consiste en demarcar un tramo recto del río y determinar la diferencia de nivel y la distancia entre los dos puntos resultando de esta operación:

$$\text{Pendiente - "S"} = \text{diferencia de elevación} / \text{longitud}$$

$$v = 1/n R^{2/3} S^{1/2} - \text{Velocidad - Manning}$$

S - Pendiente del tramo.

R = A / P - Radio hidráulico promedio del tramo.

A - Area promedio del tramo.

P - Perímetro mojado promedio del tramo.
 n - Coeficiente de rugosidad.

El área de una sección dada de un río queda limitada en la parte superior por la línea horizontal del nivel del agua y a los lados y en el fondo, por el contorno o perímetro mojado del mismo. Este contorno se obtiene mediante sondeos que se hacen, determinando las profundidades y distancia fijadas desde un punto de referencía.

(Ref. 4)

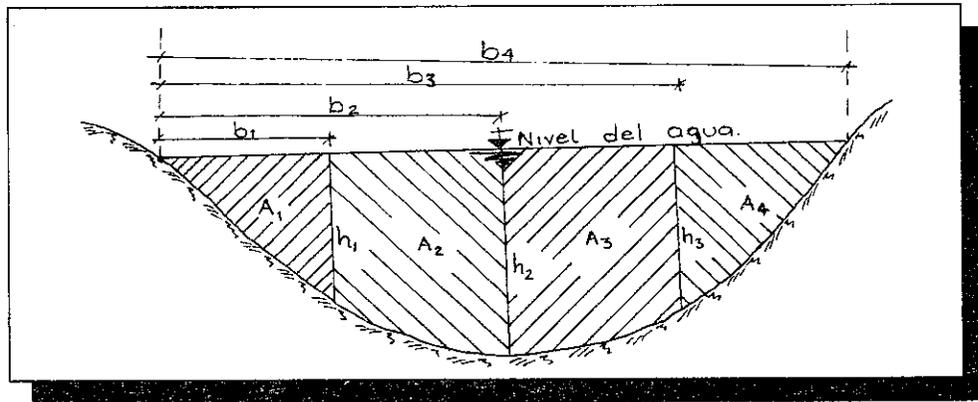


fig # 18: determinación del área de una sección del río

$$A_1 = b_1 * h_1 / 2$$

$$A_2 = b_2 * h_2 / 2$$

$$A_3 = b_3 * h_3 / 2$$

$$A_4 = b_4 * h_4 / 2$$

$$A = \Sigma A_i$$

El valor del coeficiente de rugosidad depende de las condiciones del lecho y pueden utilizarse los siguientes valores (Ref. 8):

Tabla # 1

Descripción	n
Arroyos naturales con terraplenes limpios y rectos, nivel completo sin cambios de alineación o sección transversal	0.030
Arroyos naturales serpenteantes, limpios pero con algunos estanques y pozos	0.035
Rios de sección transversal irregular en etapas bajas; arroyos y canales obstruidos con vegetación y escombros	0.040-0.100

b.3. Criterios para la localización de estaciones hidrométricas.

La adecuada selección de los sitios de aforo es condición fundamental para la obtención de datos confiables.

A continuación presentamos algunos criterios para la elección de los mismos:

- El sitio debe estar situado sobre un tramo recto del río y que cuente con una sección uniforme y una pendiente constante a lo largo del tramo.
- El tramo del río debe tener una longitud de por lo menos 3 veces el ancho de la sección tanto hacia aguas arriba del sitio como hacia aguas abajo.
- Uniformidad en las condiciones del lecho y el cauce del río a lo largo del tramo en mención.
- La sección de aforos debe tener una distribución pareja de velocidades, evitándose aquellas en que existan sectores de altas velocidades, aguas muertas, remansos, codos en la parte aguas arriba de la sección, etc.
- Alejado de estructuras civiles e hidráulicas tales como puentes, tomas de agua, compuertas, etc.
- La sección, en lo posible , debe ser fácilmente accesible.
(Ref. 5)

c) HIDRAULICA.

Este estudio es muy importante, por cuanto permite tomar decisiones sobre la conformación de algunas de las estructuras que comprenden las centrales hidroeléctricas, como por ejemplo el desarenador, el embalse, canales de conducción etc. Algunos de los parámetros a ser estudiados y que tienen incidencia sobre la velocidad y el régimen hidráulico del río son: El área de las secciones de interés, su perímetro mojado, la pendiente del río, la naturaleza del lecho y las paredes del río (rocas, aluviones etc.) y por ende su rugosidad, capacidad de transporte de sedimentos etc.

d) TOPOGRAFIA

Un papel muy importante en el diseño de un aprovechamiento hidroeléctrico, lo juegan las características topográficas del área donde se encuentra ubicado el proyecto. De esta depende en mucho la selección de la ubicación, tipo y dimensiones de las obras civiles e hidráulicas que conforman dicho aprovechamiento. Los estudios y levantamientos necesarios para el diseño de una central hidroeléctrica deben incluir:

- Información disponible: En ocasiones existen levantamientos topográficos realizados por entidades estatales o particulares en la zona de interés hechos con algún propósito específico. También es posible encontrar, algunas veces, fotografías aéreas o mapas sobre el sitio de interés que podrían ser de gran utilidad. Toda ésta información es de gran valor ya que nos dá una idea general del área en estudio, y significa un ahorro de tiempo y dinero con respecto a comenzar los estudios sin ninguna base anterior.
- Descripción topográfica general: Se realiza basado en la información disponible recopilada y en un reconocimiento general de campo, en el se incluyen la identificación de las observaciones sobre posibles sitios de ubicación de las distintas obras civiles (presas, vertederos, casa de máquinas, etc.).
- Levantamientos Topográficos: Deben realizarse de la manera más sencilla y menos costosa posible para no encarecer más el proyecto.

Para el caso específico de centrales de pequeño y mediano porte los levantamientos necesarios son:

- Nivelación del río (perfiles transversales y perfil longitudinal). Esta deberá abarcar el área a ser inundada por los embalses, el sitio de la presa líneas de conducción y canal de desfogue.
- Levantamientos detallados:
 - Levantamiento del sitio de la casa de máquinas.
 - Levantamiento del camino de acceso al sitio del proyecto.

e) GEOLOGÍA

La finalidad de estos estudios es la de determinar las características básicas y composición del suelo y subsuelo del cauce del río y su cuenca de aporte, para establecer bases de orientación general para la construcción. En otras palabras, determinar si las rocas daran un buen soporte, si el local es sísmico o no, si hay posibilidades de deslizamientos de taludes, licuefacción de suelos, si hay necesidad de anclaje en la base etc.

Los principales aspectos a definir son: Formaciones geológicas, fenómenos karsticos (disolución de calizas al reaccionar con el agua), determinación de fallas, orientación y actividad volcánica, sismos (probabilidad y magnitud), identificación de estructuras (escarpes, vertientes etc.) propiedades mecánicas del suelo, estabilidad y niveles freáticos.

En el caso de microcentrales hidroeléctricas, por razones económicas, se debe considerar que los costos de los estudios necesarios sean los menores posible, por lo que es conveniente que los

estudios geológicos se realicen principalmente mediante excavaciones y sondeos no muy profundos y la utilización de mapas geológicos que existan sobre la zona.

f) USO DEL SUELO.

El uso del suelo es un aspecto muy importante para el diseño de microcentrales e incide sobre las condiciones meteorológicas y climáticas de una región dada.

El tipo de cubierta vegetal varía, tanto de un uso a otro (ganadería, agricultura, infraestructura, vivienda), como dentro de un mismo uso (de un cultivo a otro), y afecta factores tales como:

- ✧ El régimen de lluvia en la zona.
- ✧ El drenaje de la cuenca - Al mejorar o deteriorar la estructura granular del suelo.
- ✧ La rugosidad del suelo - Aumentando o disminuyendo la misma y por ende la velocidad de la escorrentía.
- ✧ Los picos de las crecidas (avenidas máximas) - como consecuencia de la velocidad de la escorrentía, incidiendo asimismo sobre los riesgos de inundación
- ✧ La erosión del suelo - El material erosionado por la lluvia, el viento, etc., pasa a ser parte del sedimento que arrastran los ríos y puede, en determinadas circunstancias, depositarse en su lecho, azolvandolo y forzandolo a salir de su cauce provocando inundaciones. De la misma forma, este material puede azolvar algunas estructuras (como la presa y las conducciones por ejemplo), dañandolas y reduciendo su vida útil.

La localización de los sitios utilizados para infraestructuras (puentes, carreteras, etc.) y viviendas es de vital importancia, por cuanto representan una limitante en la construcción de las estructuras que componen la microcentral y principalmente en la ubicación del embalse. En el caso de las viviendas la limitante es flexible, y deben abordarse los siguientes aspectos:

- *¿ Se negociará la compra de las tierras o se procederá a la expropiación ?*
- *¿ En caso de expropiación, es necesaria la reubicación de los pobladores afectados y donde ?*

g) MEDIO AMBIENTE.

Si bien es cierto el impacto que las microcentrales hidreléctricas causan sobre la naturaleza no es mayor, también es cierto que este existe, y hay que conocerlo para tomar las medidas necesarias para su mitigación. El estudio debe incluir la descripción del sitio del proyecto (fauna,

flora, clima, suelos, probables zonas arqueológicas etc.) y como se verán afectados éstos con la construcción del proyecto (inundación de suelos agrícolas o bosques, desviación del cauce del río, desaparición de algunas especies importantes de la flora y la fauna, afección a otros usuarios del río etc.).

h) PLANES Y POLITICAS DE DESARROLLO INTEGRADO.

Por ser el agua un recurso de primera necesidad en las múltiples actividades del hombre, su aprovechamiento en la generación hidroeléctrica debe contemplarse de manera que afecte lo menos posible a los otros usuarios potenciales, tanto en la actualidad, como en el futuro. Por lo anterior este estudio debe estar dirigido a determinar las diversas actividades en la zona que requieren del uso del agua (riego, agua potable etc.), así como los planes para futuros aprovechamientos, los puntos en que se realiza la toma y su respectiva demanda, si estas no interfieren con el uso para la generación y en caso contrario, las posibilidades de compatibilizar la simultaneidad del uso según previa priorización. Esto se realiza con un estudio de manejo integrado de cuencas, específicamente analizando el desarrollo sostenible de los recursos hídricos (usos múltiples y su compatibilidad).

11. DEDUCCION DE LA ECUACION BASE PARA LA DETERMINACION DE LA POTENCIA DISPONIBLE Y EL EQUIPO NECESARIO PARA SU GENERACION.

El agua, en su movimiento, gasta parte de su energía para contrarrestar la resistencia hidráulica y mantener su velocidad. La mayor parte de la energía que no es necesaria para mantener el agua en movimiento, puede ser utilizada para producir energía eléctrica por medio de centrales hidroeléctricas.

La naturaleza del flujo de un fluido real, en nuestro caso el agua, es muy compleja ya que las leyes básicas que describen el movimiento completo no se formulan ni manejan fácilmente desde el punto de vista matemático; se requiere de la experimentación. Por medio de análisis basados en mecánica, termodinámica y en la experimentación ordenada, se han producido grandes estructuras hidráulicas y eficientes máquinas de fluido.

Tres leyes o ecuaciones básicas que permiten comprender y predecir el comportamiento de los fluidos y la energía que de ellos se puede aprovechar son:

- 1.- La ecuación de conservación de la masa o ecuación de continuidad.
- 2.- La ecuación de cantidad de movimiento.
- 3.- La ecuación de conservación de la energía.

Supongamos el siguiente sistema:

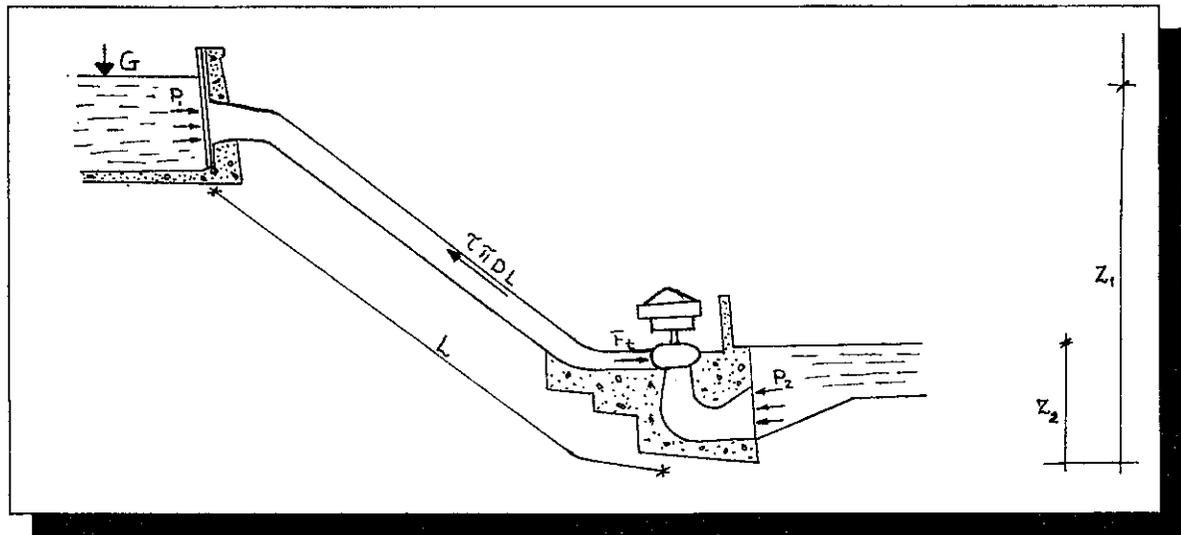


Fig # 19

Segun la ecuación de la cantidad de movimiento lineal " La fuerza resultante que actúa sobre un volumen de control es igual a la rapidez de aumento de la cantidad de movimiento lineal dentro del volumen de control, mas la rapidez del flujo neto de la cantidad de movimiento lineal a travez de la frontera del volumen de control, así en su forma integral, se expresa como:

$$\Sigma F = \frac{d}{dt} (m v) = \int \rho \mathbf{v} dV + \int \rho \mathbf{v} v dA. \quad (1)$$

Al aplicar la ecuación anterior para un sistema como el de la figura # 19 obtenemos:

$$\Sigma F = \frac{d}{dt} (m v) = \rho A_2 v_2 v_2 - \rho A_1 v_1 v_1 \quad (2)$$

Por otra parte, la ecuacion de conservación de la masa nos dice que en un volumen de control dado, la cantidad de masa que ingresa es igual a la cantidad que sale de dicho volumen:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = Q \quad (3) \quad ; \text{ entonces}$$

$$\Sigma F = \frac{d}{dt} (m v) = \rho Q (v_2 - v_1) \quad (4)$$

Las fuerzas que actúan sobre nuestro sistema son:

$F_1 = p_1 A_1$	- Fuerza producto de la presión en el punto 1
$F_2 = p_2 A_2$	- Fuerza producto de la presión en el punto 2
$F_3 = A_1 v_1 dt \Gamma$	- Fuerza de gravedad
$F_4 = \tau \pi D L$	- Fuerza de fricción
$F_5 = Ft$	- Fuerza necesaria para hacer trabajar la turbina.

Sustituyendo en la ecuación (4), y sabiendo que $\gamma = \Gamma / g$ tenemos:

$$p_1 A_1 - p_2 A_2 + A_1 v_1 dt \Gamma - \tau \pi D L + Ft = \frac{\Gamma}{g} Q (v_2 - v_1) \quad (5)$$

Multiplicando ambos lados de la ecuación por la distancia (L), obtenemos el trabajo que realiza la corriente a través del volumen de control.

$$p_1 A_1 v_1 dt - p_2 A_2 v_2 dt + A_1 v_1 dt \Gamma (z_1 - z_2) - \tau \pi D L L + Ft l =$$

$$\frac{\Gamma}{g} Q (v_2 - v_1) \frac{(v_2 + v_1)}{2} dt \quad (6)$$

$$\text{Tomando en cuenta que } \tau = \frac{\Gamma f v^2}{g 8}$$

$$L = v_{\text{med}} dt \quad \text{y} \quad A = \pi D^2/4 \quad A_1 v_1 = A_2 v_2 = \dots = Q$$

y agrupando términos tenemos:

$$Q \Gamma dt \left\{ \frac{(p_1 - p_2)}{\Gamma} + (z_1 - z_2) - \frac{f v^2 L}{2 D g} \right\} + Ft l =$$

$$= \frac{\Gamma Q dt}{2 g} (v_2^2 - v_1^2) \quad (7)$$

Ahora bien, la Potencia o índice de realización del trabajo realizado por la corriente en un volumen de control es igual al trabajo entre el tiempo en que este se realiza (dt). Así pues, al dividir la ecuación (7) entre el tiempo y luego de realizar la transposición de términos conveniente obtenemos:

$$\frac{-Ft l}{dt} = Q \Gamma \left\{ \frac{(p_1 - p_2)}{\Gamma} + (z_1 - z_2) - \frac{f v^2 L}{2 D g} \right\} + \Gamma Q \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2 g} \quad (8)$$

Si asumimos que en condiciones normales, la diferencia de energía cinética $[(v_1^2 - v_2^2) / 2 g]$ en un tramo dado es tan insignificante, que puede ser despreciada, entonces:

$$-\frac{Ft}{dt} = Q \Gamma \left\{ \frac{(p_1 - p_2)}{\Gamma} + (z_1 - z_2) - \frac{f v^2 L}{2 D g} \right\} \quad (9)$$

La ecuación (9) puede también ser expresada de la siguiente forma:

$$P = Q \Gamma (\Delta Z - \Delta H) \quad (10)$$

En donde:

$$P = - Ft / dt \quad (11)$$

$$\Delta Z = \frac{(p_1 - p_2)}{\Gamma} + (z_1 - z_2) \quad (12)$$

$$\Delta H = \frac{f v^2 L}{2 g D} = \frac{f 8 Q^2 L}{\pi^2 g D^5} \quad (13) ; \quad (v = 4 Q / \pi D^2)$$

- P - Potencia de la turbina. El signo menos significa que la misma es tomada de la corriente para poder realizar su función.
- ΔZ - Representa la diferencia del nivel superficial del agua entre las secciones 1 y 2 y es conocida como carga o caída bruta.
- ΔH - Representa la pérdida de carga o energía debido a la fricción, distribuida a lo largo de la tubería.

Las formulas anteriores se utilizan para determinar el llamado "potencial teórico del flujo", suponiendo que la transformación de la energía del agua en electricidad se realiza sin mas pérdidas que las hidráulicas en la conducción (pérdidas por fricción). Sin embargo, en la realidad, durante el proceso de transformación de la energía también se producen pérdidas mecánicas y eléctricas (en la turbina y en el generador). Estas pueden ser evaluadas por medio del coeficiente de eficiencia (n) del equipo mecánico y eléctrico a ser utilizado.

Tomando en cuenta las pérdidas arriba mencionadas y las siguientes relaciones:

$$\Gamma = g \cdot N/m^3 ; \quad = 1,000 \cdot Kg/m^3 ; \quad g = 9.81 \cdot m/s^2$$

$$1N = 1Kg \cdot m/s ; \quad 1Kw = 1000 W ;$$

la ecuación (10) tomaría la forma siguiente:

$$P = 9.81 Q (\Delta Z - \Delta H) n \quad \dots \quad (Kw) \quad (14)$$

12. ANALISIS Y DETERMINACION DE LOS PARAMETROS IMPLICADOS EN LA ECUACION DE LA POTENCIA

En la ecuación (14) se encuentran involucrados 5 parámetros, cuya determinación es de suma importancia no solo para el cálculo de la potencia sino también para todo el sistema. Estos están relacionados entre sí y son: El caudal, el diámetro de la tubería forzada, el coeficiente de fricción, las pérdidas de carga por fricción y por último el coeficiente de eficiencia del equipo electromecánico.

La determinación de los parámetros arriba mencionados se realiza de la siguiente forma:

12.1. CAUDAL - Q.

El caudal de un río no es constante ni en el tiempo, ni en el espacio; este varía tanto de estación en estación como de año en año, dependiendo de las condiciones climatológicas, de las obras que construya el hombre aguas arriba del sitio de interés, de las prácticas del uso de los suelos etc. A nivel general podemos decir que el caudal de un río consta de 2 componentes: El caudal base (Q_0) ó aporte subterráneo y el que se genera a partir de la precipitación (Q_e) o sea la escorrentía.

- ✱ **Caudal base** - llamado también flujo base o descarga de estiaje, representa el agua que se encuentra almacenada en el subsuelo y que alimenta los cauces de los ríos en los períodos o estaciones secas.
- ✱ **Caudal de escurrimiento** - es la porción de las lluvias que al no ser absorbida por el suelo y las plantas se transforma en escorrentía y luego pasa a formar parte del caudal del río generando las crecidas.

Para determinar el caudal de diseño de las obras que componen la microcentral hidroeléctrica es necesario determinar los caudales medios y los extremos (máximos y mínimos), del río. Los caudales máximos nos permiten diseñar adecuadamente las diversas estructuras que componen la central (conducción, evacuación, retención etc.), mientras que los mínimos y promedios son necesarios para planificar la operación de la central, o sea para la determinación de equipo electromecánico, y el diámetro de la tubería forzada, lo cual es nuestro objetivo.

Como mencionamos anteriormente, las probabilidades de encontrar datos hidrológicos para ríos, y por ende para cuencas muy pequeñas son pocas, por lo que debe procederse en concordancia con los datos que se obtengan. Algunos métodos que podrían ser utilizados para determinar los caudales necesarios son:

☺ **Si se tuvieran suficientes datos hidrológicos:**

En este caso se pueden utilizar los métodos tradicionales, determinando hidrogramas, curvas de calibración, curvas de duración de caudales y realizando análisis de caudales extremos.

☺ Si se tuvieran escasos o ningún dato (como es nuestro caso).

☺☺ De contar únicamente con datos de lluvias.

◆ Caudal base.

Podrían realizarse aforos durante el periodo de estiaje y asumir el caudal medido como caudal base o caudal mínimo para la operación de la central.

◆ Caudal de escorrentía.

◆◆ Si los datos son de intensidad de lluvias.

- a) Pueden realizarse pruebas de capacidad de infiltración por medio de cilindros infiltrómetros (doble cilindro) por ejemplo, lo cual no resulta ni difícil ni muy caro, y posteriormente, estableciendo de forma grosera (a grosso modo) el balance hidrológico, determinar el caudal de escurrimiento.

$$P = I_p * t \quad E = P - I; \quad Q_c = E * A / t$$

I_p - intensidad de la lluvia (mm/seg)

P - Precipitación (mm)

E - Escurrimento (mm)

I - Infiltración (mm)

t - tiempo de duración de la lluvia (seg)

- b) Podrían adoptarse parámetros hidrológicos promedios de la región en que se encuentra ubicado el sitio de interés: infiltración, capacidad de campo, evaporación etc. y mediante el establecimiento de la ecuación del balance hidrológico determinar el escurrimiento.
- c) Podría también, usándose los parámetros arriba mencionados y algún modelo hidrológico como por ejemplo el SNSF noruego o el HVB sueco, realizarse algunas corridas para determinar el comportamiento de la cuenca ante una lluvia de intensidad dada, tanto sobre toda la cuenca, como solamente sobre parte de ella (cuenca de los afluentes del río), y de aquí determinar aproximadamente los caudales máximos que podrían esperarse.

◆◆ Si los datos son de cantidad de lluvia.

Se puede calcular el volumen promedio mensual caído y determinar la altura de presa necesaria para almacenar dicho volumen. Si la presa fuera muy alta es necesario determinar el volumen que estaría en capacidad de almacenar una presa con una altura técnico - económicamente conveniente. Esto se realiza por medio de las curvas área capacidad (área - altura y área - volumen). ver anexo 1

Posteriormente se define el caudal que aún en tiempo de ninguna lluvia, podría abastecer a la central por un período de por lo menos un mes. Esto se hace dividiendo el volumen disponible en el almacenamiento entre 30 días (en segundos).

☉☉ De no tenerse absolutamente ningún dato.

Podrían realizarse aforos en períodos de estiaje y utilizar este caudal para la operación de la central. Ahora bien el diseño de las estructuras se puede tratar asumiendo incrementos del caudal base entre el 10% y el 300% y en base a consideraciones técnico - económicas (altura de embalse, dimensión de las otras estructuras etc), y a la experiencia del que realiza el estudio, definir el caudal a ser utilizado para diseñar la obras necesarias.

Pueden existir muchas otras formas de encarar la situación del estudio hidrológico, las anteriores son solamente algunas ideas de como podría procederse.

12.2. CARGA O CAIDA - H

La carga, o caída aprovechable para la instalación de una microcentral hidroeléctrica, depende de la topografía del terreno, y de la altura de la cortina en caso de construirse embalse de regulación. Así pues la carga total de la central está dada por:

$$H_n = \Delta Z - \Delta H ; \quad \text{en donde}$$

- H_n - Carga o caída neta de la central.
- ΔZ - Carga o caída bruta de la central.
- ΔH_{tot} - Pérdidas hidráulicas totales a lo largo de la tubería.

Las pérdidas hidráulicas pueden ser: Pérdidas por fricción (longitudinales) y pérdidas locales producidas por ensanchamiento, reducción o instalación de accesorios diversos a lo largo de la conducción. Tomando en cuenta que las pérdidas locales son insignificantes en comparación con las pérdidas por fricción, estas podrían despreciarse quedando entonces reducidas las pérdidas totales a las provocadas por la fricción, y éstas se determinan por medio de la ecuación (13) o sea la fórmula de Darcy - Weisbach

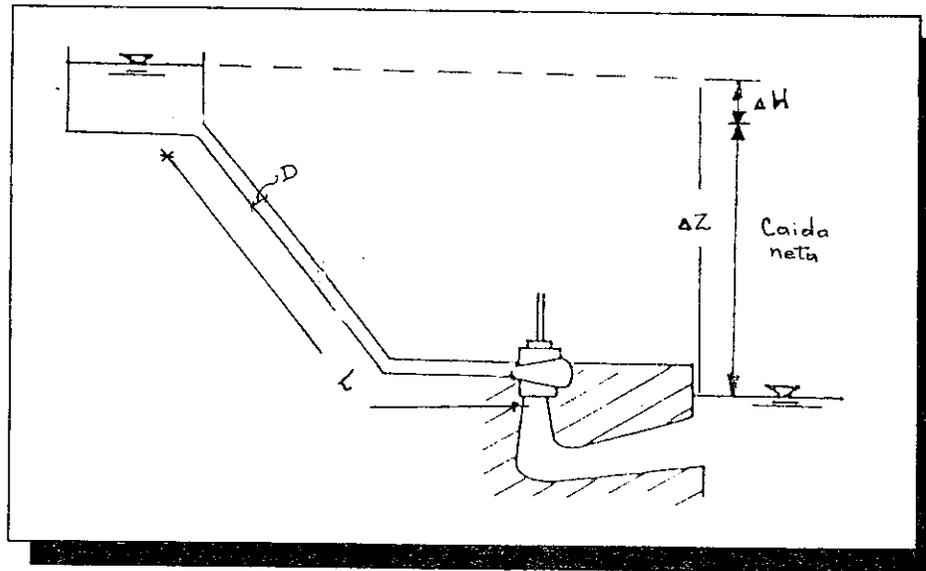


Fig. # 20

$$\Delta H_{\text{tot}} \approx \Delta H = \frac{f v^2 L}{2 g D} = \frac{f 8 Q^2 L}{\pi^2 g D^5} \quad (13)$$

L - Longitud de la tubería de presión.

v - Velocidad media en la tubería.

f - Coeficiente de fricción de la tubería

D - Diámetro de la tubería.

Como podemos observar en la última ecuación, tenemos 3 de los 5 parámetros mencionados al inicio de este capítulo: El diámetro (D), el coeficiente de fricción (f) y las pérdidas de carga (ΔH).

12.3. DIÁMETRO - D

Tomando en cuenta que $Q = A v = (\pi D^2/4) v$; entonces el diámetro requerido de la tubería se obtendría de la siguiente función:

$$D = 1.13 \sqrt{Q / v} \quad (15)$$

Dado que el caudal de agua motriz es conocido, solo habrá que adoptar para la fórmula un valor de velocidad admitida. Este valor de velocidad depende de la caída (de la pendiente), del diámetro y de las pérdidas por fricción.

En tubos de diámetros pequeños se producen altas velocidades, y estas son proporcionales a pérdidas de fricción apreciables e implican considerables golpes de ariete cuando las válvulas de

alimentación a las turbinas se cierran bruscamente, por lo tanto se recomiendan velocidades máximas comprendidas entre:

$$v = 3 + 5 \text{ (mt / s) (Ref 3).}$$

En la siguiente figura se encuentran las velocidades máximas admisibles en función de la longitud y la presión hidrostática. (Ref. 3)

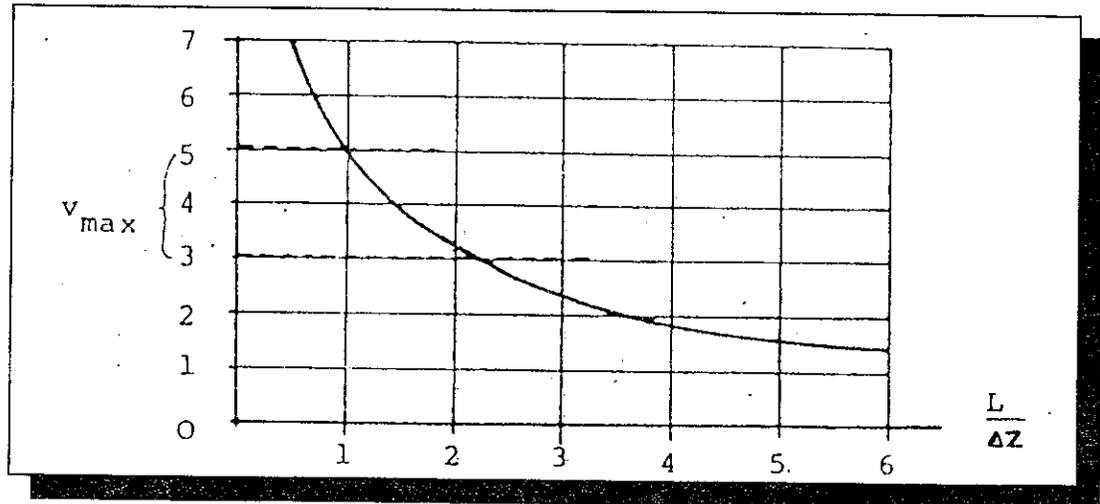


Fig. # 21 : Velocidades máximas en tuberías de presión en función del gradiente

12.4. COEFICIENTE DE FRICCIÓN.

Para determinar este parámetro, es necesario establecer en primera instancia el régimen de flujo que tenemos en nuestra tubería: Laminar, turbulento o si en el último de los casos estamos en la región crítica. Esto se define por medio del número de Reynolds:

$$R = \frac{4 Q}{\pi D} \quad (15)$$

Si $R \leq 2500$, entonces tenemos un régimen laminar, y el coeficiente de fricción estaría dado por:

$$f = 64 / R \quad (16)$$

Si $R \geq 4000$, entonces nos encontramos en presencia de un régimen turbulento, en cuyo caso es necesario determinar si la tubería y por ende el flujo es hidráulicamente liso, rugoso, o mixto.

Si $\frac{R^{0.9}}{D/K} \leq 31$, el flujo es turbulento hidráulicamente liso y:

$$f = [-2 \log (5.62 / R^{0.9})]^2 \quad (17)$$

- D / K - Aspereza relativa de la tubería.
- K - Aspereza absoluta o altura promedio de las protuberancias en la superficie de la tubería.

Si $\frac{R^{0.9}}{D/K} \geq 448$, tendríamos un flujo turbulento hidráulicamente rugoso y :

$$f = [-2 \log (K / 3.71 D)]^2 \quad (18)$$

Si $31 \leq \frac{R^{0.9}}{D/K} \leq 448$, el flujo sería turbulento hidráulicamente mixto y :

$$f = [-2 \log (\frac{K}{3.71 D} + \frac{5.62}{R^{0.9}})]^2$$

Finalmente, si $2500 \leq R \leq 400$ entonces nos encontramos en la región crítica (Ref. 7). En esta zona el flujo puede ser laminar o turbulento y no hay método para determinar previamente que tipo se presentará. Para actuar con seguridad se considera recomendable suponer que el valor mayor de " f " es el que prevalecerá. Esto quiere decir que se debe suponer que el flujo será turbulento. (Ref 8). En la tabla # 2 se dan valores recomendados de K para materiales comunes de tuberías. Sin embargo estos valores requieren una confirmación mas amplia (Ref 8 y 9).

Una vez determinadas las variables anteriores es muy sencillo encontrar las pérdidas de carga por fricción, aplicando los valores encontrados a la ecuación (12). Sin embargo existen restricciones en cuanto al valor de las pérdidas de carga admisibles en el sistema, las cuales deben ser tomadas en cuenta y las cuales deduciremos a continuación.

Tabla # 2

Tipo de material	K (mm)
Acero remachado	0.9 - 9
Concreto	0.3 - 3
Madera cepillada	0.18 - 0.9
Hierro fundido	0.25
Hierro galvanizado	0.15
Hierro fundido - asfaltado	0.12
Acero comercial o hierro forjado	0.046
Tubería estirada	0.0015
Tubería PVC	0.25

12.5. LIMITACIONES EN LOS VALORES ADMISIBLES DE LAS PERDIDAS DE CARGA EN EL SISTEMA.

En un sistema dado, con una carga bruta definida constante, la potencia representa una función cúbica del caudal (fig. 22). A medida que aumenta el caudal aumenta la potencia, pero también aumentan las pérdidas por fricción hasta que en un momento dado la curva de la potencia comienza a descender.

Para determinar el valor de las pérdidas para las cuales obtenemos la máxima potencia, se sustituye en la ecuación de la potencia (13)

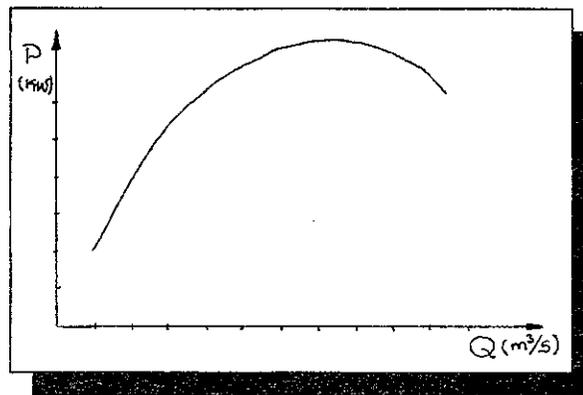


Fig. # 22

$$\Delta H = \frac{f 8 Q^2 L}{\pi^2 g D^5}$$

y se iguala su primera derivada a cero, asumiendo que el coeficiente de fricción f es constante:

$$\frac{dP}{dQ} = \frac{d}{dQ} (Q \Delta Z) - \frac{d}{dQ} \left(Q \frac{f 8 Q^2 L}{\pi^2 g D^5} \right) = 0$$

$$\frac{dP}{dQ} = \Delta Z - 3 \frac{f 8 Q^2 L}{\pi^2 g D^5} = 0 ; \quad \text{pero } \frac{f 8 Q^2 L}{\pi^2 g D^5} = \Delta H$$

sustituyendo y haciendo transposición de términos, obtenemos:

$$\Delta Z \approx 3 \Delta H \quad \text{o} \quad \Delta H \approx \Delta Z / 3$$

O sea que la potencia máxima de la corriente la obtenemos con aquel caudal para el que las pérdidas por fricción son aproximadamente iguales (el coeficiente de fricción no es realmente constante) a 1/3 de la carga bruta.

Es conocido por otra parte, que los gobernadores de las turbinas mantienen una carga constante en la central (ver pag. 21). Cuando en un momento dado, es absorbida una mayor carga en el sistema, el gobernador automáticamente aumenta la demanda de caudal para poder mantener la carga establecida.

Al encontramos en el punto de máxima potencia (Fig # 22) y ante la necesidad de responder a una mayor demanda, al aumentar el caudal, la potencia en vez de aumentar disminuiría, por lo que para mantener un buen equilibrio en el sistema y responder a pequeños cambios en la demanda es necesario que:

$$\Delta H \leq \Delta Z / 3.$$

Esta misma condición es también conocida como uno de los criterios de Tomá para la estabilidad de las chimeneas de equilibrio y cámaras de presión ante pequeñas oscilaciones en el sistema (Ref 6), por lo que adquiere un doble significado.

12.6. COEFICIENTES DE EFICIENCIA.

Los coeficientes de eficiencia, como se mencionara anteriormente, toman en cuenta las pérdidas de energía que se producen en la transformación de la energía hidráulica del agua en energía mecánica (turbina) y posteriormente en energía eléctrica (generador).

12.6.1. Coeficiente de eficiencia de la turbina.

Depende del tipo de equipo a utilizar, velocidad específica de rotación, caudal de diseño y caída neta. Para determinar el coeficiente de eficiencia de la turbina se calcula primeramente la velocidad específica de rotación n_s , ésta tiene un gran significado práctico, puesto que por medio de la misma es posible categorizar y tipificar las turbinas. La velocidad específica se determina por la siguiente fórmula:

$$n_s = \frac{1.166 n \sqrt{P}}{H^{5/4}} \quad ; \quad n = \frac{f t}{p}$$

P - Potencia de la corriente a la entrada de la turbina

H - Caída neta (m).

n - Velocidad de rotación de la turbina (min^{-1})

f - frecuencia de la corriente (50 - 60 Hz).

t - tiempo = 60 seg

p - pares de polos del generador (para microcentrales, es recomendable el empleo de generadores mas de dos pares de polos, correspondientes a una velocidad de rotación de 1800 revoluciones por minuto o menos).

En dependencia de la velocidad específica de rotación se puede determinar a manera de orientación el tipo de turbina (tabla # 3) . (Ref. 1, 2, 6)

Tabla # 3

Tipo de turbina	ns
Pelton de una tobera	2 - 32
Pelton de 2 o mas toberas	30 - 70
Michell Banki	29 - 220
Francis lenta	60 - 125
Francis normal	125 - 200
Francis rápida	200 - 440
Propel o hélice	400 - 800
Kaplan	500 - 1000

En general se pueden considerar los siguientes rangos de valores de eficiencia máxima para máquinas de potencias inferiores a 50 Kw (Ref. 1, 2 y 3)

Tabla # 4

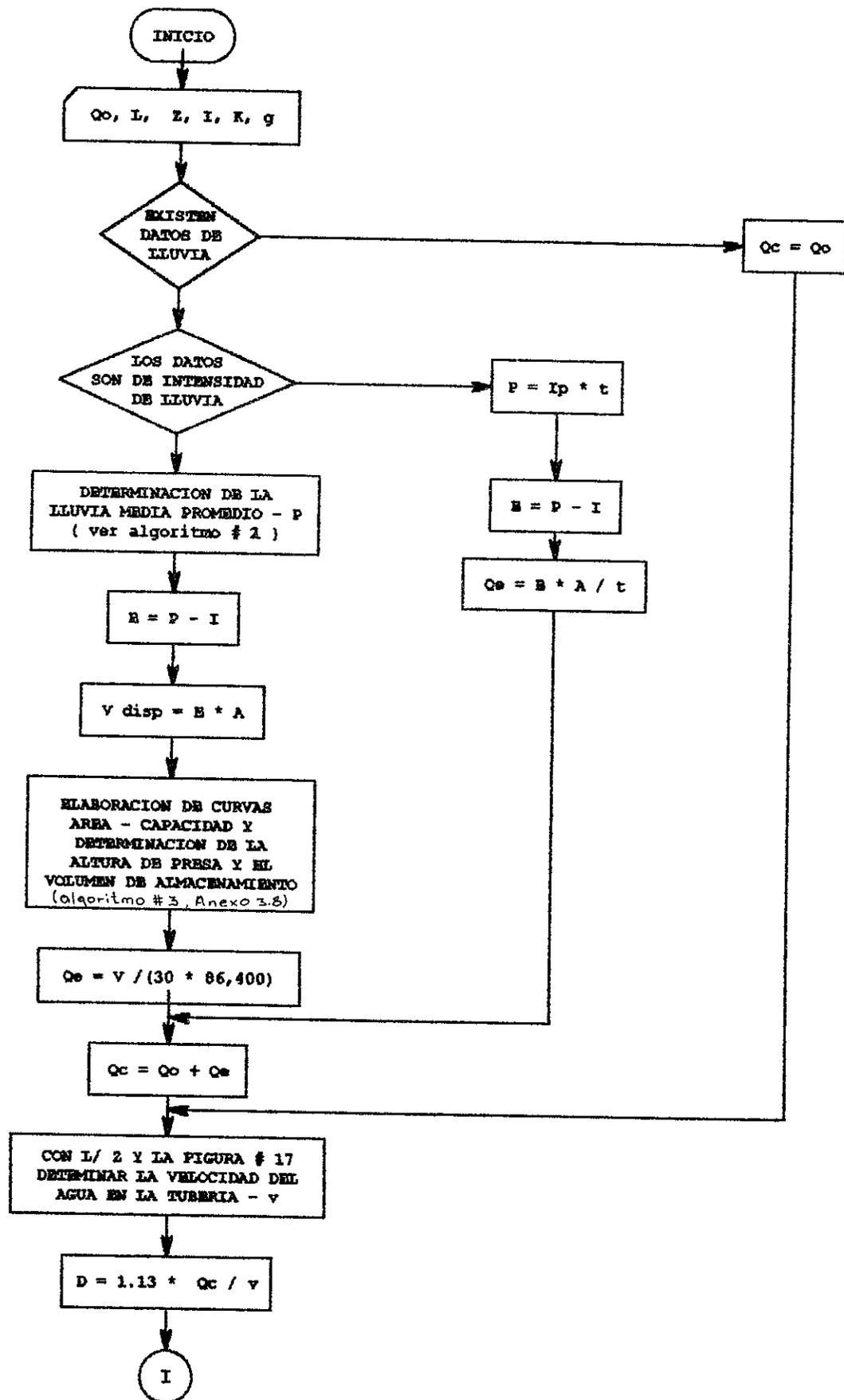
TIPO DE TURBINA	n
Turbinas Francis	0.83 - 0.9
Turbinas Michell Banki con buen diseño y construcción	0.75 - 0.82
Turbinas Michell Banki de construcción artesanal	0.6 - 0.7
Turbina Pelton	0.82 - 0.87

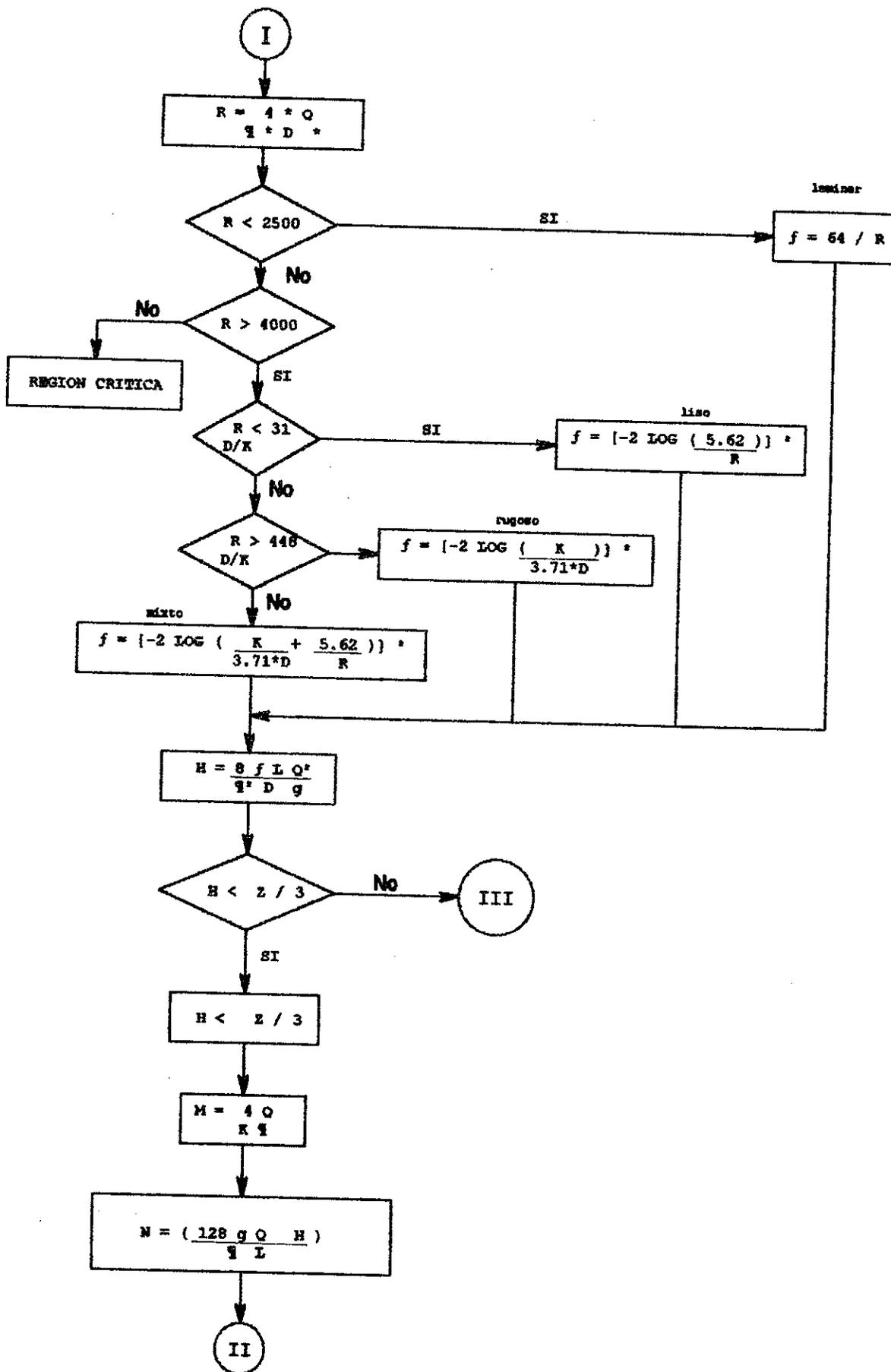
REFERENCIAS.

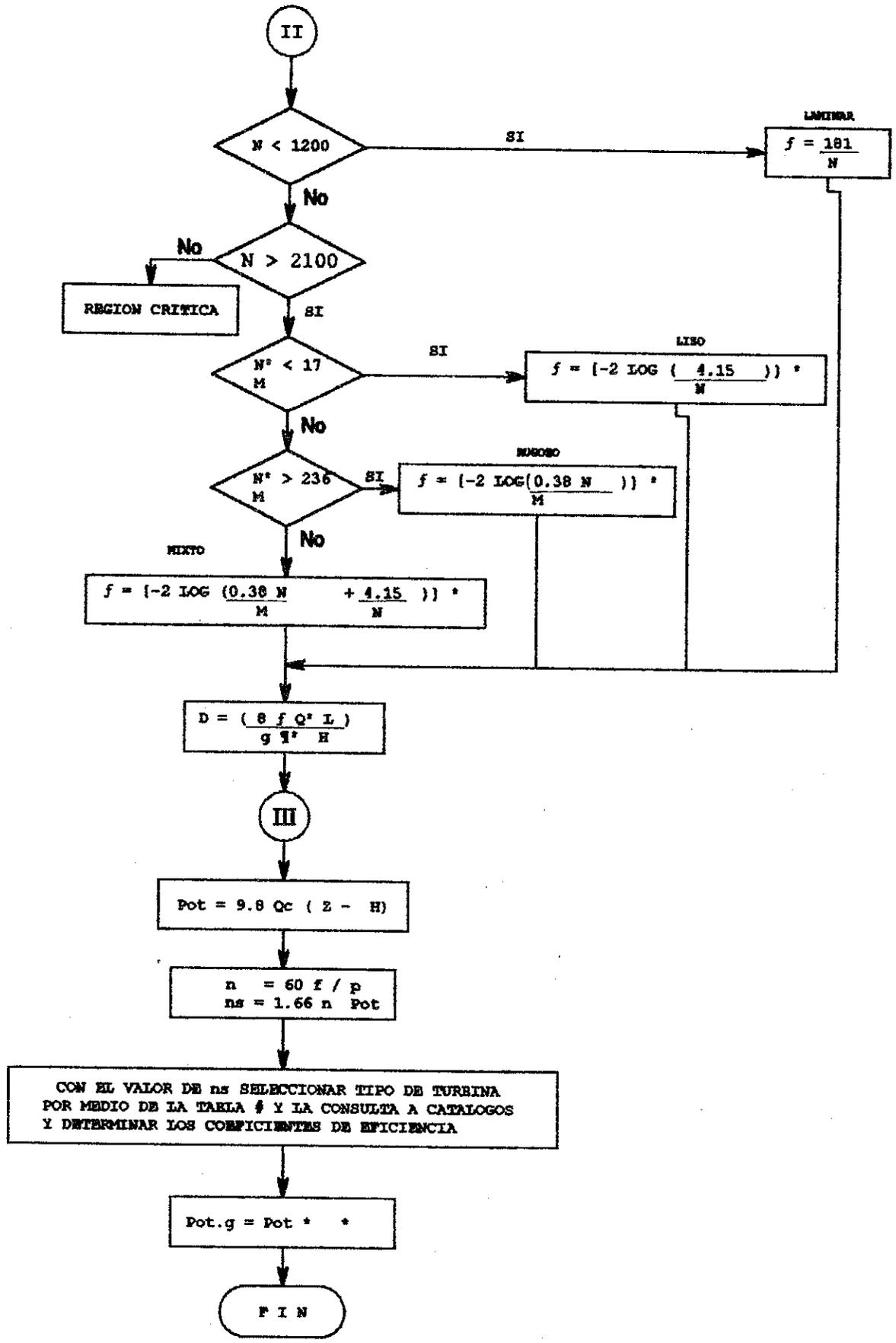
- 1.- Ing. Enrique Indacochea R. DE. S
Metodología sintética para el cálculo y especificación preliminar de Micro centrales Hidroeléctricas.
Organización Latinoamericana de Energía (OLADE). Junio 1990.
- 2.- Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).
Minicentrales Hidroeléctricas (manual para la toma de desiciones).
Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) - Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo industrial (ONUDI). Quito Julio 1981.
- 3.- Helmut Lauterjung.
Taller de Microcentrales Hidroeléctricas - Diseño y cálculos hidráulicos.
UNESCO - GTZ. Montevideo, Uruguay. Noviembre 1990.
- 4.- Acotaciones para el cálculo de caudales hidrológicos.
IMEPRE. Guatemala. Septiembre 1988.
- 5.- Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano.
Manual de instrucciones - Hidrometría.
San José, Costa Rica. 1980.
- 6.- Slavcho Miloslavob Liubenov.
Sistemas Hidroenergéticos
Editorial Nacional "Tecnica".
Sofia, Bulgaria. Septiembre 1990.
- 7.- Dr. en Recursos Hidráulicos Carlos Rivera Pomés.
Apuntes de la clase de Hidráulica.
1^{er} semestre 1995.
- 8.- Horace W. King / Chester O. Wisler / James G. Woodburn.
Hidráulica.
Editorial Trillas.
México Enero 1991.
- 9.- Victor L. Streeter / E Benjamin Wylie.
Mecánica de los fluidos
Editorial Mc Graw - Hill.
México, Enero 1994

- 10.- Linsley / Kohler / Paulus.
Hidrología para Ingenieros.
Editorial Mc Graw - Hill
Mexico, Mayo 1994.
- 11.- Secretaria de Recursos Hidráulicos de Guatemala.
Situación actual del recurso hídrico en Guatemala.
Guatemala, 1994.
- 12.- Instituto tecnológico de Costa Rica.
Manual de instrucciones para estudios hidrológicos.
Cártago, Costa Rica. 1980

FLUJOGRAMA PARA EL DISEÑO DE MICROCENTRALES HIDROELECTRICAS







II

$N < 1200$

SI

LAMINA
 $f = \frac{181}{N}$

No

$N > 2100$

No

REGION CRITICA

SI

$\frac{N^0}{M} < 17$

SI

LISO
 $f = [-2 \text{ LOG } (\frac{4.15}{M})]^2$

No

$\frac{N^0}{M} > 236$

SI

RUGOSO
 $f = [-2 \text{ LOG}(0.38 \frac{N}{M})]^2$

SIEMPRE

No

$f = [-2 \text{ LOG } (0.38 \frac{N}{M} + \frac{4.15}{N})]^2$

$D = \frac{(8 f Q^2 L)}{g H}$

III

$Pot = 9.8 Qc (Z - H)$

$n = 60 f / p$
 $ns = 1.66 n Pot$

CON EL VALOR DE ns SELECCIONAR TIPO DE TURBINA
POR MEDIO DE LA TABLA 4 Y LA CONSULTA A CATALOGOS
Y DETERMINAR LOS COEFICIENTES DE EFICIENCIA

$Pot.g = Pot * *$

FIN

15. ESTUDIO DE CASO.

15.1. Descripción del área de estudio

El estudio de caso de la presente tesis se realizó sobre el río Cangrajero, ubicado dentro de la finca Montegrande a unos 6 Km de la ciudad de Coatepeque entre las siguientes coordenadas: Latitud $14^{\circ} 42' 56''$, Longitud $91^{\circ} 54' 55''$ y Latitud $14^{\circ} 42' 48''$ Longitud $92^{\circ} 57' 18''$.

La Finca abarca una extensión de 15 Km² aproximadamente con pastizales para ganado, plantaciones de cítricos, hule y palma africana.

La energía a ser generada por la microcentral en estudio servirá para abastecer el área de vivienda (4 casas) y de proceso agroindustrial de la hacienda (planta de procesamiento de aceite de palma).

15.2. Recolección de datos para el diseño.

Durante el período de estudio se realizaron varias visitas al sitio: 2 de reconocimiento del curso del río y de su cuenca de drenaje, 2 de realización de aforos para determinar el caudal en los puntos de interés y 1 para realizar el levantamiento topográfico sobre el curso del río, desde su nacimiento hasta la caída que se pretende aprovechar para la generación de energía.

En una de las visitas realizadas se logró recaudar información de una estación pluviométrica ubicada en los alrededores del casco de la hacienda. Dicha estación cuenta con registros mensuales del periodo 1970 - 1984 y con registros diarios desde Junio de 1995 a junio 1996.

15.3. Determinación del caudal.

Dado que contábamos con los datos arriba mencionados se decidió utilizar los datos mensuales por ser el presente un estudio a nivel preliminar o de reconocimiento, sin embargo para estudios a niveles más específicos (prefactibilidad, factibilidad, diseño) se recomienda hacer uso de datos diarios en caso de tenerlos.

La primera tarea a realizar, para comenzar nuestro trabajo es determinar la consistencia y homogeneidad de los datos recopilados lo cual realizamos por medio de análisis de doble masa (ver anexo # 3).

En nuestro caso específico hemos tomado como estación base la estación Coatepeque Fegua, ubicada en las siguientes coordenadas: Latitud $14^{\circ} 41' 55''$ y Longitud $91^{\circ} 51' 45''$, y Por ser la más cercana al sitio de nuestro estudio, con una buena cantidad de registros, y por ser considerada confiable por la institución que los proporcionó (INSIVUMEH); aunque para un estudio más detallado se recomienda realizar una visita al sitio de la estación para verificar las condiciones en que se encuentra. los resultados del análisis pueden verse en el anexo # 3.

Una vez realizado lo anterior, se procedió a la determinación de los caudales aprovechables.

Para comenzar, como ya mencionamos anteriormente se realizaron aforos sobre el cauce del río en los siguientes puntos:

- A.- Aproximadamente a unos 500 metros del nacimiento del río.
- B.- Inmediatamente después del primer afluente de importancia.
- C.- Inmediatamente después del segundo afluente de importancia.
- D.- Unos 100 metros aguas arriba del puente de tierra.

(Ver plano de curvas a nivel y perfil del río en el anexo # 1).

- 1) **Caudal base** - el caudal disponible inmediatamente antes de la caída de acuerdo a los resultados de los aforos, (ver anexo # 2) tenemos que es de aproximadamente:

$$Q = Q_0 = 0.23 \text{ m}^3 / \text{seg} .$$

Este valor nos representaría el caudal base o caudal en período de estiaje.

- 2) **Determinación del caudal aprovechable a partir de la escurriencia** - Los datos recopilados son de cantidad de lluvia, por lo que, procediendo conforme el flujograma y el algoritmo # 1 (anexo # 3), tenemos:

a.- se dividieron los datos de lluvia en 3 rangos:

- Lluvias mínimas - de 0 a 334 mm
- Lluvias medias - de 334 a 668 mm
- Lluvias máximas - de 668 a 1003 mm

b.- Se determinó el promedio de las lluvias mínimas, medias y máximas (anexo 3.5).

c.- Se calculó la escurriencia, asumiendo que un promedio del 15% de la lluvia que cae en esa región se convierte en infiltración (Ref. # 11). Por lo tanto, la escurriencia será igual al 85 % de la lluvia total caída (anexo 3.6).

d.- Para facilitar la determinación del área de la cuenca, se dividió la misma en 3 partes (ver plano anexo) y se calculó el área respectiva de cada una de ellas. El área total de la cuenca es la suma del área de las subcuencas.

e.- Se determinaron los volúmenes promedio mensual de escurrimiento, multiplicando el área de la cuenca por la escurriencia media (anexo 3.6).

f.- Se elaboraron las curvas área - capacidad para 2 sitios elegidos para la construcción de presas de almacenamiento. (anexo 3.9).

- g, h.- De los resultados obtenidos, se observó que aún levantando 2 cortinas de 14 metros cada una, no existe la capacidad de almacenar todo el volumen de agua disponible. Por otro lado, tomando en cuenta el tamaño del proyecto, no sería económicamente justificable la construcción de obras de la magnitud antes mencionada, por lo que, adoptando 2 cortinas de 7 metros cada una se tendría capacidad para almacenar un volumen de aproximadamente $100,000 \text{ m}^3$.
- i.- Asumiendo que el volumen anterior fuera gastado en un mes entonces el caudal promedio diario aprovechable sería:

$$Q_c = V \div t = 100,000 \div (30 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60) = 0.038 \quad \text{Mt}^3 / \text{seg.}$$

- 3) **Caudal de operaciones de la microcentral** - El caudal total aprovechable sería:

$$Q = Q_o + Q_c = 0.23 + 0.038 = 0.268 \quad \text{Mt}^3 / \text{seg.}$$

15.4 Determinacion de la carga total.

La carga o caída bruta de la central determinada por medio del perfil del río y tomando en cuenta 7 metros de altura de cortina es de 14 metros, y la longitud aproximada de la tubería de presión sería de 40 mt.

$$\Delta Z = 14 \text{ mts.} \quad L = 40 \text{ mts} \quad L / \Delta Z = 40 / 14 = 2.86$$

De la fig. # 21 (pag. 64), para el valor $L / \Delta Z = 2.86$ obtenemos una velocidad de: $v = 2.5 \text{ mt} / \text{seg.}$ El diámetro de la tubería forzada entonces sería :

$$D = 1.13 \sqrt{0.268 / 2.5} = 0.37 \text{ mt}$$

$$R = 4 * 0.268 / 3.14 * 0.37 * 1 * 10^{-6} \approx 922,706.146$$

Lo cual indica que tenemos un régimen turbulento.

Asumiendo tubería PVC entonces $K = 0.00025 \text{ m}$ y:

$$\frac{R^{0.9}}{D / K} = 157.869 < 448 ;$$

$$D / K > 31$$

Por lo tanto la tubería y por ende el flujo es hidráulicamente mixto y:

$$f = \left[-2 \log \left(\frac{0.00025}{3.71 * 0.37} + \frac{5.62}{922,706.146^{0.9}} \right) \right]^2 = 0.00347$$

Las pérdidas de carga serían entonces:

$$\Delta H = \frac{8 * 0.00347 * 40 * 0.268^2}{3.1416^2 * 0.37^5 * 9.81} \approx 0.118 \text{ mts}$$

Por otro lado, las pérdidas no deben exceder 1 / 3 de la carga bruta, entonces:

$$\Delta Z / 3 = 14 / 3 = 4.66 < 0.118 \quad \text{por lo que nos encontramos dentro del rango de pérdidas permisibles.}$$

15.5 Coeficiente de eficiencia.

La potencia de la corriente a la entrada de la turbina sería:

$$P = 9.81 * Q * (\Delta Z - \Delta H) = 9.81 * 0.268 * (14 - 0.118) = 36.49 \text{ Kw ;}$$

la velocidad específica de rotación sería:

$$n_s = 1.166 n \sqrt{P / Hn^{5/4}} ;$$

Para $f = 50 \text{ Hz}$, $t = 60 \text{ seg}$; y $p = 4$ pares de polos :

$$n = 750 \quad \text{y} \quad n_s = 197.14$$

Lo anterior implicaría la adopción de turbina tipo francis normal o una Michel Banki (ver tabla # 3, pag.43).

En el caso de adoptar una turbina Francis, su coeficiente de eficiencia es del orden del 83 % al 90 % , mientras que las turbinas Michell Banki bien construídas tienen un coeficiente de eficiencia del orden de un 80 % (tabla # 4 pag. 43). Dado que las últimas estan catalogadas como de mas fácil fabricación y de mas bajo costo, nos inclinaremos por la adopción de este tipo de turbina.

Por otro lado tenemos que el coeficiente de eficiencia de los generadores es del orden de 0.90% a 0.98%, por lo que tomando un coeficiente promedio de 0.94 , obtenemos:

$$n = n_t * n_g = 0.80 * 0.94 = 0.75 .$$

Asi pues la potencia total en la salida de los bornes del generador sería de :

$$P_g = 36.49 * 0.75 = 27.37 \text{ Kw}$$

CARACTERISTICAS FINALES DE LA CENTRAL

Tabla # 5

DENOMINACION	SIMBOLO	CANTIDAD
CAUDAL BASE	Q_0	0.23m ³ /s
CAUDAL DE ESCURRIMIENTO	Q_e	0.038 m ³ /s
PRECIPITACION PROMEDIO	P	492.8mm
INFILTRACION	I	73.9mm
ESCORRENTIA	E	418.88mm
ALTURA DE PRESA	H	7m (2)
CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO	V	100*10 ³ m ³
CAUDAL DE OPERACIONES DE LA CENTRAL	Q_c	0.268 m ³ /s
CARGA BRUTA DE LA CENTRAL	ΔZ	14 m
DIAMETRO DE LA TUBERIA DE PRESION	D	0.37 m
PERDIDAS POR FRICCION	ΔH	0.118 m
CARGA NETA DE LA CENTRAL	H_{net}	13.882 m
VELOCIDAD ESPECIFICA DE ROTACION	n_s	197.14 min ⁻¹
TIPO DE TURBINA ELEGIDA	-	MICHELL BANKI
COEFICIENTE DE EFICIENCIA DE LA TURBINA	-	0.8
COEFICIENTE DE EFICIENCIA DEL GENERADOR	-	0.94
POTENCIA A SER GENERADA	P_t	27.44Kw

16. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

Segun los indicadores de requerimiento de capacidad instalada por unidad familiar que proporciona OLADE para el medio rural latinoamericano, y en el caso particular de poblaciones aisladas con bajo nivel de desarrollo socio - económico el valor mínimo oscila alrededor de un rango de 250 W / vivienda, pudiendo considerarse valores de hasta 500 W / vivienda y más.

En nuestro caso particular la capacidad instalada de 27.37 Kw o sea 27,370 W, mientras que las necesidades reales para la que fué concebida la central son de:

ACTIVIDAD	Kw
1. Planta procesadora de aceite	
a) Capacidad instalada	37.0
b) Trabajan simultáneamente	21.5
2. Viviendas 4 x 500 W / viv.	2.0
Total (1.b + 2)	23.5

Como podemos observar, la microcentral genera la potencia suficiente para cubrir la demanda de energía, tanto para el área de vivienda con una dotación de 500 W / vivienda, como para la planta procesadora de aceite en funciones normales (trabajando simultáneamente con una demanda de 21.5 Kw), dejando un excedente de 3.87 Kw. Sin embargo en caso de ser requerida la potencia correspondiente a la capacidad máxima instalada, la central estaría en capacidad de cubrir el 70 % de dicha demanda.

Si la microcentral estuviera destinada a cubrir la demanda de una población, estaría en capacidad de abastecer a un total de 55 viviendas simultáneamente con una dotación de 500 W / vivienda.

CONCLUSIONES:

El método o modelo seguido para el diseño de la microcentral hidroeléctrica es de fácil comprensión y sencillo (ver aplicación en el estudio de caso, pags. 46 al 48).

La limitante de la carencia de los datos hidrológicos es superada por medio de la aplicación lógica de los conceptos básicos de hidrología (algoritmo # 2).

Las microcentrales hidroeléctricas si dan respuesta a las necesidades de pequeñas poblaciones rurales y agroindustria de pequeña escala (ver discusión de resultados).

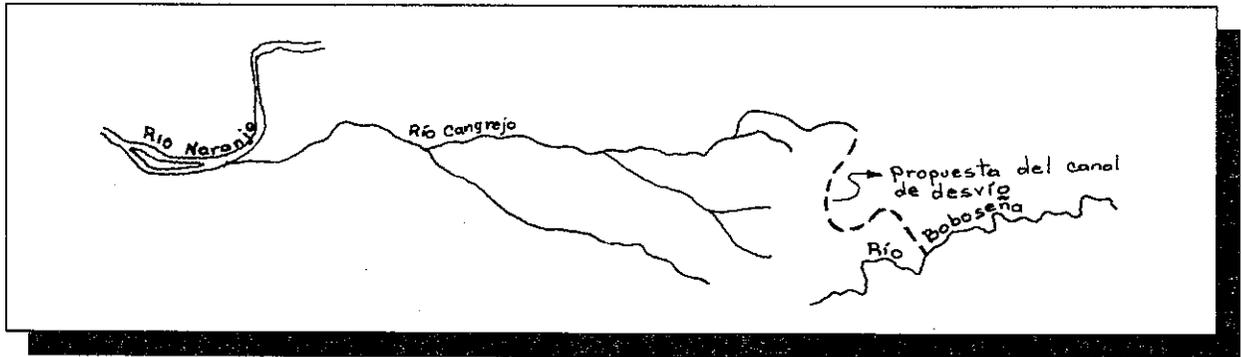
18. RECOMENDACIONES.

Es necesario realizar un estudio económico para estudiar la viabilidad de la construcción de las presas (la altura, materiales a utilizarse en la construcción etc.)

En caso que la microcentral estuviera destinada a cubrir las necesidades de una población, y no pudiera cubrir totalmente la demanda se debería realizar un análisis de las previsiones de simultaneidad entre el consumo doméstico y el de carácter productivo. Generalmente en el campo el consumo de energía eléctrica para fines domésticos, se realiza por las tardes (de 6 pm a 11 pm aproximadamente), por lo que existiría un margen de generación por el día que podría ser aprovechado por las actividades productivas existentes.

Es también importante considerar el desvío de otros pequeños caudales que puedan existir en los alrededores del proyecto. En nuestro caso particular existe un pequeño río que si es desviado aportaría un caudal fijo de aproximadamente 0.20 a $0.30 \text{ m}^3/\text{seg}$ lo cual duplicaría la capacidad instalada de nuestra central.

El desvío se podría realizar colocando una pequeña presa de desviación y encausando los caudales necesarios hacia nuestro proyecto por medio de un canal, como se muestra en la siguiente figura:



INDICE DE ANEXOS.

ANEXO No 1: PLANOS Y FOTOGRAFÍAS.

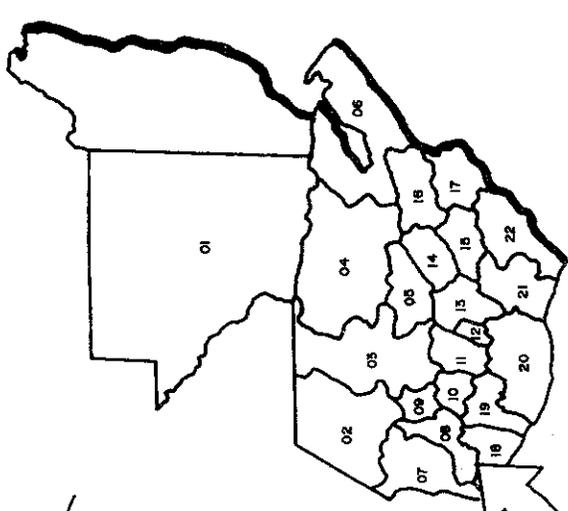
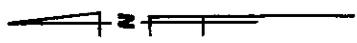
- 1.1 - Gráfico de ubicación del área del proyecto.
- 1.2 - Hoja cartográfica de la ubicación de la cuenca en estudio
- 1.3 - Plano de curvas a nivel, con ubicación de la cuenca y los sitios de aforo.
- 1.4 - Perfil longitudinal del río.
- 1.5 - Fotografía aérea del sitio de interés
- 1.6 - Fotografías (aspectos de la corriente del río)

ANEXO No 2: RESULTADOS DE LOS AFOROS DEL RIO.

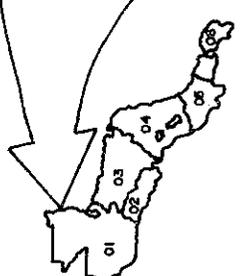
ANEXO No 3: CALCULOS

- 3.1 - Datos de precipitación hacienda Montegrande.
- 3.2 - Datos de precipitación estación Coatepeque.
- 3.3 - Realización de análisis de doble masa (algoritmo # 1 y resultados)
- 3.4 - Algoritmo # 2: Determinación del caudal de operaciones de la central
- 3.5 - Determinación de precipitaciones medias de la cuenca
- 3.6 - Determinación de volúmenes mensuales de escorrentía.
- 3.7 - Determinación de caudales de escorrentía aprovechables
- 3.8 - Determinación de capacidad de almacenamiento
(cálculos y gráficos de las curvas área - altura, altura - volumen y altura - caudal aprovechable)

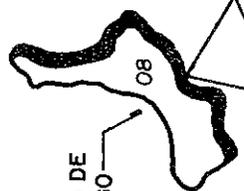
ANEXO # 1



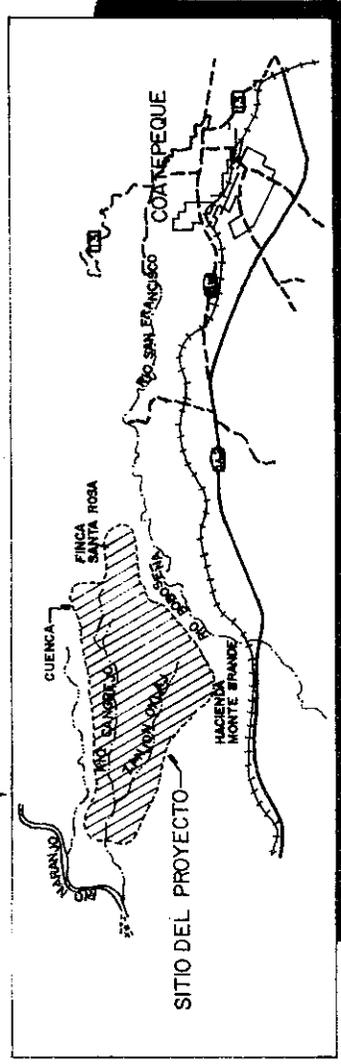
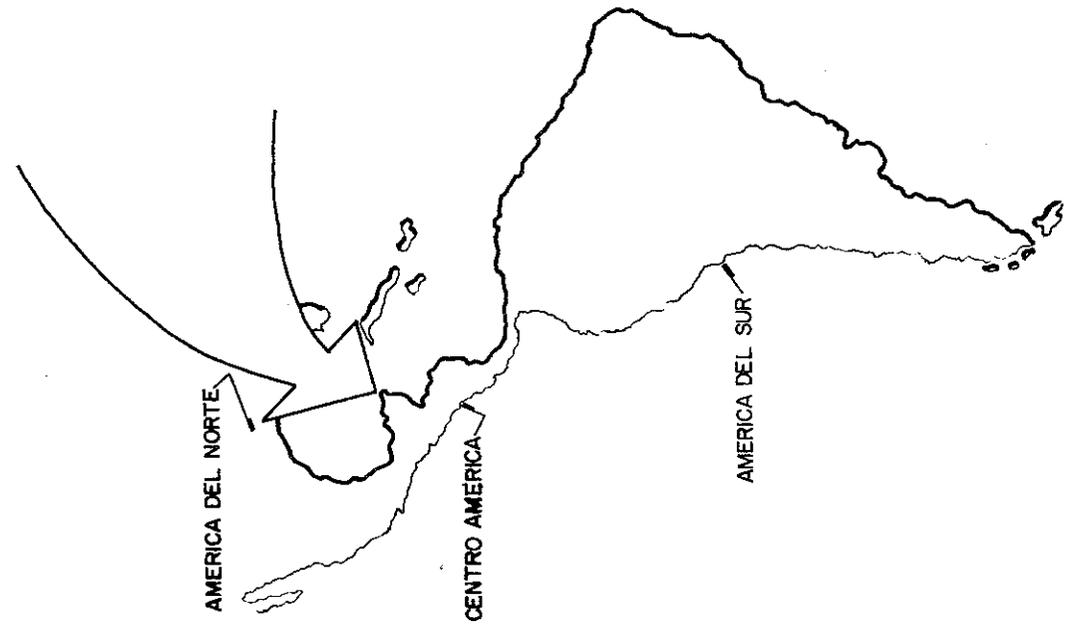
- 01 PETEN
- 02 EL QUICHÉ
- 03 ALTA VERAPAZ
- 04 BAJA VERAPAZ
- 05 ESCUINTLA
- 06 TOTONICAPÁN
- 07 GUATEMALA
- 08 QUETZALTENANGO
- 09 CHIMALTENANGO
- 10 SOLOLA
- 11 SACATEPEQUEZ
- 12 CHICHICUILA
- 13 RETALHULEU
- 14 SAN MARCOS
- 15 EL PROGRESO
- 16 JAJALAPA
- 17 EL QUICHÉ
- 18 EL QUICHÉ
- 19 EL QUICHÉ
- 20 EL QUICHÉ
- 21 EL QUICHÉ
- 22 EL QUICHÉ



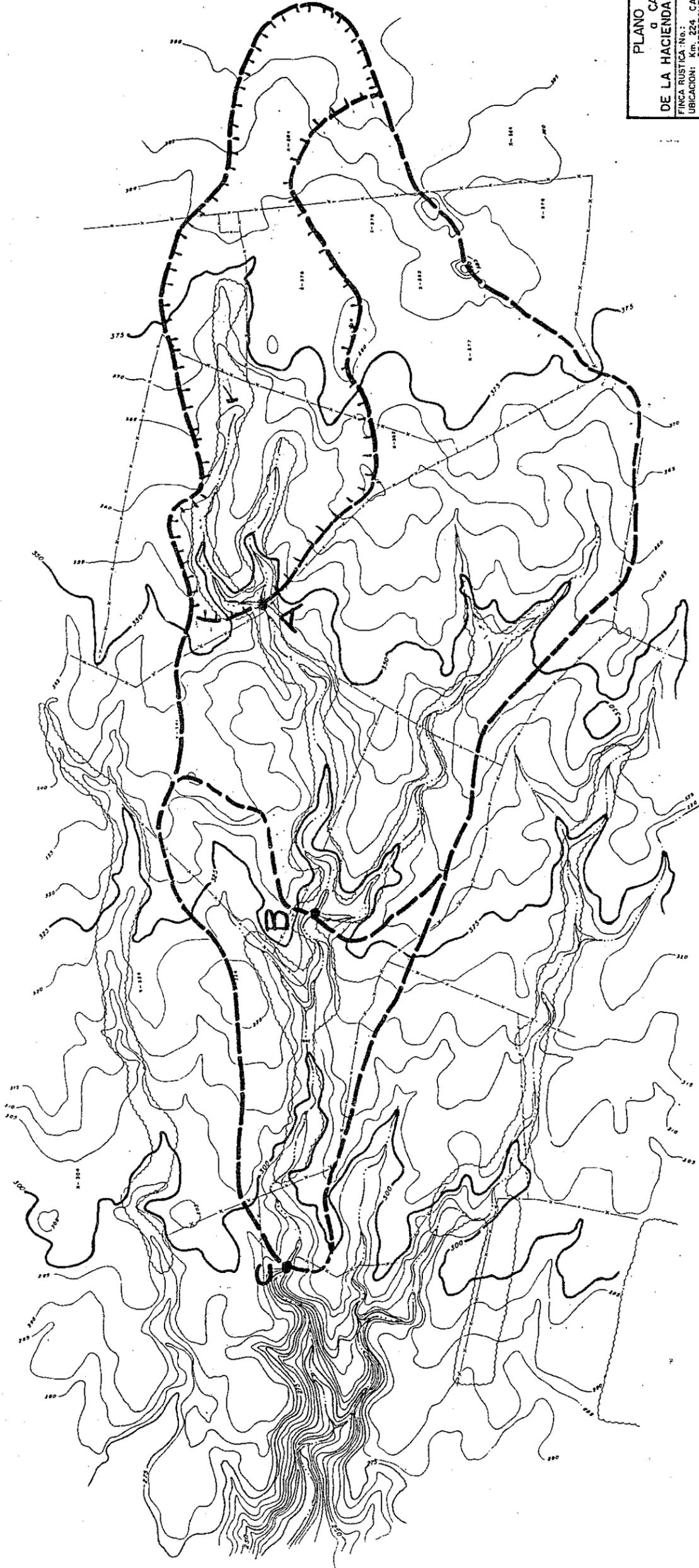
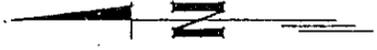
- 01 GUATEMALA
- 02 EL SALVADOR
- 03 HONDURAS
- 04 NICARAGUA
- 05 COSTA RICA
- 06 PANAMA



DEPARTAMENTO DE
QUETZALTENANGO



SITIO DEL PROYECTO



PLANO DE CURVAS A NIVEL a CADA 5.00 METROS DE LA HACIENDA MONTE - GRANDE-COATEPEQUE	
FINCA RUSTICA No.:	FOLIO:
UBICACION: COATEPEQUE - QUETZALTENANGO	LB DE:
ESCALA: 1:5000	HOJA
FECHA: SEPTIEMBRE, 1995	1 / 5
PROPIETARIO:	
E R S	
ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA Y RECURSOS HIDRAULICOS	
PROYECTO:	
PARA ESTUDIO ESPECIAL DE LA INGENIERA ROSA ADILIA MARTINEZ LOPEZ	
ING. ROSA ADILIA MARTINEZ	
PROPIETARIA	



ESTUDIO ESPECIAL:
DESARROLLO DE UN MODELO CONCEPTUAL
PARA EL DISEÑO DE MICROCENTRALES
HIDROELECTRICAS.
ELABORADO POR ING. ROSA ADOLFA MARTINEZ LOPEZ

PLANO: PERFIL LONGITUDINAL DEL RIO CARGREJERO
HACIENDA MONTE GRANDE COATEPECUE

UBICACION: Km. 224 CARRETERA CA-2

ESCALA: INDICADA

FECHA:

NUMERO DE HOJA

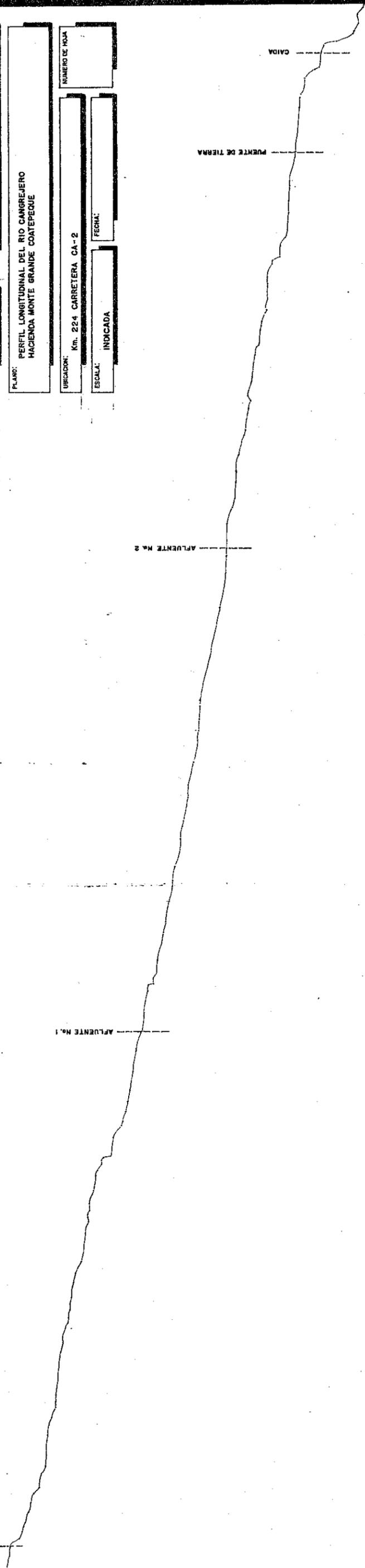
MURO

AFLUENTE No. 1

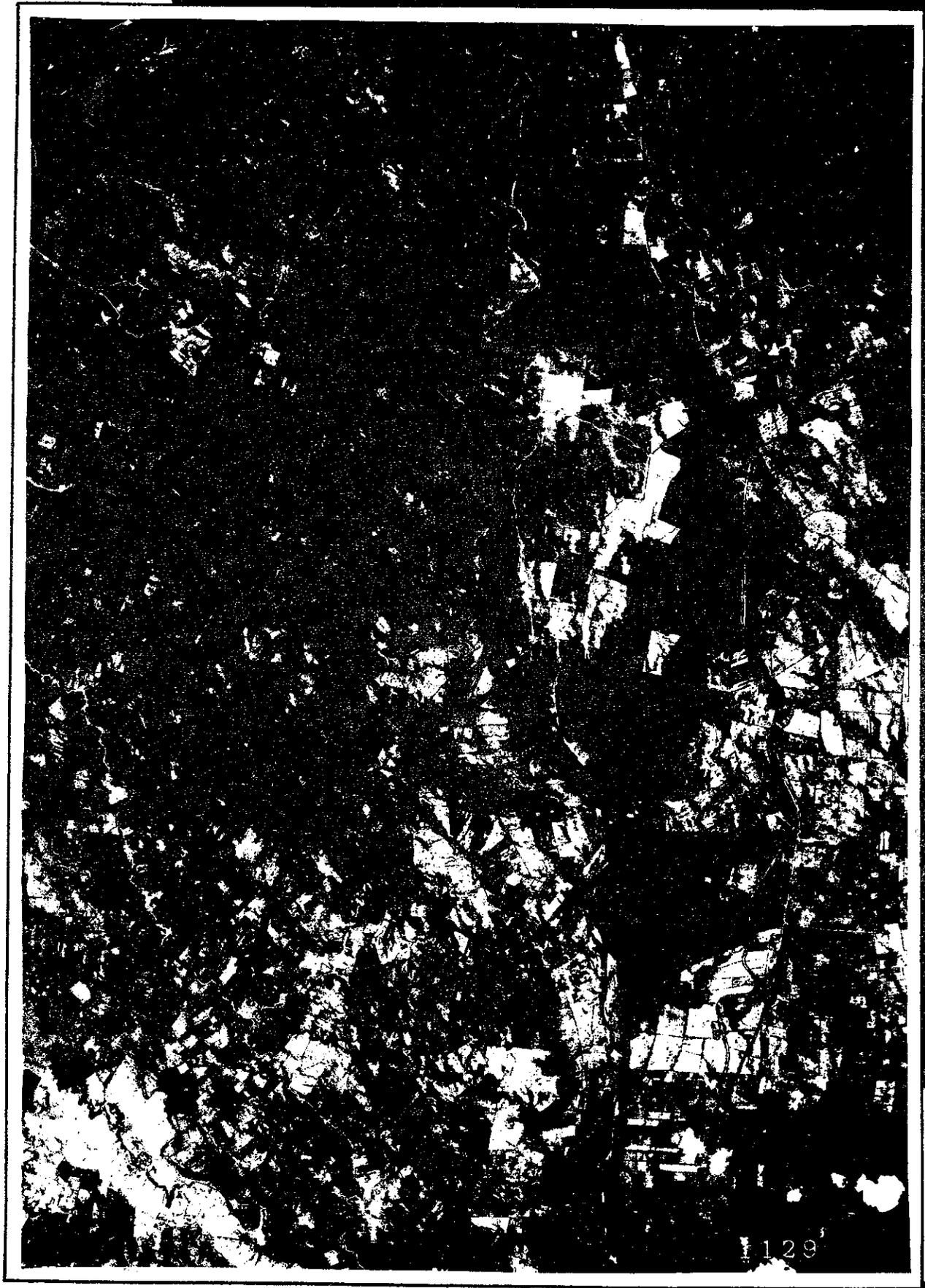
AFLUENTE No. 2

PUENTE DE TIERRA

CAIDA



ANEXO 1.5
FOTOGRAFIA AEREA DEL SITIO DE INTERES





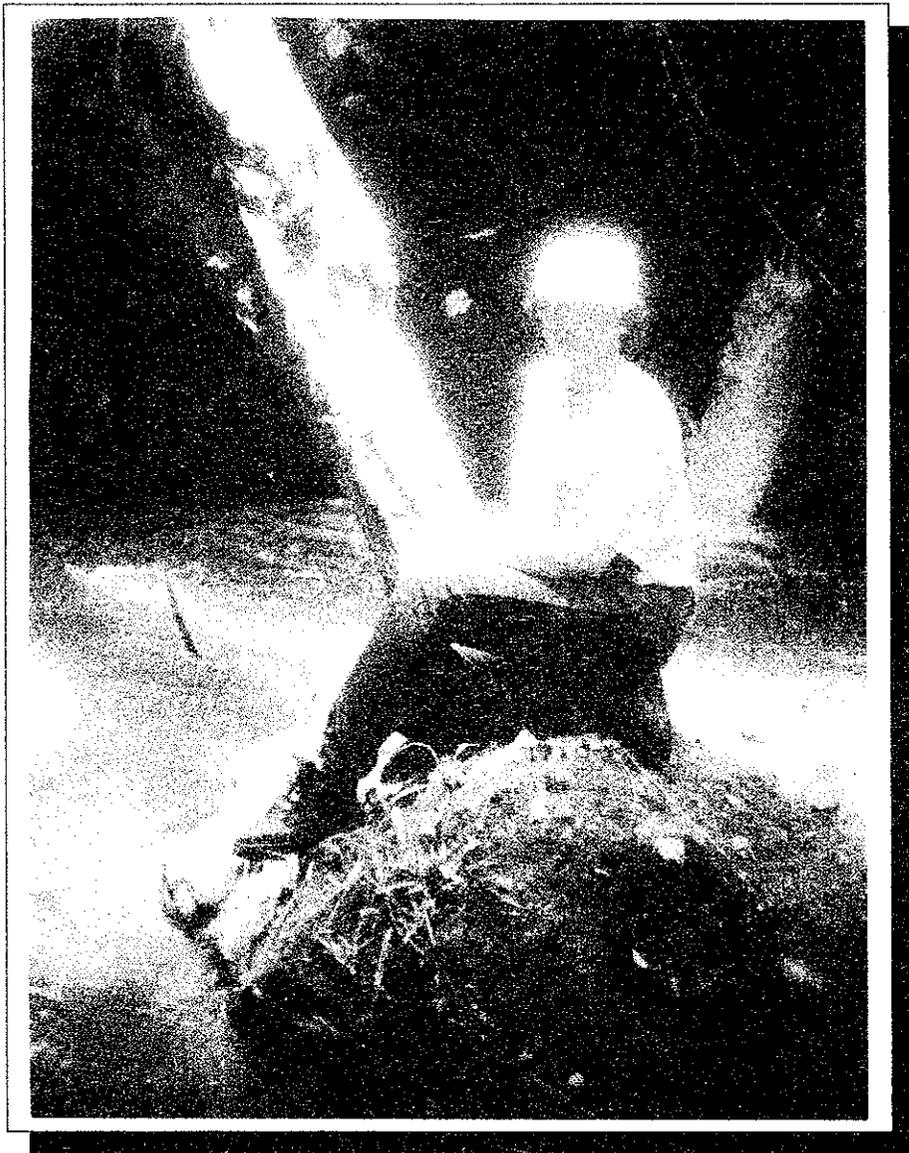
Fotografía # 1

**Muestra de la profundidad del río a ser
utilizado en el aprovechamiento hidroeléctrico.**



Fotografía # 2

**Aspecto de la corriente del río a ser
utilizado en la microcentral hidroeléctrica.**



Fotografía # 3

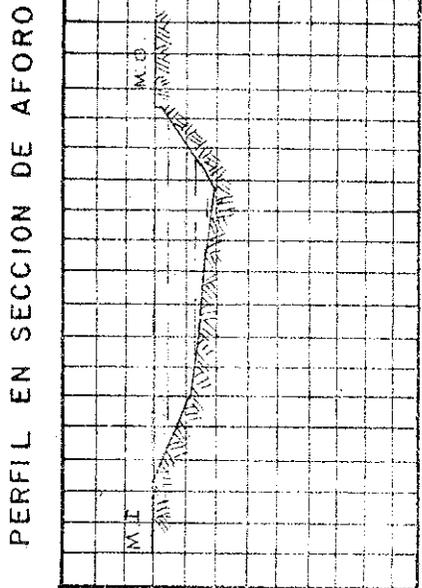
Parte baja del sitio de la caída.

ANEXO # 2

CALCULO DEL AFORO

ESTACION FAS. MONTE GRANDE.
 HORA INICIO: 15:40 RÍO: GURLEY GAZA FECHA: 17/06/95
 HORA FIN: 16:25 MOLINETE: REPORDICO LECT. ESCALA INICIO: REPORDICO
 AFORADORES: J. FRANCISCO PÉREZ A. LECT. ESCALA FIN: _____

Dist. punto Inicial	Prof. de Vert.	Prof. media	Prof. molinete	No. rev.	T i e m p o s		Tiempo prom.	N r p s	Veloc. Calc.	Veloc. media	Ancho	Area Parcial	Q (M) ³ /S Parcial
					1	2							
0.0	0.01	0.079	0.11	5	44.4	43.8	44.1	0.11	0.079	0.039	0.30	0.022	0.001
0.30	0.14	0.17	0.08	5	40.0	40.4	40.2	0.12	0.085	0.082	0.10	0.017	0.001
0.40	0.20	0.18	0.07	5	40.2	41.8	41.0	0.37	0.251	0.168	0.30	0.054	0.009
0.70	0.16	0.15	0.06	15	47.8	46.7	47.25	0.32	0.218	0.234	0.30	0.045	0.011
1.00	0.14	0.13	0.05	20	41.6	42.3	41.95	0.48	0.324	0.271	0.40	0.052	0.014
1.40	0.12	0.06	0.11	20	41.6	42.3	41.95	0.48	0.324	0.162	0.36	0.022	0.003
1.76	0.00	0.06	0.11	20	41.6	42.3	41.95	0.48	0.324				



RESUMEN DE AFORO

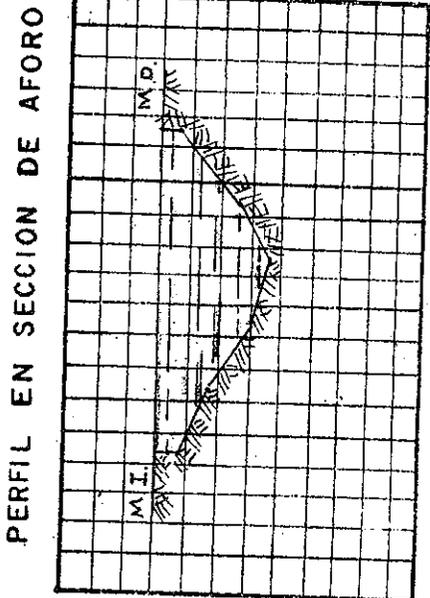
Caudal: 0.039 m³/seg.
 Area: 0.212 m²
 Velocidad Media: 0.186 m/seg.
 Calculó: J. FRANCISCO PÉREZ A.
 Revisó: _____

OBSERVACIONES: AFORO # 5 POR YARDEO.

CALCULO DEL AFORO

ESTACION: FR. MONTEGRANDE.
 HORA INICIO: 14:30
 HORA FIN: 15:00
 A FORADORES: J. FRANCIS CO PEREZ AQUINO.
 RIO: MOLINETE: GUILLEY CZA.
 FECHA: 17/06/95
 LECT. ESCALA INICIO: ESPEJADO
 LECT. ESCALA FIN: _____

Dist. punto Inicial	Prof. de Vert.	Prof. media	Prof. molinete	No. rev.	Tiempos		N r p s	Veloc. Calc.	Veloc. media	Ancho	Area Parcial	Q (M) ³ /S Parcial
					1	2						
0.0	0.05	0.145	0.09	5	M. D.	49.7	0.10	0.072	0.036	0.50	0.072	0.003
0.50	0.24	0.30	0.14	10		73.6	0.14	0.099	0.085	0.50	0.15	0.013
1.00	0.36	0.33	0.12	10		41.2	0.24	0.163	0.132	0.50	0.165	0.022
1.50	0.30	0.24	0.07	15		50.8	0.30	0.205	0.185	0.50	0.12	0.022
2.00	0.18	0.13	0.08	15		50.1	0.30		0.102	0.82	0.107	0.011
2.82	0.08											



RESUMEN DE AFORO
 Caudal: 0.07 m³/seg.
 Area: 0.614 m²
 Velocidad Media: 0.114 m/seg.

Calculado: J. Francisco Perez A.
 Reviso: _____

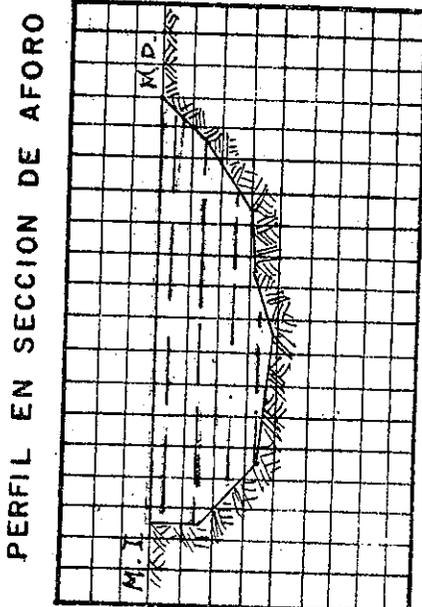
OBSERVACIONES: Aforo #4. por V.M.E.O.

CALCULO DEL AFORO

ESTACION: FCA MONTE GRANDE
 HORA INICIO: 12.50
 HORA FIN: 13.40
 AFORADORES: J. FARM -
CECO PELEZ. AQUINO.

RIO: MOLINETE GURLEY GIZA. FECHA: 17/06/95
 LECT. ESCALA INICIO: FORAS DICO
 LECT. ESCALA FIN: _____

Dist. punto Inicial	Prof. de Vert.	Prof. media	Prof. molinete	No. rev.	Tiempos		Tiempo prom.	N rps	Veloc. Calc.	Veloc. media	Ancho	Area Parcial	Q (M ³ /S) Parcial
					1	2							
0.0	0.16	0.25	DRILLS										
1.00	0.34	0.35	0.13	5	41.7	42.0	41.85	0.12	0.085	0.043	1.00	0.25	0.011
2.00	0.36	0.38	0.14	10	61.3	60.2	60.75	0.16	0.112	0.099	1.00	0.35	0.036
3.00	0.40	0.355	0.16	10	47.3	47.0	47.15	0.21	0.116	0.114	1.00	0.38	0.043
4.00	0.31	0.305	0.12	5	41.8	41.2	41.5	0.12	0.085	0.101	1.00	0.355	0.036
5.00	0.30	0.225	0.12	10	70.1	69.0	69.55	0.14	0.099	0.092	1.00	0.305	0.028
6.00	0.15	0.075	SIN REVOLUCIONES					0.00	0.00	0.049	1.00	0.225	0.011
6.70	0.00	0.00	DRILLS M.D.							0.00	0.70	0.052	0.00



RESUMEN DE AFORO
 Caudal: 0.163 m³/seg.
 Area: 1.918 m²
 Velocidad Media: 0.085 m/seg.

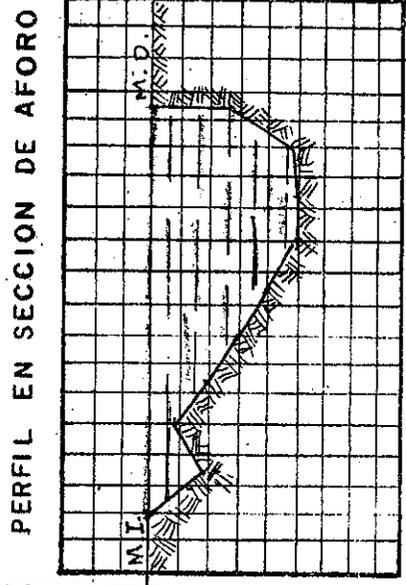
Calculó: J. FRANCISCO PELEZ A.
 Revisó: _____

OBSERVACIONES:
AFORO # 3. POR VADEO.

CALCULO DEL AFORO

ESTACION: FEA. MONTE GRANDE RIO: 17/06/95
 HORA INICIO: 11:30 FECHA: 17/06/95
 HORA FIN: 12:00 MOLINETE: SURLEY 22A LECT. ESCALA INICIO: ESPORADICO
 A.FORADORES: J. FRAN - LECT. ESCALA FIN: _____
CISCO PEREZ AQUINO

Dist. punto Inicial	Prof. de Vert.	Prof. media	Prof. molinete	No rev.	Tiempo s		N rps	Veloc. Calc.	Veloc. media	Ancho	Area Parcial	Q (M ³ /S) Parcial
					1	2						
0.0	0.28	0.38	0.19	10	82.7	81.5	0.12	0.085	0.043	0.50	0.19	0.008
0.50	0.48	0.49	0.20	20	46.0	47.1	0.43	0.291	0.188	0.50	0.245	0.046
1.00	0.50	0.50	0.20	25	44.6	43.9	0.56	0.377	0.284	0.50	0.25	0.083
1.50	0.60	0.45	0.16	15	58.3	58.4	0.26	0.178	0.277	0.50	0.225	0.062
2.00	0.40	0.345	0.12	10	68.2	69.7	0.15	0.105	0.142	0.50	0.172	0.024
2.5	0.29	0.195	sin revoluciones			0	0.0	0.0	0.083	0.50	0.098	0.005
3.00	0.10	0.09	S. R.			0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.045	0.00
3.50	0.08	0.135				0.0	0.0	0.0	0.00	0.50	0.068	0.00



RESUMEN DE AFORO

Caudal: 0.23 m³/seg.
 Area: 1.388 m²
 Velocidad Media: 0.165 m/seg.

Calculo: J. FRANCISCO PEREZ. A.
 Reviso: _____

OBSERVACIONES: Aforo # 2
por. vadeo.

CALCULO DEL AFORO

ESTACION: Fca. MONTE GRANDE.

HORA INICIO: 10:05

HORA FIN: 10:55

AFORADORES: J. FRANCIS -
CO. PÉREZ AQUINO

RIO: BOLAS.

MOLINETE: GURLEY

622 A.

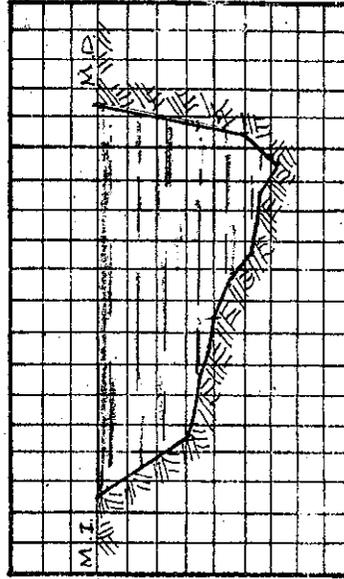
FECHA: 17/06/95

LECT. ESCALA INICIO: ESPERADICO

LECT. ESCALA FIN: _____

Dist. punto Inicial	Prof. de Vert.	Prof. media molinete	Prof. molinete rev.	No. rev.	Tiempos		Tiempo prom.	N rps	Veloc. Calc.	Veloc. media	Ancho	Area Parcial	Q (M ³ /S) Parcial
					1	2							
0.00	0.0	0.15	0.12	10	41.4	41.1	41.25	0.24	0.165	0.082	1.00	0.15	0.012
1.00	0.30	0.31	0.13	15	49.2	48.7	48.95	0.31	0.211	0.188	0.60	0.155	0.027
1.50	0.32	0.33	0.14	15	47.5	50.2	49.85	0.30	0.205	0.208	0.60	0.165	0.034
2.00	0.34	0.36	0.15	15	55.7	55.8	55.5	0.27	0.185	0.175	0.50	0.18	0.035
2.50	0.38	0.39	0.16	15	50.7	50.7	50.8	0.30	0.205	0.195	0.50	0.195	0.038
3.00	0.40	0.425	0.18	15	47.6	48.3	48.0	0.31	0.211	0.208	0.50	0.212	0.044
3.50	0.45	0.485	0.21	15	55.1	54.0	54.55	0.27	0.185	0.198	0.50	0.242	0.048
4.00	0.52	0.53	0.22	15	60.6	60.1	60.35	0.25	0.172	0.178	0.50	0.265	0.047
4.50	0.54												

PERFIL EN SECCION DE AFORO



RESUMEN DE AFORO

Caudal: 0.391 m³/seg.

Area: 2.665 m²

Velocidad Media: 0.147 m/seg.

Calculó: J. FRANCISCO PÉREZ A.

Revisó: _____

OBSERVACIONES:

AFORO # 1 POR VADEO.

ANEXO # 3

Anexo 3.1

DATOS DE PRECIPITACION
FINCA MONTEGRANDE

ANO	MES	PREC.	DIAS
1970	ENE.	11.00	1
1970	FEB.	0.00	0
1970	MAR.	0.00	0
1970	ABR.	131.90	9
1970	MAY.	147.70	14
1970	JUN.	526.90	23
1970	JUL.	905.00	26
1970	AGO.	611.00	29
1970	SEP.	550.40	27
1970	OCT.	594.20	27
1970	NOV.	152.70	13
1970	DIC.	2.00	1
1971	ENE.	48.90	7
1971	FEB.	62.70	7
1971	MAR.	51.60	3
1971	ABR.	34.30	5
1971	MAY.	460.10	23
1971	JUN.	362.20	27
1971	JUL.	480.80	24
1971	AGO.	727.60	23
1971	SEP.	773.70	29
1971	OCT.	830.20	25
1971	NOV.	176.20	17
1971	DIC.	9.60	3
1972	ENE.	37.70	3
1972	FEB.	7.00	2
1972	MAR.	221.20	10
1972	ABR.	224.40	17
1972	MAY.	654.50	25
1972	JUN.	409.70	17
1972	JUL.	238.40	15
1972	AGO.	397.00	22
1972	SEP.	536.90	18
1972	OCT.	470.60	22
1972	NOV.	400.50	19

Anexo 3.1

DATOS DE PRECIPITACION
FINCA MONTEGRANDE

Continuacion

1972	DIC.	24.00	2
1973	ENE.	0.00	0
1973	FEB.	5.60	2
1973	MAR.	114.90	5
1973	ABR.	274.90	15
1973	MAY.	224.00	19
1973	JUN.	606.90	23
1973	JUL.	464.90	29
1973	AGO.	969.40	28
1973	SEP.	491.10	23
1973	OCT.	565.30	28
1973	NOV.	132.90	13
1973	DIC.	6.40	4
1974	ENE.	79.40	15
1974	FEB.	80.30	9
1974	MAR.	133.10	5
1974	ABR.	103.1	7
1974	MAY.	624.00	24
1974	JUN.	629.60	27
1974	JUL.	239.30	21
1974	AGO.	332.20	24
1974	SEP.	653.70	27
1974	OCT.	130.00	15
1974	NOV.	180.30	12
1974	DIC.		
1975	ENE.	2.40	2
1975	FEB.	0.50	2
1975	MAR.	66.60	10
1975	ABR.	60.00	7
1975	MAY.	579.90	23
1975	JUN.	401.50	22
1975	JUL.	530.00	25
1975	AGO.	605.90	24
1975	SEP.	992.20	30
1975	OCT.	404.60	28
1975	NOV.	142.20	19
1975	DIC.	204.10	6

Anexo 3.1

DATOS DE PRECIPITACION
FINCA MONTEGRANDE

Continuacion

1976	ENE.	9.00	2
1976	FEB.	7.00	2
1976	MAR.	12.90	7
1976	ABR.	264.40	17
1976	MAY.	298.60	21
1976	JUN.	430.70	28
1976	JUL.	204.20	17
1976	AGO.	292.90	18
1976	SEP.	362.00	23
1976	OCT.	415.90	23
1976	NOV.	170.00	11
1976	DIC.	133.10	2
1977	ENE.	19.20	2
1977	FEB.	0.00	0
1977	MAR.	0.00	0
1977	ABR.	224.00	13
1977	MAY.	258.20	22
1977	JUN.	252.70	28
1977	JUL.	120.40	20
1977	AGO.	244.90	23
1977	SEP.	383.10	24
1977	OCT.	283.20	25
1977	NOV.	212.10	14
1977	DIC.	68.70	8
1978	ENE.	0.00	0
1978	FEB.	0.00	0
1978	MAR.	41.20	2
1978	ABR.	185.50	13
1978	MAY.	280.70	15
1978	JUN.	413.30	24
1978	JUL.	389.90	22
1978	AGO.	280.70	28
1978	SEP.	444.90	25
1978	OCT.	259.10	15
1978	NOV.	76.70	6
1978	DIC.	60.00	4
1978	ENE.	75.00	2

Anexo 3.1

DATOS DE PRECIPITACION
FINCA MONTEGRANDE

Continuacion

1982	MAR.	12.00	4
1982	ABR.	379.40	18
1982	MAY.	478.30	25
1982	JUN.	404.30	22
1982	JUL.	253.70	21
1982	AGO.	278.70	18
1982	SEP.	594.70	25
1982	OCT.	338.60	20
1982	NOV.	42.40	5
1982	DIC.	6.30	2
1983	ENE.	0.00	0
1983	FEB.	53.50	2
1983	MAR.	8.70	2
1983	ABR.	12.00	5
1983	MAY.	188.20	18
1983	JUN.	594.00	23
1983	JUL.	613.00	18
1983	AGO.	478.80	22
1983	SEP.	1,002.70	25
1983	OCT.	497.70	19
1983	NOV.	144.40	9
1983	DIC.	10.70	2
1984	ENE.	1.80	1
1984	FEB.	127.80	5
1984	MAR.	90.80	4
1984	ABR.	42.00	3
1984	MAY.	508.40	25
1984	JUN.	552.80	23
1984	JUL.	552.80	26
1984	AGO.	508.40	23
1984	SEP.	460.00	25
1984	OCT.	345.40	21
1984	NOV.	159.70	7
1984	DIC.	-	-

Anexo 3.1

DATOS DE PRECIPITACION
FINCA MONTEGRANDE

Continuacion

1979	FEB.	0.00	0
1979	MAR.	221.00	5
1979	ABR.	344.90	15
1979	MAY.	399.40	22
1979	JUN.	501.40	28
1979	JUL.	641.70	23
1979	AGO.	630.00	24
1979	SEP.	625.40	20
1979	OCT.	620.90	24
1979	NOV.	109.50	6
1979	DIC.	53.40	5
1980	ENE.	24.90	1
1980	FEB.	3.90	2
1980	MAR.	9.10	3
1980	ABR.	131.20	15
1980	MAY.	422.60	19
1980	JUN.	443.30	19
1980	JUL.	449.00	26
1980	AGO.	494.70	24
1980	SEP.	613.40	24
1980	OCT.	976.90	22
1980	NOV.	100.10	9
1980	DIC.	54.70	7
1981	ENE.	1.00	1
1981	FEB.	0.00	0
1981	MAR.	62.10	9
1981	ABR.	219.50	13
1981	MAY.	442.90	23
1981	JUN.	625.30	27
1981	JUL.	553.20	26
1981	AGO.	836.60	29
1981	SEP.	404.20	26
1981	OCT.	439.90	25
1981	NOV.	159.70	7
1981	DIC.	75.30	2
1982	ENE.	34.00	2
1982	FEB.	119.30	7

ESTACION No. 1361 CUS. 1
 NOMBRE COATEPEQUE FREGATA LAT. 14°43'55" S LONG. 91°51'45" W ELEV. 490 m.
 DEPARTAMENTO MEZATITLAN MUNICIPIO COATEPEQUE CORREO 104005
 DE TIENDA PROPIEDAD DE FECHA EN QUE INICIO OPERACIONES 1934
 DATOS DE PRECIPITACION Y DIAS
 OBSERVACIONES

LOCALIZACION

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1970	01 25.4	00 00.0	00 00.0	06 130.8	08 247.6	22 702.6	20 589.3	21 480.1	25 477.5	23 520.7	09 218.4	00 00.0	125 3392.4
1971	02 39.4	00 00.0	02 07.6	00 00.0	15 402.6	21 372.1	13 376.7	21 607.8	21 454.4	20 530.3	10 299.7	01 25.4	126 3116.0
1972	01 35.6	07 25.4	07 294.6	07 226.1	16 603.2	20 358.1	06 091.4	23 299.0	14 383.5	19 436.9	15 337.8	00 00.0	129 3051.6
1973	00 00.0	00 00.0	01 017.8	08 205.7	15 467.9	21 510.5	25 598.2	25 780.8	22 654.0	25 755.6	08 165.1	02 14.0	152 4169.6
1974	06 167.4	03 66.0	06 119.4	04 104.1	19 519.9	25 709.9	17 365.0	19 420.9	22 663.4	13 141.0	10 241.3	01 07.6	145 3465.9
1975	01 07.6	00 00.0	04 041.9	08 111.8	16 322.6	18 455.9	19 377.9	21 401.8	28 741.4	24 416.0	17 317.5	08 195.5	164 3389.9
1976	01 06.3	00 00.0	02 020.3	16 288.3	17 341.5	21 444.5	18 205.0	15 298.4	18 337.8	20 494.5	09 207.0	01 021.6	138 2665.3
1977	03 33.0	00 00.0	00 00.0	09 184.1	14 276.9	23 443.2	14 183.6	22 306.3	19 333.8	22 676.9	12 111.8	10 110.5	148 2860.1
1978	02 17.8	02 12.7	02 29.2	10 209.6	13 231.1	20 597.7	21 387.3	20 399.5	24 573.3	16 172.7	04 062.7	04 015.5	138 2709.1
1979	01 01.3	00 00.0	06 139.7	13 278.6	20 431.0	22 506.2	20 366.5	23 586.2	20 674.7	23 645.7	06 047.0	02 11.4	156 3628.3
DECADA	02 27.3	01 10.4	03 67.0	08 173.9	15 384.4	21 510.6	17 354.0	21 451.0	21 523.3	20 479.0	10 200.8	03 40.1	143 3824.8

ESTACION No. 1361 NOMBRE COATEPEQUE FREGATA ORDEN 4 TARJETA No. 4

ESTACION No. 13.6.1 **INSIVUMEH, TARJETA No.** _____
 NOMBRE COATEPEQUE FEGUA LAT. 14.42.15 LONG. 91.51.14 ELEV. 490 Mts.
 DEPARTAMENTO QUETZALENANGO MUNICIPIO COATEPEQUE CORREO _____
 PROPIEDAD DE _____ DATOS DE PRECIPITACION EN MILIMETROS _____
 TROS Y DIAS DE LLUVIA TOT. FECHA EN QUE INICIO OPERACIONES 1934
 OBSERVACIONES _____

LOCALIZACION

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
1980	01	03	02	09	16	18	20	21	18	18	08	09	197
	30.5	15.2	14.0	151.7	497.2	341.6	468.6	529.6	460.2	557.5	175.3	024.6	3268.0
1981	01	00	03	09	14	20	20	24	21	17	04	02	135
	07.6	00.0	91.4	320.9	254.8	739.2	541.0	491.2	430.3	415.2	039.4	061.5	3382.7
1982	03	04	00	17	20	21	15	15	25	18	07	03	148
	40.6	52.8	00.0	354.3	581.7	416.6	185.4	142.2	555.0	321.8	077.5	024.1	2752.0
1983	00	02	02	05	09	23	14	18	22	19	05	00	119
	00.0	53.3	31.7	128.3	269.2	626.9	469.9	529.6	712.5	712.5	055.9	00.0	3589.8
1984	00	04	03	05	22	15	20	20	23	18	09	00	139
	00.0	76.2	33.0	040.9	468.4	453.4	624.8	589.3	551.7	304.8	135.9	00.0	1278.4
1985	01	03	02	06	11	18	18	18	16				201
	10.2	39.4	12.7	203.2	224.0	534.7	458.5	393.7	309.4	613.4	171.4	35.6	3006.2
1986	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
	00.0	61.0	27.9	071.1	406.4	246.4	342.4	272.1	434.3	592.6	122.4	08.9	2635.5
1987	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
	00.0	60.0	55.9	121.9	081.3	171.5	590.6	361.5	590.3	149.0	049.5	047.0	2221.3
1988	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
	76.2	24.1	16.5	072.6	307.1	307.3	540.0	610.4	495.8	213.4	063.5	076.2	2803.1
1989	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00	00
	12.7	33.3	1.3	12.7	224.2	222.9	192.3	226.5		132.6	no hay	34.3	
DECADA													

ESTACION No. 13.6.1 NOMBRE COATEPEQUE ORDEN _____ TARJETA No. _____

ANEXO # 3.3

ALGORITMO # 1: ANALISIS DE DOBLE MASA.

Para comprobar la consistencia de un registro de precipitación en una estación, se recurre al análisis de curvas de doble masa o llamada también de doble acumulación.

El método se basa en el hecho de que debe existir, en una cuenca homogénea, la proporcionalidad entre las precipitaciones medidas en diferentes estaciones y a su vez entre precipitaciones y caudales entre sí.

El análisis de doble masa consiste en calcular y graficar en papel milimetrado, la sumatoria acumulada de los valores de precipitación durante un mismo período de tiempo, tanto para la estación base (la cual se considera de registro homogéneo), como para la estación que se quiere investigar o estación satélite). Los registros homogéneos tienden a seguir una línea recta. Quiebre en esa línea son indicios de errores, entre los que podrían estar: Cambio en la localización del pluviómetro, instrumentación, errores en el procedimiento observacional etc.

PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACION DE LAS CURVAS DE DOBLE MASA.

a) **Selección de la estación base.**

Esta estación es la que se debe tomar como registro confiable. Además se señalan como condiciones básicas las siguientes:

- ◆ Que sus registros sean extensos.
- ◆ Que su distancia sea menor que 30 Km en relación con la estación satélite.
- ◆ Que su diferencia de elevación no sea mayor de 300 mts. en relación con la estación satélite.
- ◆ Que el coeficiente de variabilidad cumpla con los siguientes criterios:

$N \leq 5$ años	=====	$e \leq \pm 15 \%$
$5 \leq N \leq 10$	=====	$e \leq \pm 10 \%$
$10 \leq N \leq 25$	=====	$e \leq \pm 4 \%$
$25 \leq N \leq 50$	=====	$e \leq \pm 2 \%$

$$e = \frac{(\sigma / \sqrt{N})}{x_{med}}$$

$$\sigma^2 = \left(\frac{1}{N-1} \sum (x - x_{med})^2 \right)$$

N = Número de años de registro.

b) Cálculo de las sumatorias:

Sean:

$x_{s1}, x_{s2}, x_{s3} \dots x_{sn}$ los datos para la estación satélite

$x_{b1}, x_{b2}, x_{b3} \dots x_{bn}$ los datos para la estación base.

Entonces se obtienen:

$$S_{s1} = x_{s1}$$

$$S_{s2} = x_{s1} + x_{s2}$$

$$S_{s2} = x_{s1} + x_{s2} + \dots + x_{sn}$$

para la estación satélite

$$S_{b1} = x_{b1}$$

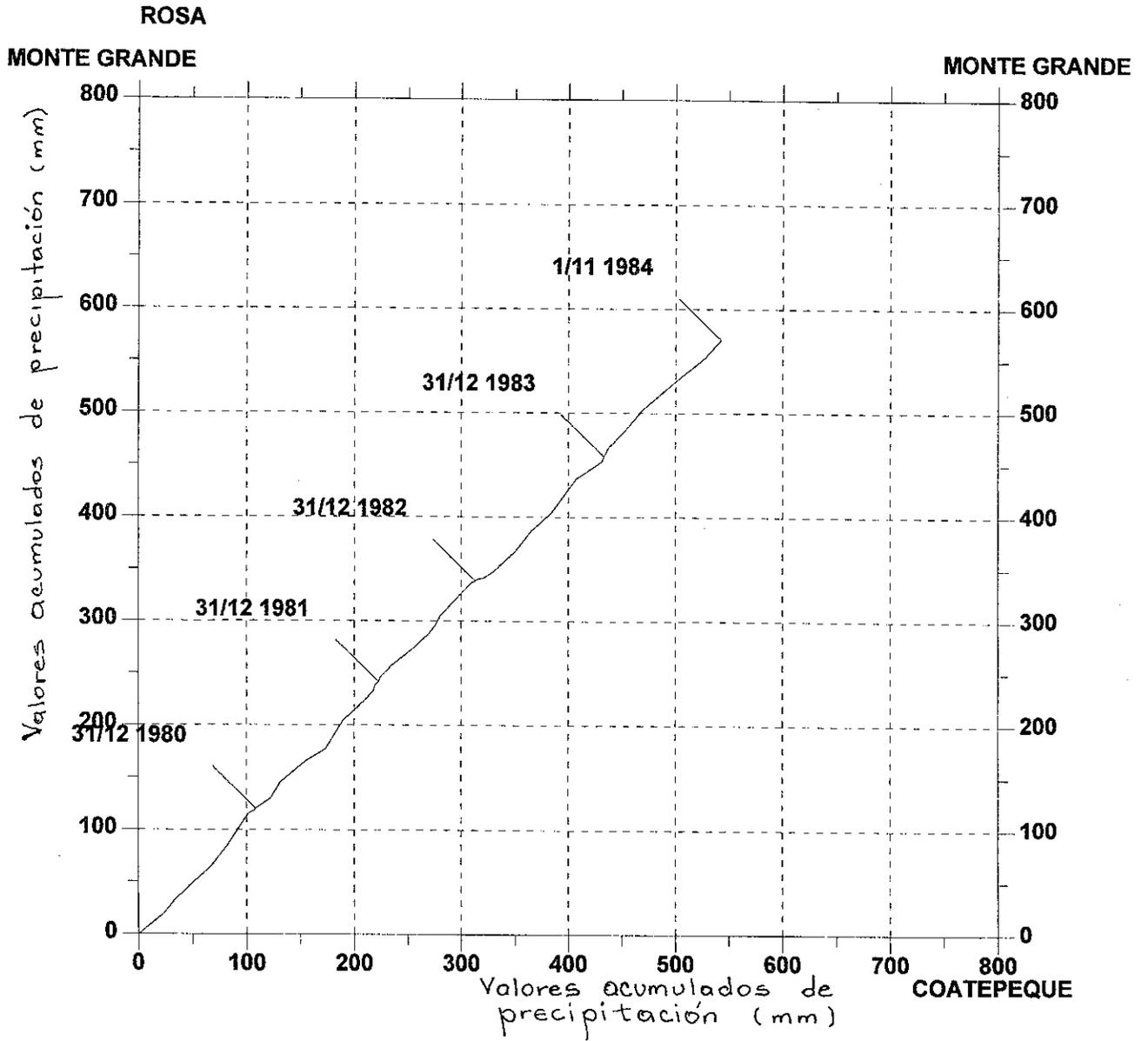
$$S_{b2} = x_{b1} + x_{b2}$$

$$S_{b2} = x_{b1} + x_{b2} + \dots + x_{bn}$$

para la estación base

c) Ploteo de los valores acumulados. (fig # 23)

(Ref 5, 10, 12 y 13)



	Análisis Doble Masa Estaciones Coatepeque-Montegrande	Periodo : 1979 - 1984
Operador: Ing. Rosa A. M. L.	Responsable: Ing. Rosa A. Martínez López.	Fecha: Julio 1996
		MIKE 11 Estudio Especial

ANEXO 3.4

ALGORITMO # 2 DETERMINACION DEL CAUDAL DE OPERACIONES DE LA MICROCENTRAL HIDROELECTRICA.

Antes de iniciar cualquier trabajo es necesario verificar la consistencia y homogeneidad de los datos recopilados. Una forma de realizar esto, es por medio del análisis de doble masa. (ver anexo 3.3).

La determinación del caudal se realiza de la siguiente forma:

1.- Existe suficiente información hidrológica (no es objeto de nuestro estudio) =>> Métodos tradicionales de hidrología.

2.- Existe poca o nula información hidrológica.

2.1. Existen solamente datos de intensidad de lluvia - I_p :

a) Q_o = Caudal medio aforado en período de estiaje

b) $P = I_p * t$

t - Tiempo de duración promedio.

I_p - Intensidad de lluvias promedio.

e) $E = P - I$

f) $Q_e = E * A / t$; A - Area de la cuenca de aporte

g) $Q_c = Q_o + Q_e$

2.2. Los datos son de cantidad de lluvia - P :

a) Q_o = Caudal medio aforado en período de estiaje.

b) Elegir rango de las lluvias medias.

c) Determinar las lluvias medias promedio:

$P_{med} = \Sigma P_{med} / n$; n - cantidad de datos

d) Calcular la escorrentía.

$$E = P_{med} - I$$

e) Determinar el volúmen medio de escorrentía.

$$V = E * A$$

f) Realizar curvas área - capacidad (ver anexo 3.8) y determinar la altura de presa correspondiente a ese almacenamiento.

g) Si la altura de presa es muy grande, elegir una altura de presa conveniente.

h) Con la altura de presa elegida y utilizando la curva altura - volúmen, determinar la capacidad de almacenamiento del embalse (V).

i) Determinar el caudal que puede ser extraído del almacenamiento en un período de por lo menos un mes sin lluvias (Q_e).

$$Q_e = V / 30 * 86,400$$

j) Determinar el caudal de diseño de la central:

$$Q_c = Q_o + Q_e$$

2.3 No existe ningun dato hidrológico del sitio de interés:

$$Q_c = Q_o$$

Anexo 3.5

CALCULO DE PRECIPITACIONES MEDIAS

precipitacion minima		precipitacion media		precipitacion maxima	
0 - 334 (mm)	dias	334-668	dias	668 - 103 (mm)	dias
333.20	26	654.50	25	1,002.70	25
332.20	24	653.70	27	905.00	26
298.60	21	641.70	23	892.20	30
292.80	18	630.00	24	876.80	22
283.20	25	628.60	27	868.40	28
280.70	28	626.40	20	836.60	29
280.70	15	625.30	27	830.20	25
278.70	18	624.00	24	773.70	28
274.90	15	620.90	24	727.60	23
264.40	17	613.40	24		
259.10	15	613.00	18		
258.20	22	611.00	29		
253.70	21	608.90	23		
252.70	26	605.80	24		
244.90	23	594.70	25		
239.40	15	594.20	27		
238.30	21	594.00	23		
224.40	17	565.30	28		
224.00	19	552.80	26		
224.00	13	552.80	23		
221.20	10	550.40	27		
221.00	5	536.80	18		
218.50	13	530.00	25		
212.10	14	526.90	23		
204.20	17	508.40	23		
204.10	6	506.40	25		
186.20	16	501.40	26		
185.50	13	497.70	19		
176.20	17	494.70	24		
170.00	11	491.10	23		
160.30	12	480.80	24		
159.70	7	478.30	25		
158.70	7	476.80	22		

Anexo 3.5

CALCULO DE PRECIPITACIONES MEDIAS

Continuacion

precipitacion minima		precipitacion media		precipitacion maxima	
0 - 334 (mm)	dias	334-668	dias	668 - 103 (mm)	dias
152.70	15	470.60	22		
147.70	14	464.90	29		
144.40	9	460.00	25		
142.20	18	450.10	23		
133.10	5	448.00	26		
133.10	2	444.90	25		
132.90	13	443.30	19		
131.90	9	442.90	23		
131.20	13	439.90	25		
130.00	15	430.70	29		
127.90	5	422.60	19		
120.40	20	415.90	23		
119.30	7	413.30	24		
114.90	5	409.70	17		
109.00	6	404.60	26		
103.10	7	404.30	22		
100.10	9	404.20	26		
90.60	4	401.50	22		
90.30	9	400.30	19		
79.40	15	399.40	22		
76.70	6	399.90	22		
75.30	2	397.00	22		
75.00	2	393.10	24		
69.70	9	392.20	27		
66.60	10	379.90	23		
62.70	7	373.40	19		
62.10	9	362.00	23		
60.00	7	345.40	21		
60.00	4	344.90	15		
54.70	7	339.90	20		
53.50	2				
53.40	5				
51.60	3				
49.90	7				
42.40	5				
42.00	3				
41.20	2				
37.70	3				
34.30	5				

Anexo 3.6

DETERMINACION DE LA ESCORRENTIA MEDIA

No	$P_{min}(mt)$	$P_{m.med}(mt)$	$P_{max}(mt)$	$E_{min}(mt)$	$E_{med}(mt)$	$E_{max}(mt)$
1	0	0.493	1.093	0.000	0.419	0.853
2	0	0.493	1.093	0.000	0.419	0.853
3	0	0.493	1.093	0.000	0.419	0.853
total	0	1.48	3.01	0.00	1.26	2.56

DETERMINACION DE LOS VOLUMENES MENSUALES DE ESCORRENTIA

No	L (mt)	$A (m^2)$	$E_{min}(mt)$	$E_{med}(mt)$	$E_{max}(mt)$	$V_{m.min}(m^3)$	$V_{m.med}(m^3)$	$V_{m.max}(m^3)$
1	1385	487,500	0	0.419	0.853	0.00	204,262.50	415,837.50
2	1300	1,107,000	0	0.419	0.853	0.00	463,833.00	944,271.00
3	1855	324,750	0	0.419	0.853	0.00	135,879.25	277,011.75
total	3740	1,919,250.00	0.00	1.26	2.56	0.00	804,165.75	1,637,120.25

Anexo 3.7

DETERMINACION DE CAUDALES DE ESCORRENTIA DISPONIBLES

PUNTO	Vm.min (Mt ^ 3)	Vm.med (Mt ^ 3)	Vm.max (Mt ^ 3)	Qmin (Mt ^ 3/seg)	Qmed (Mt ^ 3/seg)	Qmax (Mt ^ 3/seg)
A	0.00	204,262.50	415,837.50	0.000	0.079	0.160
B	0.00	463,833.00	944,271.00	0.000	0.179	0.364
C	0.00	136,070.25	277,011.75	0.000	0.052	0.107
total	0.00	604,165.75	1,637,120.25	0.000	0.310	0.632

ANEXO 3.8.

ELABORACION DE LAS CURVAS AREA - CAPACIDAD

Las curvas área - capacidad se elaboran con la ayuda de planos de curvas a nivel y comprenden:

- a) Curva Area - Altura.
- b) Curva Volúmen - Altura.
- c) Curva Caudal - Altura

PROCEDIMIENTO:

- ◆ Sobre el plano de curvas a nivel se elige el sitio de cierre de la presa.
- ◆ Se determina el nivel del fondo del río en el sitio elegido y se toma este como el nivel cero.
- ◆ Se planimetra el plano, en el sitio elegido de la presa para alturas (h) de 1 a 5 metros a partir del nivel cero, resultando así las áreas (A) inundadas en dependencia de la altura a que se levante la cortina.
- ◆ Se grafican en un sistema de coordenadas, los valores de h vs A. (curva Area - Altura).
- ◆ Se multiplican los valores del área por su correspondiente altura, obteniendo los volúmenes (V) de almacenamiento del embalse con relación a la altura de la presa.
- ◆ Se plotean los valores V vs h en un sistema de coordenadas (curva Volúmen - Altura). (Ref. 6)

Anexo 3.8

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO
Y CAUDALES APROVECHABLES DEL EMBALSE

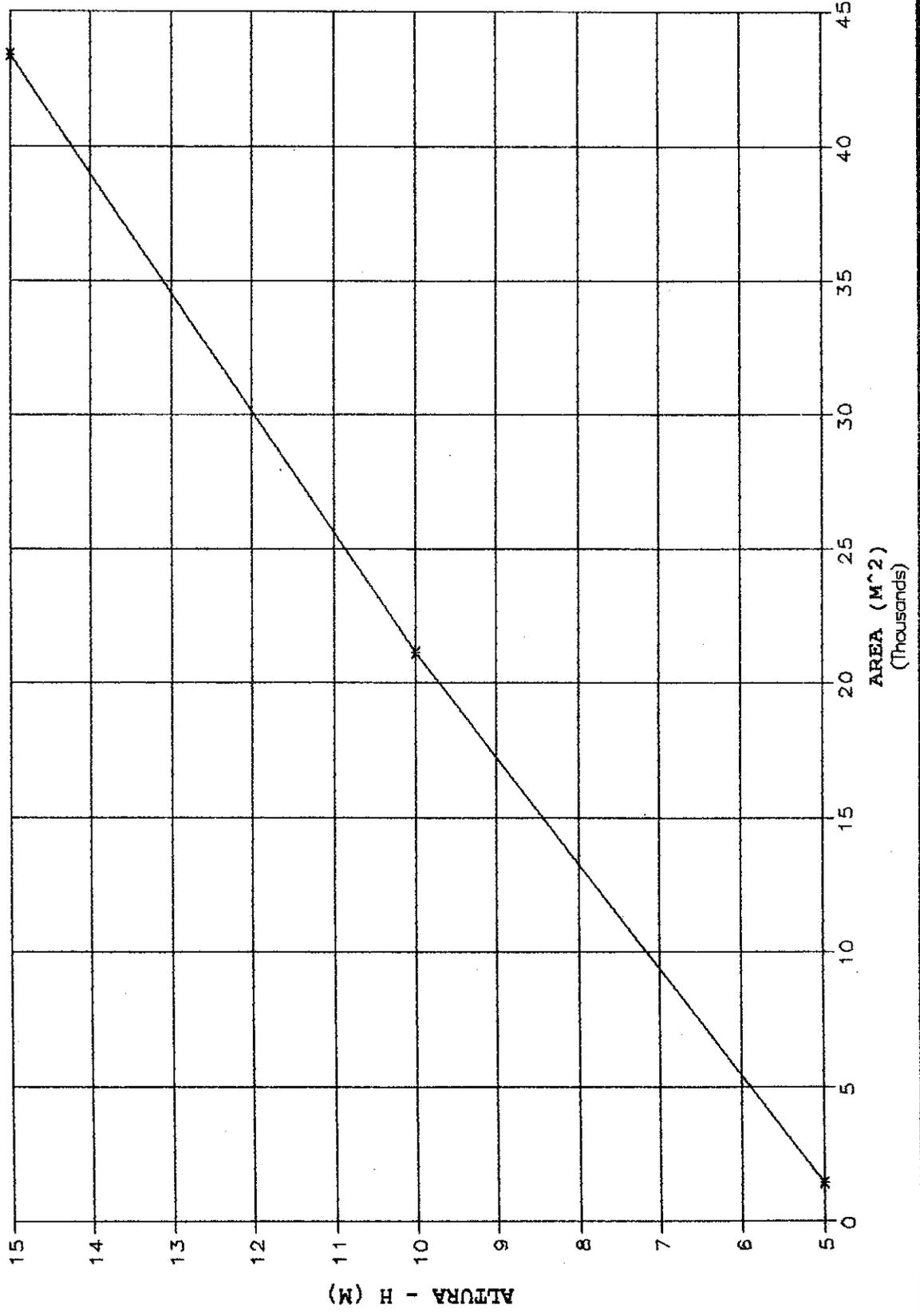
PUNTO # 1 (CAIDA)

H	S	V	Q
5	1,430	3,575	0.0014
10	21,100	105,500	0.0407
15	43,400	325,500	0.1256

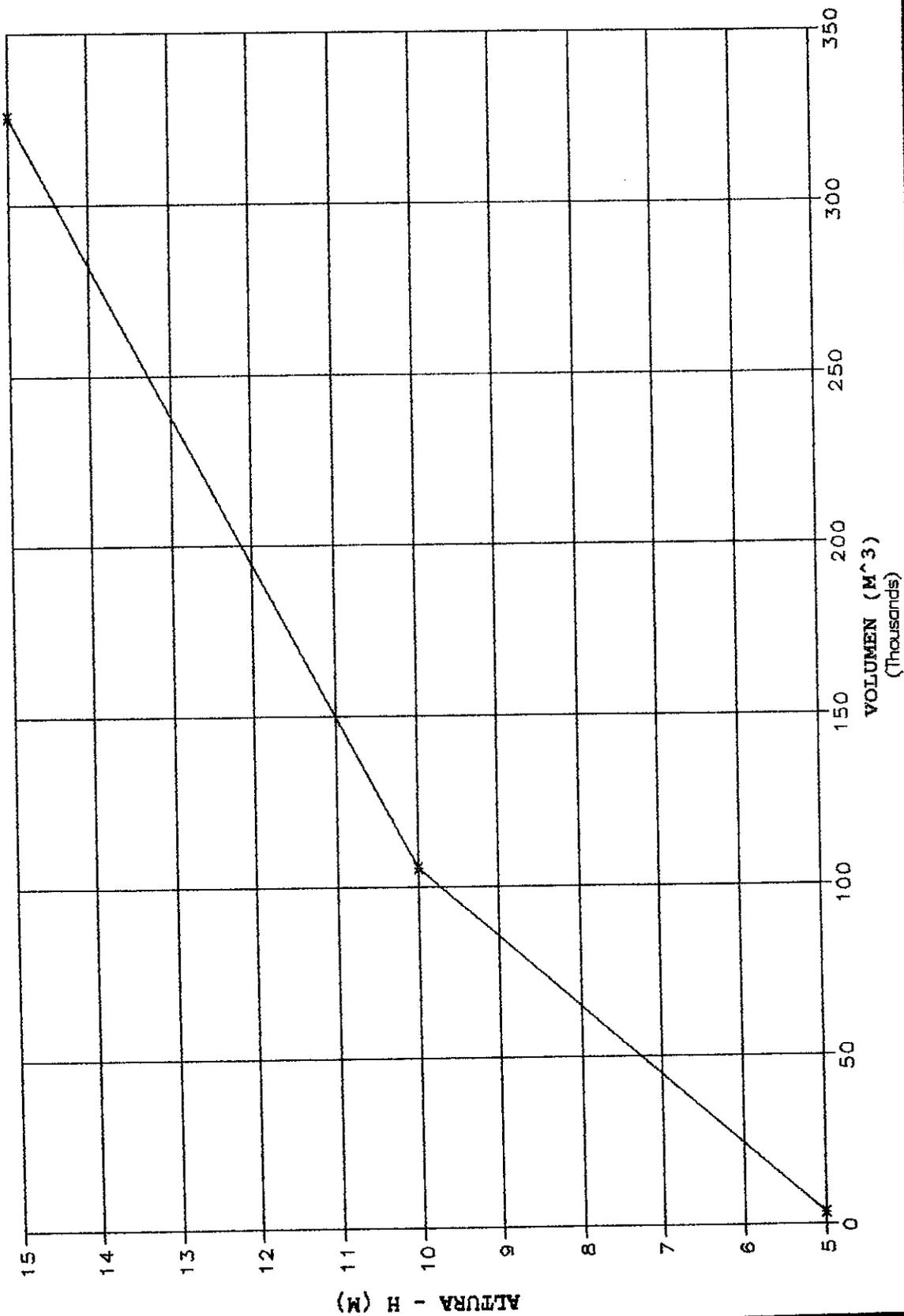
PUNTO # 2

H	S	V	Q
5	5,000	12,500	0.0048
10	24,000	120,000	0.0463
15	80,000	600,000	0.2315

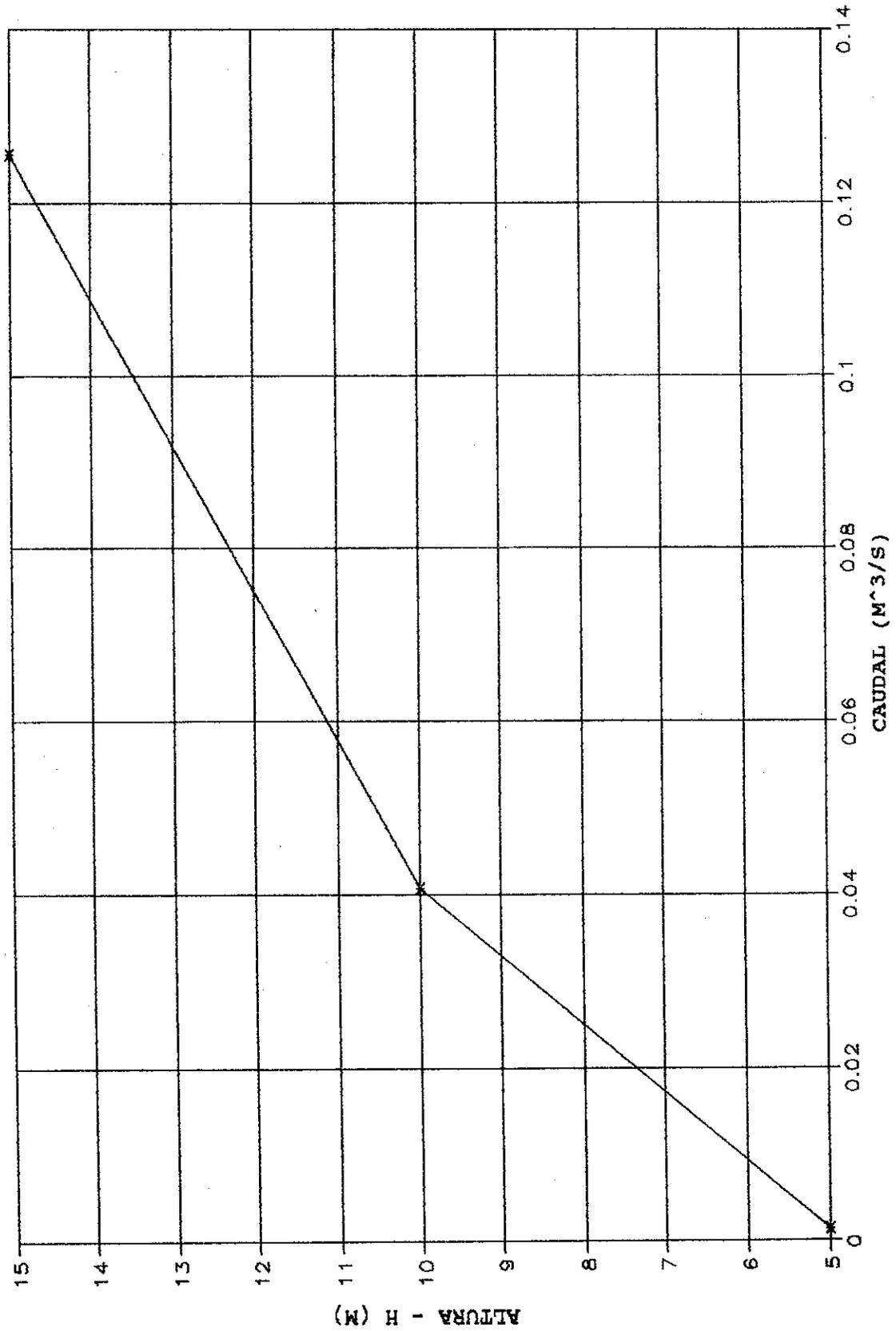
**CURVA AREA - ALTURA
PARTE ALTA DE LA CAIDA**



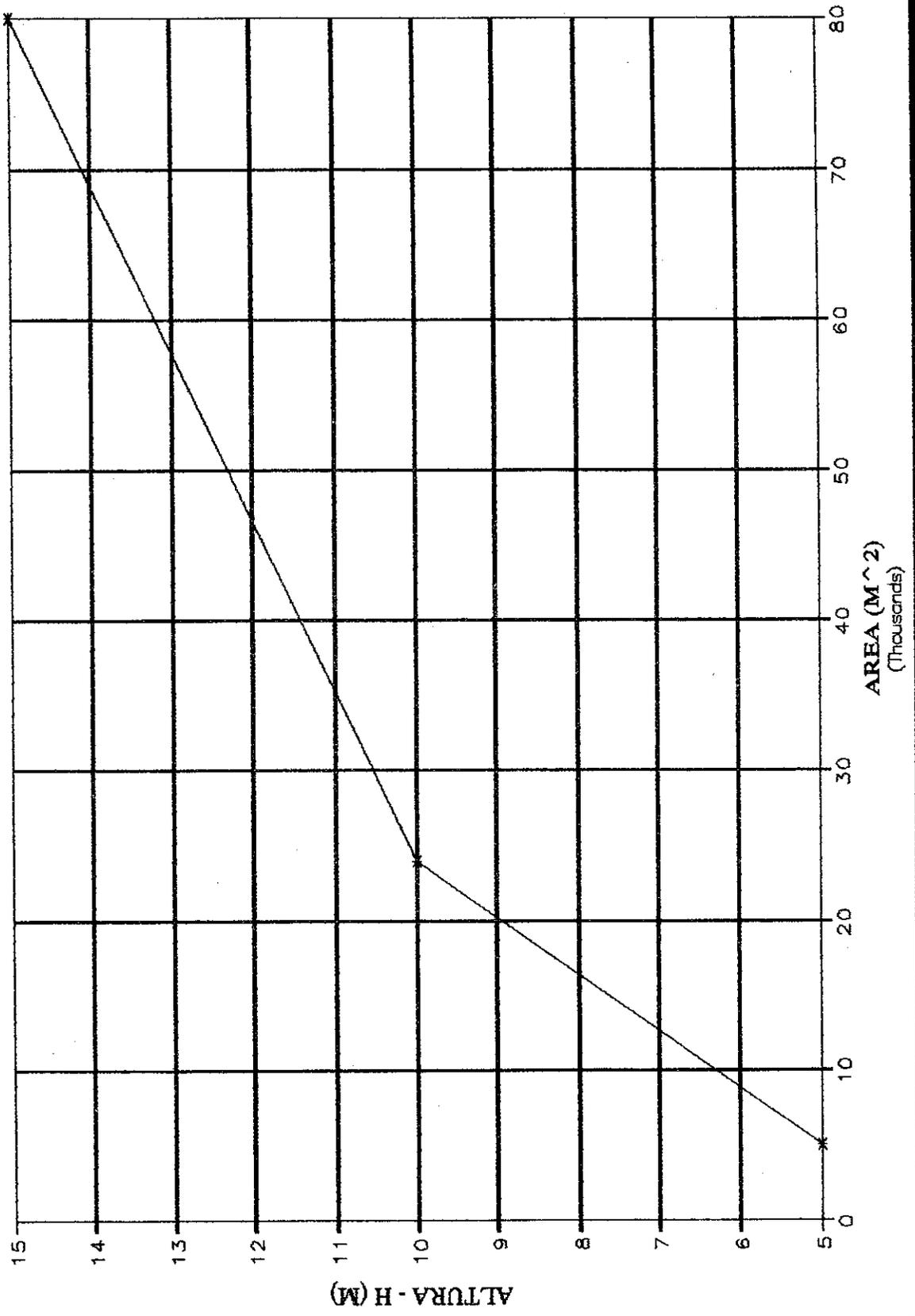
**CURVA ALTURA - VOLUMEN
PARTE ALTA DE LA CAIDA**



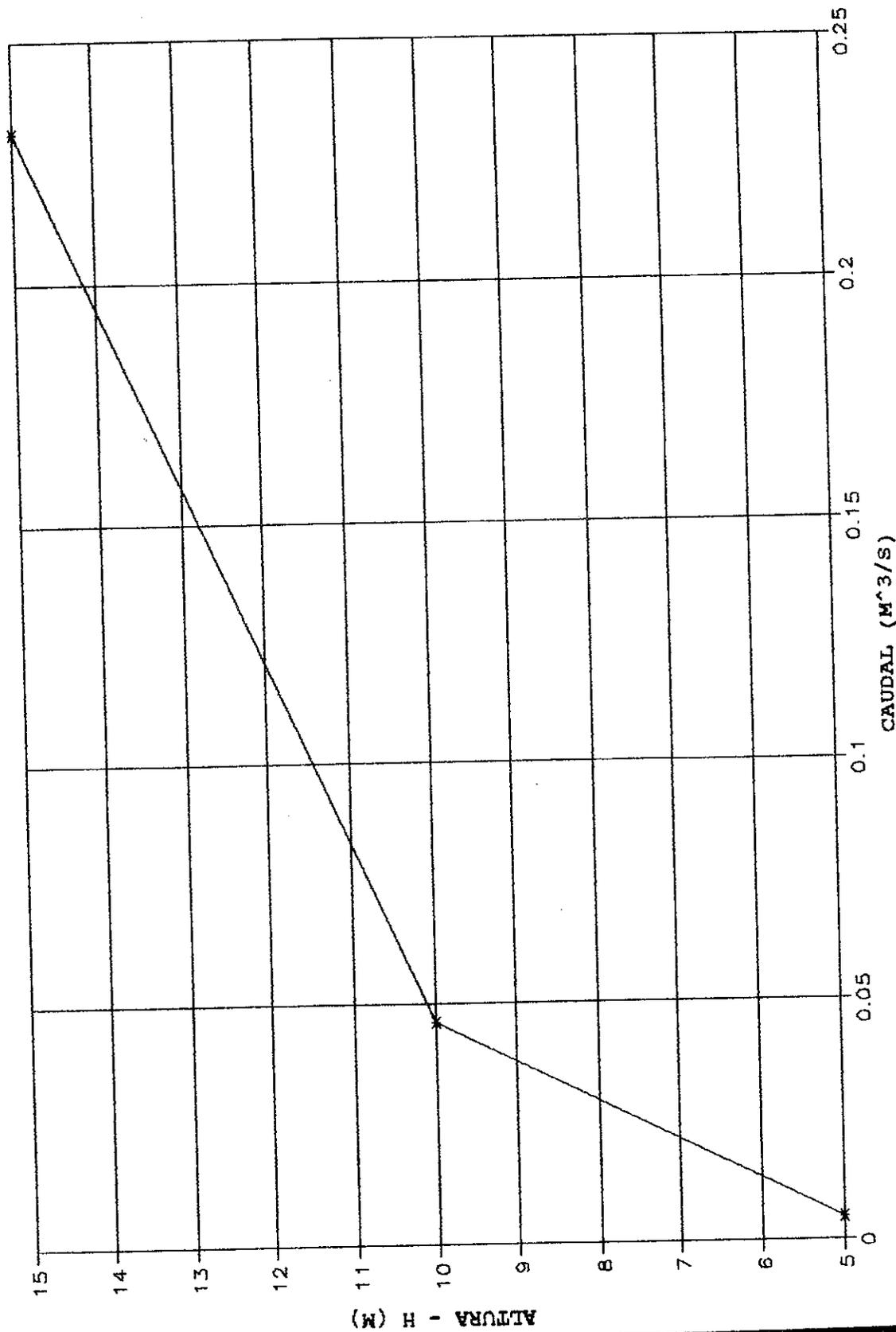
**CURVA ALTURA - CAUDAL DISPONIBLE
PUNTO # 1 - CAIDA**



CURVA AREA ALTURA
PUNTO # 2



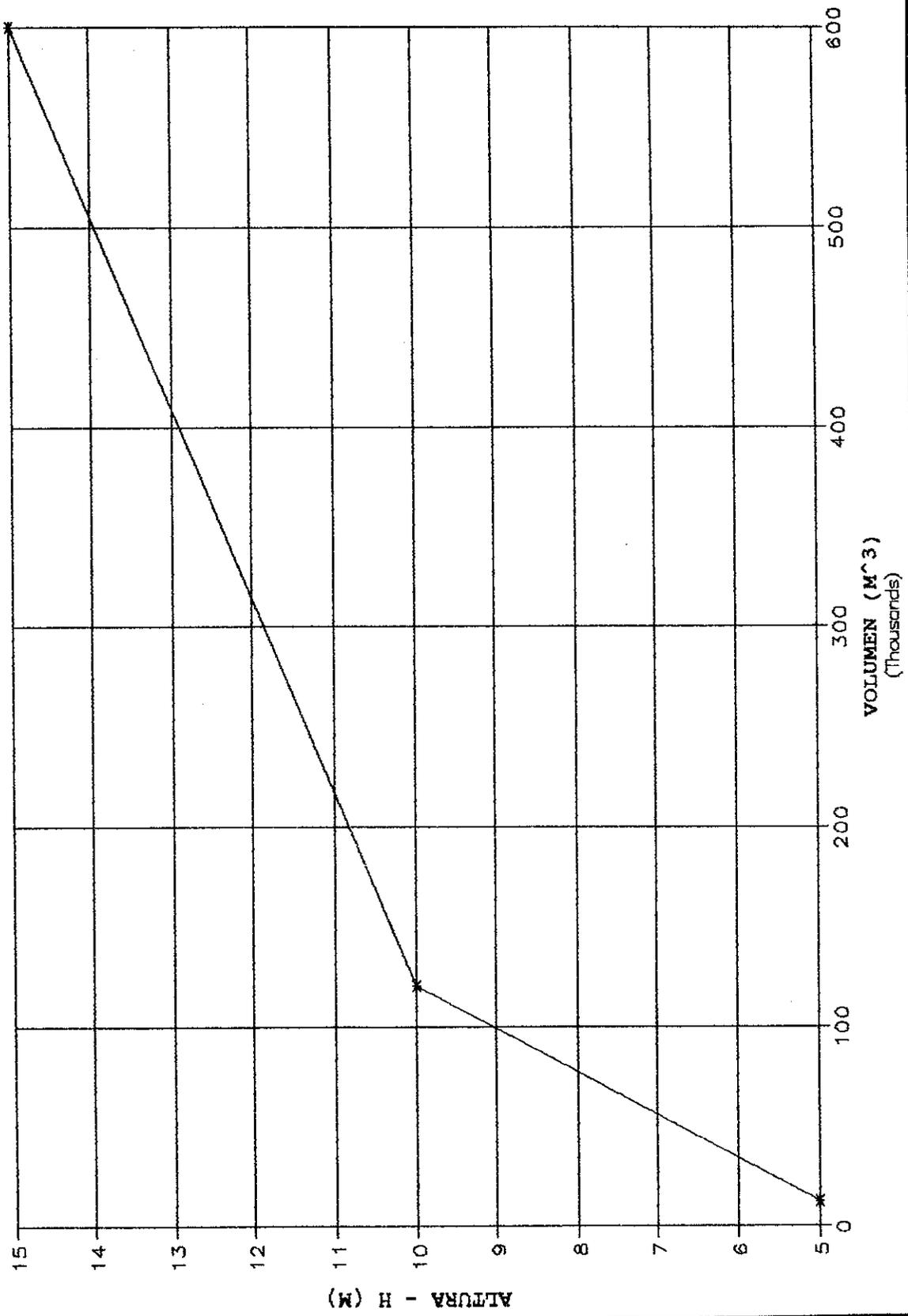
CURVA ALTURA - CAUDAL DISPONIBLE
PUNTO # 2



ALtura - H (M)

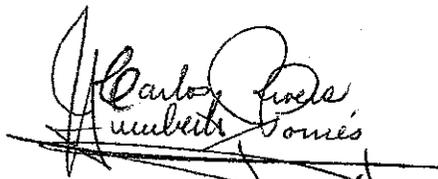
CAUDAL (M³/S)

**CURVA ALTURA - VOLUMEN
PUNTO # 2**





Ing. Rosa Adilia Martínez López
Sustentante



Dr. Carlos Rivera Pómes
Asesor