

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES ACATLAN
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

14
2g



MINI, MICRO Y PEQUEÑAS CENTRALES
HIDROELECTRICAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTA:

JOSE FCO. RANGEL ALONSO

MEXICO, D. F.
1989

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

| | |
|---|----|
| OBJETIVO..... | 1 |
| INTRODUCCION..... | 2 |
| 1. ASPECTOS GENERALES..... | 5 |
| 1.1. DEFINICION Y CLASIFICACION DE MINI, MICRO Y PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS..... | 5 |
| 1.1.1. CLASIFICACION CON RESPECTO A LA CAPACIDAD INSTALADA..... | 5 |
| 1.1.2. CLASIFICACION DE ACUERDO AL TIPO DE APRO- VECHAMIENTO HIDROELECTRICO..... | 7 |
| 1.1.3. CLASIFICACION DE ACUERDO A LA REGULACION DEL FLUJO..... | 8 |
| 1.1.4. CLASIFICACION DE ACUERDO A SU INTERRELA- CION CON OTRAS CENTRALES..... | 9 |
| 1.1.5. CLASIFICACION DE ACUERDO A LA CONCEPCION TECNOLOGICA..... | 9 |
| 1.1.6. PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA..... | 9 |
| 1.2. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LAS MINI, MICRO Y PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS..... | 12 |
| 1.2.1. VENTAJAS..... | 13 |
| 1.2.2. LIMITACIONES..... | 14 |
| 1.2.3. PROBLEMAS Y SOLUCIONES PARA EL DESARROLLO DE UNA MINI, MICRO O PEQUEÑA CENTRAL..... | 14 |
| 1.3. PARTICIPACION EN EL SISTEMA ENERGETICO NACIONAL.. | 16 |
| 1.3.1. ANTECEDENTES..... | 16 |
| 1.3.2. PROGRAMAS INSTITUCIONALES..... | 17 |
| 1.3.3. PERSPECTIVAS DE DESARROLLO..... | 18 |
| 1.3.3.1. RECURSOS HIDROENERGETICOS..... | 18 |
| 1.3.3.2. FACTIBILIDAD SOCIOECONOMICA..... | 19 |
| 1.3.3.3. NORMALIZACION DE PROYECTOS..... | 19 |
| 1.4. OTRAS ALTERNATIVAS PARA PRODUCIR ENERGIA AL MISMO NIVEL..... | 20 |
| 1.4.1. EXTENSION DE UNA RED ELECTRICA EXISTENTE..... | 21 |
| 1.4.2. PEQUEÑAS UNIDADES TERMoeLECTRICAS..... | 23 |
| 1.4.3. OTROS RECURSOS RENOVABLES DE ENERGIA..... | 25 |
| 1.4.3.1. ENERGIA SOLAR..... | 25 |
| 1.4.3.2. ENERGIA EOLICA..... | 25 |
| 1.4.3.3. BIOMAS..... | 26 |
| 1.4.3.4. ENERGIA GEOTERMICA..... | 26 |
| 2. DESARROLLO DE MINI, MICRO Y PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS..... | 27 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1. FACTIBILIDAD DE APLICACION..... | 27 |
| 2.2. PLANIFICACION Y PROGRAMACION..... | 29 |
| 2.3. EVALUACION DE RECURSOS Y DEMANDA..... | 33 |
| 2.3.1. IDENTIFICACION DE CUENCAS..... | 35 |
| 2.3.2. IDENTIFICACION DE ZONAS RURALES AISLADAS..... | 35 |
| 2.3.3. EVALUACION DE RECURSOS EN CADA AREA..... | 36 |
| 2.3.3.1. ESTUDIO HIDROLOGICO..... | 37 |
| 2.3.3.2. ESTUDIOS ECOLOGICOS..... | 38 |
| 2.3.3.3. ESTUDIOS GEOLOGICOS..... | 40 |
| 2.3.3.4. ESTUDIOS GEOMORFOLOGICOS..... | 41 |
| 2.3.3.5. ESTUDIOS GENETECNICOS..... | 41 |
| 2.3.3.6. DISPONIBILIDAD DE MATERIALES..... | 42 |
| 2.3.3.7. EVALUACION DE LAS NECESIDADES DE ENERGIA Y DEMANDA ECONOMICA EN CADA AREA..... | 42 |
| 2.3.4. ASIGNACION PRELIMINAR DE PRIORIDADES PARA LA REALIZACION DE PROYECTOS..... | 44 |
| 2.4. ESTUDIO HIDROECONOMICO..... | 45 |
| 2.5. CRITERIOS PARA SELECCIONAR LA TURBINA..... | 50 |
| | |
| 3. EJEMPLO DE UN ESTUDIO HIDROECONOMICO PRELIMINAR..... | 60 |
| 3.1. DATOS INICIALES..... | 60 |
| 3.1.1. ESQUEMA..... | 60 |
| 3.1.2. DATOS HIDROLOGICOS..... | 61 |
| 3.1.3. DATOS TOPOGRAFICOS..... | 62 |
| 3.1.4. DATOS SOBRE EL CONSUMO..... | 63 |
| 3.2. CALCULOS DE REGULACION..... | 63 |
| 3.2.1. COMPONENTE ANUAL..... | 63 |
| 3.2.2. COMPONENTE HIPERANUAL..... | 65 |
| 3.2.3. CALCULO FINAL DE REGULACION..... | 65 |
| 3.3. PARAMETROS TECNICOS Y ECONOMICOS DE LA CENTRAL..... | 66 |
| 3.3.1. COTAS, ALTURA DE LA PRESA Y CARGAS..... | 66 |
| 3.3.2. TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DIARIO EN AÑO SECO..... | 67 |
| 3.3.3. POTENCIAS KW..... | 67 |
| 3.3.4. ENERGIA GENERADA PROMEDIO ANUAL..... | 68 |
| 3.3.5. INVERSIONES..... | 69 |
| 3.3.6. GASTOS ANUALES..... | 69 |
| 3.3.6.1. GASTOS ANUALES AMORTIZACIONES..... | 70 |
| 3.3.6.2. GASTOS ANUALES DE LA EXPLOTACION..... | 70 |
| 3.3.6.3. GASTOS PARA ENERGIA..... | 71 |
| 3.3.7. BENEFICIOS..... | 71 |
| 3.4. EVALUACION DEL PROYECTO..... | 72 |
| 3.4.1. LA VARIANTE MAS VENTAJOSA..... | 72 |
| 3.4.2. INDICES TECNICO ECONOMICOS VARIANTE ELECTA..... | 73 |
| 3.4.3. EXPLICACION ACERCA DE LA CONFECCION DE LAS TABLAS DE LA FIGURA 30..... | 74 |
| 3.4.3.1. TABLA A..... | 74 |
| 3.4.3.2. TABLA B..... | 75 |
| | |
| CONCLUSIONES..... | 81 |
| | |
| BIBLIOGRAFIA..... | 89 |

OBJETIVO

El objetivo de esta tesis es presentar, en forma general y sistemática, los aspectos que deben tomarse en cuenta al considerar proyectos de implementación de mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas como alternativa para producir energía eléctrica a pequeña escala, para dotar de ésta a zonas rurales aisladas del sistema energético nacional.

INTRODUCCION

Energía es uno de los términos más importantes en física. La energía se define, en forma sencilla, como sigue: La energía representa la capacidad de producir trabajo. Sin duda, una definición más estricta sería más compleja, sin embargo, para los propósitos de esta introducción, esto será suficiente. Energía implica trabajo; y trabajo, como sabemos, representa cambios y transformación.

El ser humano descubrió, hace mucho tiempo, que las fuentes más importantes de energía estaban constituidas por el sol, el viento, el fuego, los mares y los ríos. Después, se descubrieron formas más complejas de energía (eléctrica, química y nuclear). Actualmente sabemos que dominando estas formas de energía, por medio de la tecnología, es posible modificar nuestro entorno ambiental en forma favorable, que nos proporciona bienestar y comodidad; y que sienta las bases para el desarrollo sociocultural de una comunidad.

Una de las formas de energía que se controla más fácilmente es la energía eléctrica. La producción de energía eléctrica requiere el consumo de otras fuentes de energía (transformación de la energía). Hasta la época de Faraday, sólo la energía química era convertida en energía eléctrica, en forma aprovechable, por medio de pilas o baterías. Sin embargo, este proceso no es adecuado para producir grandes cantidades de energía eléctrica como la que se necesita para iluminar ciudades o para alimentar industrias.

En 1831, Faraday descubrió el fenómeno de la inducción electromagnética. Gracias a este descubrimiento fue posible construir los generadores eléctricos; máquinas que transforman la energía mecánica (de una caída de agua, por ejemplo), en energía eléctrica.

En el siglo pasado, con el desarrollo de máquinas que aprovechaban la fuerza de presión generada por el vapor de agua, fue posible modificar los procedimientos de producción. Este cambio en las formas de manufactura, permitió que muchos pueblos alcanzaran niveles más altos de desarrollo.

Resulta evidente, la importancia que tiene el proveer de energía a una región para que ésta pueda tener un buen desarrollo socio-económico. También es importante que la forma por medio de la cual se produzca la energía, sea la más viable y que represente la mejor opción financiera. Con respecto a este último punto, es importante aclarar, que es

una obligación del Estado dotar con energía eléctrica a la población; situación que debe tomarse en cuenta al realizar el análisis financiero en proyectos de este tipo.

Aproximadamente un 25% de la población carece del servicio de energía eléctrica en México (80 000 comunidades). Este hecho a repercutido negativamente en contra del desarrollo socioeconómico de dichas regiones. Se han desarrollado programas gubernamentales que contemplan soluciones para este problema (aílo, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas; molinos de viento; etc.).

En México se han construido pequeñas centrales hidroeléctricas, pero se dejaron de construir hace 22 años por resultar incosteables debido, principalmente, a la disponibilidad de recursos naturales no renovables (petróleo y carbón) usados en plantas termoeléctricas; a los grandes recursos hidroeléctricos del sur del país; y a la falta de tecnología "no convencional" para construir dichas centrales.

Actualmente, se considera a las mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas como una buena alternativa para proveer de energía eléctrica a zonas rurales aisladas del sistema energético nacional. La Comisión Federal de Electricidad (CFE) y el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) están llevando a cabo estudios para evaluar el potencial microeléctrico nacional, como la base para la elaboración de otros estudios que conducen a la implementación de centrales hidroeléctricas de pequeña escala.

En esta tesis se presenta, en forma general, la metodología para realizar estudios preliminares de evaluación de proyectos para mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas. En el primer capítulo se exponen los criterios para obtener una definición y clasificación de este tipo de centrales, sus ventajas y limitaciones, y su participación en el sistema energético nacional. Finalmente, se hace una comparación cualitativa entre este tipo de centrales y otras fuentes de producción de energía eléctrica con capacidad similar, tales como pequeñas plantas termoeléctricas, solares ópticas, etc.

En el segundo capítulo, se indican los puntos que deben ser considerados para determinar las probabilidades de éxito al implementar una mini, micro o una pequeña central hidroeléctrica. Asimismo, se revisan los aspectos relacionados con la planeación y la programación de proyectos de dichas centrales. Se determinan los parámetros que deben ser revisados al evaluar los recursos necesarios para ejecutar un proyecto de este tipo; y también, la demanda y los requerimientos de energía eléctrica en las zonas que sean prospectas para recibir los beneficios de una

central como ésta. Por último, se presenta una guía para llevar a cabo un estudio hidroeconómico preliminar, mismo que es ilustrado con un ejemplo, que se presenta en el tercer capítulo.

La condición documental de esta tesis reúne la información necesaria para ser utilizada como guía en estudios preliminares de proyectos para implementar mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas, y asímismo, pueden servir como base para la realización de estudios más profundos.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1. DEFINICION Y CLASIFICACION DE MINI, MICRO Y PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS

Las mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas se definen como el conjunto de obras civiles e instalaciones electromecánicas en donde la energía mecánica es utilizada para generar cantidades reducidas de energía eléctrica. De acuerdo al criterio latinoamericano de clasificación, las mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas deben tener una capacidad instalada menor a 5 MW (Mega Watts). Los países desarrollados extienden este límite y para ellos este tipo de centrales pueden tener capacidades hasta de 15 MW (ver figura 1).

Las centrales hidroeléctricas grandes y medianas guardan cierta similitud con las mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas debido a que tienen un origen común, sin embargo, tienen también muchas diferencias y no deben ser confundidas. Algunas de las principales diferencias consisten en que estas últimas se construyen con tecnología, materiales y equipo no convencionales (sobre todo en las centrales con capacidad menor a un MW); además, los criterios de operación y mantenimiento no son de ninguna manera los mismos que se utilizan en las grandes y medianas centrales.

No existe un patrón general de clasificación de centrales. Las centrales hidroeléctricas se pueden clasificar de diferentes formas de acuerdo con el criterio que se siga. El criterio para clasificar una central depende de las características y del grado de desarrollo de la región geográfica de que se trate.

A continuación se presentan algunos sistemas de clasificación que pueden ser tomados a manera de guías para establecer criterios de clasificación de centrales hidroeléctricas en países y regiones específicos.

1.1.1. CLASIFICACION CON RESPECTO A LA CAPACIDAD INSTALADA

Los criterios internacionales de clasificación de acuerdo a este parámetro se ilustran en la tabla que muestra la figura 1.

El esquema que se muestra en la figura 2 fue propuesto por la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) para la región Latinoamericana y el Caribe.

Las alturas brutas corresponden respectivamente al uso de turbina axial, turbina Francis o Michell-Banki y turbina Pelton.

Los límites señalados para cualquier clasificación son solamente indicativos y son susceptibles de variación en su aplicación.

| PAIS U ORGANIZACION | MICRO | MINI | PEQUEÑAS |
|---------------------|-----------|------------|-------------|
| CHINA | | | hasta 12000 |
| FILIPINAS | | | hasta 5000 |
| PERU | 5 - 50 | 51 - 500 | 501 - 5000 |
| RUMANIA | | | hasta 5000 |
| TAILANDIA | | hasta 1000 | |
| TURQUIA | hasta 100 | 101 - 1000 | 1001 - 5000 |
| ESTADOS UNIDOS | | | hasta 20000 |
| SUECIA | | | hasta 15000 |
| SEMINARIO KATMANDU | hasta 100 | 101 - 1000 | |

* LAS MEDIDAS DE LA TABLA EN kw

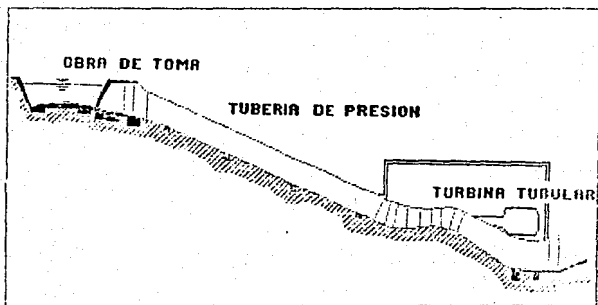
FIGURA 1

| DENOMINACION | CAPACIDAD INSTALADA kw | ALTIMA BRUTA DE SALTO metros | | |
|--------------|------------------------------|---------------------------------|----------|---------|
| | | BAJO | MEDIO | ELEVADO |
| MICROCENTRAL | hasta 50 | < 15 | 15 - 50 | > 50 |
| MINICENTRAL | 51 - 500 | < 20 | 20 - 100 | > 100 |
| PEQUEÑA C. | 501 - 5000 | < 25 | 25 - 120 | > 130 |
| GRAN CENTRAL | mas de 5000 | | | |

FIGURA 2

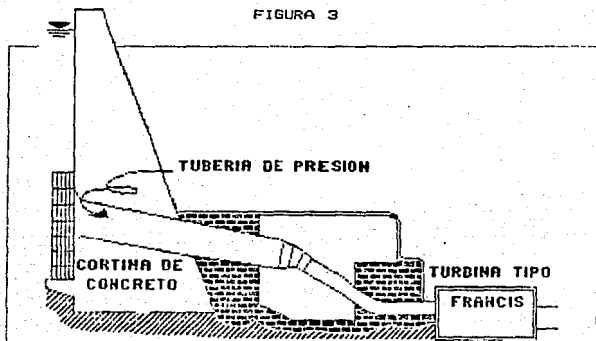
1.1.2. CLASIFICACION DE ACUERDO AL TIPO DE APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO

- Aprovechamiento por derivación de las aguas.- En este tipo de aprovechamiento se derivan las aguas del río en el punto de toma, ya sea directamente o por medio de una presa derivadora hacia un canal de aproximación que lleva el agua sin que ésta sufra pérdidas en su energía potencial (excepto la pérdida de carga en el canal), hasta una cámara de presión de donde parte la tubería forzada hacia las tuberías en la casa de máquinas. El agua se devuelve al cauce del río por medio de un canal de restitución (ver figura 3).
- Aprovechamiento por regulación de las aguas.- El objetivo se logra construyendo una presa reguladora en el punto de cierre, de tal forma que acumule en un embalse las aguas captadas del río. Su construcción puede responder a la satisfacción de una serie de objetivos conjugados con la producción de energía, como abasto, riego, protección de avenidas, turismo, etc. (ver la figura 4).



a.- Aprovechamiento por derivación de las aguas

FIGURA 3



b.- aprovechamiento por regulación de las aguas.

FIGURA 4

1.1.3. CLASIFICACION DE ACUERDO A LA REGULACION DEL FLUJO

- Carga variable (con el control de flujo en la toma de la turbina).- El control puede ser manual o automático. La función del sistema de control de flujo consiste en que la turbina puede operar en forma eficiente con velocidades reducidas de flujo. La turbina estará conectada a una carga de bloque relativamente constante, o bien, a un sistema electrónico de regulación de carga. La velocidad de la turbina se controla mediante la variación de la carga y no mediante la variación de la salida de potencia.
- Carga fija.- Por la naturaleza real de la carga o por medio de la disipación del exceso de energía.

1.1.4. CLASIFICACION DE ACUERDO A SU INTERRELACION CON OTRAS CENTRALES

- Centrales aisladas
- Centrales conectadas a pequeñas redes
- Centrales conectadas a la red nacional

1.1.5. CLASIFICACION DE ACUERDO A LA CONCEPCION TECNOLOGICA

Esta clasificación es indicativa y está basada en la naturaleza de los principales componentes de la planta.

- Plantas que usan tecnología convencional.- En estas plantas (a obra civil, las tuberías de acero, el equipo electromecánico y los instrumentos de control están construidos bajo estrictas normas de calidad.
- Plantas que usan tecnología no convencional.- En este tipo de plantas se llegan a adaptar obras civiles ya existentes a la central. De la misma forma, el equipo electromecánico es diseñado y construido por personal no especializado y con tecnología acorde al nivel de desarrollo industrial de cada región, con materiales locales y con un mínimo de instrumentación.

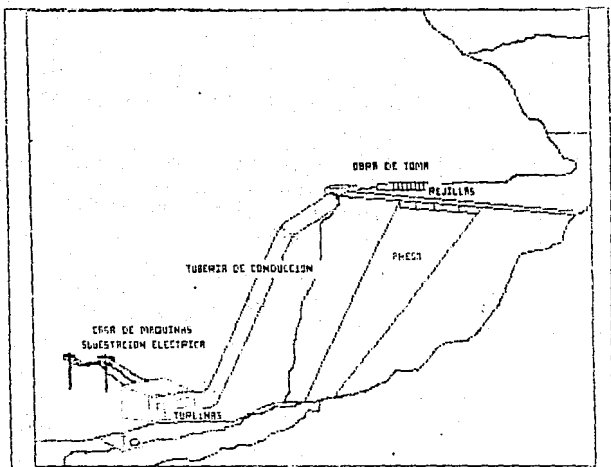
1.1.6. PRINCIPALES COMPONENTES DE UNA CENTRAL HIDROELECTRICA

A continuación se listan algunos de los principales elementos que componen una mini, micro o una pequeña central hidroeléctrica. A la lista la acompaña una breve descripción de los elementos y también se incluye un diagrama que ilustra gráficamente a éstos.

- Presa.- Estructura construida a traves de la corriente principal del rio. tiene como objetivo almacenar y/o incrementar el nivel del agua. En una pequeña central se usa para aumentar el nivel del agua, su construcción es muy simple. La presa puede ser construida con concreto, hierro, madera, roca, materiales plásticos o haciendo combinaciones con los materiales mencionados.
- Rejillas.- Es un sistema provisto de una criba metálica instalada en la obra de toma e en la entrada a las tuberías forzadas, dependiendo de las características del proyecto. El objetivo de la criba es el de retener a las turbinas de objetos sólidos que pudieran dañarlas al pasar por éstas.
- Obra de toma.- Estructura construida para facilitar la entrada del agua al sistema de tuberías de conducción. Puede o no estar sumergida. La construcción puede ser en concreto o en mampostería.
- Tuberías de conducción.- El agua es llevada desde la obra de toma hasta la entrada de la tubería por medio de un canal o túnel. En el caso de una mini, micro o una pequeña central hidroeléctrica es posible utilizar para este efecto los canales de irrigación existentes. La función de estas tuberías es la de llevar el agua hasta las turbinas.
- Cámara de oscilación.- Es una estructura que compensa la sobrepresión. Con frecuencia se prosinde de éstas en la construcción de mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas dependiendo de la carga hidráulica, longitud de la tubería forzada, velocidad del agua en las tuberías, materiales usados en la construcción de las tuberías y del tiempo necesario que se ocupa en cerrar la válvula principal.
- Regulador de velocidad.- consiste de un mecanismo que mantiene constante el número de revoluciones por unidad de tiempo de la turbina y, consecuentemente, mantiene el poder generado en una frecuencia constante.
- Generador.- Es una máquina eléctrica que transforma la energía mecánica proporcionada por el agua, en energía eléctrica.
- Transformador.- Equipo eléctrico que varía el voltaje de la energía eléctrica producida por el generador.
- Subestación eléctrica.- Es la instalación eléctrica que se encarga de distribuir la corriente eléctrica por diferentes vías.
- Casa de máquinas.- Es la estructura que aloja al generador.

dor y a las turbinas.

- Turbina.- Es una máquina hidráulica que transforma la energía potencial y cinética del agua en energía mecánica. Los principales tipos de turbinas se citan a continuación:
 - Turbinas de impulso.- Se utilizan para cargas hidráulicas elevadas, su costo es reducido.
 - Turbina Pelton
 - Turbina Michell-Banki
 - Turbinas de reacción.- En estas turbinas tanto la eficiencia como el costo son elevados.
 - Turbina Francis.- Se utiliza con cargas hidráulicas medianas.
 - Turbina Axial.- Se utiliza con cargas hidráulicas pequeñas.
 - Ruedas de agua.- Aunque no son turbinas, realizan la misma función que éstas, el costo de operación es muy bajo, sin embargo, el rendimiento también es bajo. Su construcción puede ser artesanal, operan con cargas hidráulicas reducidas.



Partes que componen una central hidroeléctrica

1.2. VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LAS MINI, MICRO Y PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS.

Las mini, micro y/o pequeñas centrales hidroeléctricas poseen una serie de ventajas y limitaciones. Cuando se desarrolla este tipo de centrales hidroeléctricas como fuentes de energía, debe tenerse en mente que el objetivo más importante será que se manifiesten la mayoría de sus ventajas en la realidad. Con respecto a las limitaciones podemos decir que en algunos casos podrán ser superadas y en otros no. En los siguientes párrafos se describen brevemente algunas de las ventajas y limitaciones de las centrales en cuestión que no deberán ser consideradas como absolutas puesto que su aplicabilidad depende de las múltiples características de la zona o región en donde se

implementarán estas centrales se mencionan además dos de los problemas más importantes que implica el desarrollo de estas plantas, y se exponen posibles soluciones.

1.2.1. VENTAJAS

Cuando se opta por la construcción de una mini, micro o una pequeña central hidroeléctrica como solución al problema de aprovisionamiento de energía eléctrica a una zona rural aislada, se evita el problema de los costos crecientes y de abastecimiento de combustible necesario para otros tipos de plantas generadoras de energía, principalmente para aquellas comunidades que no cuentan con las vías de comunicación apropiadas.

Actualmente se cuenta con tecnología para desarrollar estas pequeñas centrales hidroeléctricas, misma que solamente necesita ser adaptada en proyectos específicos a situaciones concretas con el objetivo de reducir costos. Se han detectado en México talleres con potencial de fabricación de equipo electromecánico para pequeñas centrales. En cuanto al diseño de la obra civil, es posible resolver cualquier requerimiento técnico (la obra civil en México está a la altura de la de cualquier país desarrollado).

Estas pequeñas plantas requieren de muy poco personal para su operación (puede ser operada aun por el propietario de la planta), es por esto que los costos de operación son bastante reducidos; asimismo, el mantenimiento de estas centrales es simple y de bajo costo.

El uso de estas centrales hidroeléctricas se puede conjugar con otros propósitos tales como riego, agua potable, turismo, etc.; en esta forma es posible mejorar el esquema de inversión. Algunos fabricantes ofrecen modelos tipo prediseñados de este tipo de centrales hidroeléctricas que permiten aprovechar las numerosas represas pequeñas existentes, en las cuales no se aprovecha la energía del agua. Muchas de estas represas se encuentran en zonas de consumo de energía, lo cual representa una ventaja económica adicional.

Este tipo de centrales son instalaciones no contaminantes y su impacto en el medio ambiente es nulo o casi nulo; tienen un efecto beneficioso sobre el paisaje, ya sea utilizando la infraestructura existente (presas y edificios antiguos), o en el caso de nuevas edificaciones, por una arquitectura de las mismas, integrada armónicamente en el medio natural circundante; la calidad de las aguas se mejora gracias a la oxigenación de las mismas en su paso por las turbinas.

1.2.2. LIMITACIONES

Las principales limitaciones para el desarrollo y buen funcionamiento de una mini, micro o de una pequeña central hidroeléctrica dependen de las características y magnitud de los recursos hidráulicos existentes y de las características meteorológicas en una determinada área circundante a la zona que demanda la energía. Estas condiciones se describen con más detalle en el capítulo siguiente.

Es posible que sea necesario resolver contradicciones en las prioridades del uso del agua que interfieran con los planes para generar energía, particularmente el del uso del agua para riego.

La continuidad de operación de estas pequeñas plantas dependerá de las características tecnológicas de las instalaciones. Actualmente, en nuestro país se dispone de las partes y refacciones del equipo electromecánico de este tipo de centrales, con el inconveniente de que la mayor parte de éste es importado. Es necesario también, que la región que demanda la energía disponga de una base económica productiva que apoye y justifique el uso del poder generador.

Otro factor importante será la creación de políticas adecuadas que garanticen una efectiva administración, operación y mantenimiento.

El costo de los estudios preliminares para el desarrollo de este tipo de plantas, representa un alto porcentaje con respecto al costo de la inversión total del proyecto.

1.2.3. PROBLEMAS Y SOLUCIONES PARA EL DESARROLLO DE UNA MINI, MICRO O UNA PEQUEÑA CENTRAL HIDROELECTRICA

Las desventajas que puede presentar el desarrollo de este tipo de plantas puede resumirse en dos problemas fundamentales: la inversión requerida por KW (Kilowatt) instalado es muy alta, y las perspectivas para una continua operación de las plantas es deficiente. A continuación se presentan algunas de las causas y de las posibles soluciones a los problemas antes mencionados.

Con respecto al problema de los elevados requerimientos de inversión por KW instalado, se presentan las siguientes causas:

- Instalación de pequeñas plantas en forma esporádica, poco planificada y en números reducidos.

- Uso de metodologías convencionales en cuanto a la construcción y a la especificación de los materiales.
- Elevados costos de adquisición y de acarreo de los materiales.
- Participación comunal en las obras civiles (en forma limitada y poco organizada, de forma tal que afecta los requerimientos financieros y las inversiones aparentes).
- Criterios formalistas en la elaboración de proinversión (elevado y utilidad limitada).
- Criterios convencionales en la selección de tecnologías.
- Dependencia extraregional en el abastecimiento de equipos (elevados costos de adquisición).

De la misma manera, las causas que propician una deficiente perspectiva para la continuidad operativa de las plantas son las siguientes:

- Falta de estandarización en equipos e instalaciones de origen regional.
- Poca confiabilidad, bajos niveles de automatización, reducida vida útil y poca disponibilidad de repuestos en equipos e instalaciones de origen regional.
- Insuficiente base económica y productiva para el aprovechamiento energético.
- Uso de la energía poco adecuado.
- Deficientes esquemas institucionales para la administración, operación y mantenimiento de los centrales.

A continuación se presentan algunas sugerencias que en determinados casos podrían ser soluciones a algunos de los problemas antes mencionados.

- El desarrollo de pequeñas plantas puede conjugarse con otros usos.
- Aplicación de criterios orientada hacia la implantación masiva de este tipo de centrales.
- Desarrollo, adaptación y aplicación de tecnologías no convencionales.
- Proponer nuevas metodologías para la elaboración de la planeación, evaluación de recursos y demanda, y estudios

de preinversión que tengan el nivel y el costo acorde a la magnitud y naturaleza de las plantas de que se trate.

- Fomentar y desarrollar la producción nacional y regional de equipos e instalaciones electromecánicas a bajo costo, confiables, de fácil suministro y adaptables a la realidad de cada región.
- Utilización de materiales locales en la construcción de la obra civil.
- Crear adecuados esquemas institucionales que logren la compatibilización de la acción de instituciones del estado con participación comunal en los problemas de propiedad, financiamiento, mantenimiento, tarifas y administración.
- Prioridad de instalación a las actividades productivas que requieran energía.
- Capacitación de operadores y personal de mantenimiento.

1.3. PARTICIPACION EN EL SISTEMA ENERGETICO NACIONAL

1.3.1. ANTECEDENTES

Tanto en México como en muchos otros países, las mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas jugaron un papel muy importante para iniciar la electrificación del territorio nacional. Las primeras centrales hidroeléctricas construidas en México a finales del Siglo XIX y principios del actual, tenían capacidades que iban desde tan poco como 2.2 KW (minas de Batopilas, Chihuahua), hasta varios miles de Kilowatts (3,730 KW de la pequeña central de Santa Gertrudis en el Rio Blanco).

Al paso del tiempo se desarrollaron tecnologías para conducir energía eléctrica a grandes distancias, las centrales hidroeléctricas grandes y medianas comenzaron a resultar más atractivas económicamente. Asimismo, las pequeñas centrales perdieron su importancia original. Por otro lado, los costos de producción en estas pequeñas centrales, resultaron en proporción mucho más elevados que los costos de producción en las centrales hidroeléctricas grandes y medianas. En las pequeñas centrales la relación Beneficio-Costo resultó ser menor a la unidad, lo que implicó que la mayor parte de las pequeñas plantas quedaran fuera de operación; y que en algunos casos quedaran declaradas como instalaciones obsoletas.

En el registro de plantas hidroeléctricas adquiridas y construidas por la CFE, se observa que el 47% de las hidroeléctricas registradas pertenecen a la categoría de las centrales hidroeléctricas en cuestión. Actualmente, la mayor parte de estas pequeñas plantas se encuentra fuera de servicio; en México, la última pequeña central hidroeléctrica se construyó hace 22 años en el estado de Zacatecas ("El Chique") con capacidad de 400 KW. En el sureste del país, existen varias microc centrales hidroeléctricas instaladas en fincas cafetaleras que disfrutan de concesiones para uso particular.

Es posible afirmar que la capacidad total actual de generación hidroeléctrica del país, sólo se consigue con centrales hidroeléctricas de mediana y gran capacidad.

1.3.2. PROGRAMAS INSTITUCIONALES

La importancia de las fuentes alternas de energía se pone de manifiesto tanto en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) como en el Programa Nacional de Energéticos (PNE). En ambos se destaca el papel específico que juegan para el medio rural.

El PNE (cuyo principal objetivo es garantizar la autosuficiencia energética presente y futura del país) contiene dos subprogramas de gran importancia: El Subprograma de Energización Rural y el Subprograma de Diversificación Energética, ambos muy vinculados con los programas institucionalizados por el Gobierno Federal: el Programa de Electrificación Rural (PER) de la CFE, y el Programa Nacional de Desarrollo Rural e Integral de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).

Existe una gran similitud en los objetivos de estos programas con respecto a la incorporación del sector rural al desarrollo económico y rural del país. Debido a esto, la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIPI), a través de su Dirección General de Investigación y desarrollo, ha iniciado acciones tendientes a la realización de proyectos interinstitucionales que apoyen los programas señalados como prioritarios, mediante la energización a proyectos productivos o de beneficio social específicos, con las agencias de desarrollo rural.

Existen en el país aproximadamente 80 000 comunidades que no cuentan con el servicio de energía eléctrica (aproximadamente una cuarta parte de la población nacional). Esto no significa que a todas estas comunidades se les pueda (a corto plazo) proporcionar el servicio de energía eléctrica (el país no está en condiciones de hacerlo); sin embargo, puede decirse que existen comunidades que requieren

de energía eléctrica para ser más productivas. Estas comunidades deben integrarse con mayor urgencia mediante la dotación de este servicio.

La conveniencia de apoyar el desarrollo de fuentes alternas de energía (tomando en cuenta a las mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas como algunas de las principales) para impulsar el desarrollo rural de nuestro país es uno de los primeros temas que se observan en el sumario del PER.

El caso de las mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas se trata de una de las tecnologías que compete ventajosamente con los sistemas comerciales actualmente en uso. Los costos de instalación de un KW con microhidráulica son inferiores en muchos casos a los costos de un KW instalado con otros sistemas comerciales de capacidad similar.

1.3.3. PERSPECTIVAS DE DESARROLLO

La posibilidad de desarrollar mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas en el país, no solo depende del apoyo proporcionado por los programas institucionales. Existen otros factores importantes que intervienen en la fijación de una política de desarrollo para este tipo de pequeñas plantas.

1.3.3.1. RECURSOS HIDROENERGETICOS

Con respecto a los recursos hidroenergéticos, no es suficiente saber que se encuentran disponibles, sino que también debe conocerse su ubicación con respecto al sitio de demanda, la magnitud y las características de la fuente de energía, la accesibilidad de los recursos disponibles y las perspectivas de usos múltiples.

La CFE ha llevado a cabo una buena evaluación de los recursos hidroenergéticos disponibles en México. Sin embargo, esta evaluación no contempla los recursos hidroenergéticos a pequeña escala (menores de 5 MW), que son precisamente los recursos necesarios para la implantación de pequeñas plantas. A esto último cabe agregar que el Departamento de Electrificación Rural, de la Gerencia de Distribución de la CFE, en conjunto con el IIE, han iniciado los trabajos correspondientes para identificar los recursos hidroenergéticos a pequeña escala, cercanos a las poblaciones rurales aisladas y carentes del servicio de energía eléctrica. Las comunidades que más interesan en este estudio son aquellas que se localizan fuera de la zona de

integración y con escasa o nula posibilidad de electrificación.

Se puede mencionar también, que en el país existen un gran número de aprovechamientos grandes y pequeños para riego y control de avenidas que no se han aprovechado con un concepto de uso mixto, es decir, incluyendo un aprovechamiento energético. En este tipo de aprovechamientos, muchas veces es posible la adaptación de equipo para generar energía eléctrica.

1.3.3.2. FACTIBILIDAD SOCIOECONOMICA

En un programa nacional para la utilización y desarrollo de las mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas, se deben contener proyectos que además de ser técnicamente factibles, tengan posibilidad socioeconómica. Por lo general, en los proyectos de estas pequeñas centrales se busca que la relación Beneficio/Costo sea mayor que la unidad, sin embargo, a la hora de revisar costos, no deben verse éstos como costos absolutos de inversión, sin tomar en cuenta que la necesidad de proporcionar energía (en cantidades y a costo adecuado) a las zonas aisladas y marginadas, es una obligación del Estado y de las instituciones a quienes corresponda atender el desarrollo rural y el uso racional de la energía. Por todo lo antes mencionado, el análisis económico no debe basarse en los problemas de inversiones absolutas requeridas, sino en los costos comparativos de las opciones de suministro energético.

El costo de inversión inicial para estas pequeñas plantas depende del tipo de tecnología que se utilice; si se adopta tecnología convencional aplicable a las grandes centrales hidroeléctricas, los costos serán altos; sin embargo, es posible reducir los costos iniciales replanteando los métodos y los criterios para estudios de factibilidad y de ingeniería, a través de la aplicación de algunas tecnologías no convencionales con respecto al equipo, materiales y procesos constructivos.

1.3.3.3 NORMALIZACION DE PROYECTOS

La normalización de proyectos (con respecto a los criterios de diseño, construcción y operación) es una condición indispensable para lograr una solución económica en la implantación y desarrollo nacional de las mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas. Como se ha dicho antes, en las pequeñas centrales muy pequeñas, los costos de ingeniería representan un porcentaje elevado del costo total.

de la obra, por ésto, la normalización de proyectos permite obtener soluciones tipo para varios intervalos de capacidad para estas pequeñas plantas, logrando con ello abatir los costos ya referidos.

Los criterios de normalización deberán ser determinados por los grupos interinstitucionales de trabajo, que aprovechando la infraestructura disponible en sus propias instituciones, formulen los procedimientos formalizados de diseño y construcción, así como de operación semiautomatizada que permitan el funcionamiento de estas pequeñas centrales hidroeléctricas con un enfoque no convencional, es decir, que estas centrales sean atendidas por los propios beneficiados, contando con el apoyo de un equipo profesional de mantenimiento.

La selección del equipo electromecánico está limitado por las opciones que los fabricantes de equipo ofrecen para cada proyecto. A este respecto, los criterios de selección que se utilizan en nuestro país se limitan a efectuar una selección preliminar basados en los parámetros fundamentales de diseño: gasto hidráulico (Q) y carga disponible (H).

Por todo ésto, es necesario disponer de una infraestructura tecnológica que permita la fabricación nacional de pequeñas turbinas y de equipos eléctricos apropiados, de forma tal que los costos sean cubiertos por empresas nacionales (con el consecuente ahorro de divisas).

1.4. OTRAS ALTERNATIVAS PARA PRODUCIR ENERGIA ELECTRICA AL MISMO NIVEL

No es el objetivo de esta parte del trabajo determinar las ventajas absolutas de uno u otro sistema para producir energía eléctrica, sino establecer cualitativamente los principales elementos y criterios que deberán tomarse en cuenta al realizar la comparación de las alternativas sin establecer parámetros de análisis cuantitativo.

Cuando se realizan análisis comparativos entre estas pequeñas plantas con otros sistemas alternativos para producir energía eléctrica, a menudo son asumidas a priori ciertas desventajas reales o supuestas de las pequeñas plantas, y por esta razón, las evaluaciones económicas son frecuentemente distorsionadas por índices ultracortos.

Hay que pretender decir que las pequeñas plantas en cuestión en cualquier caso representan la mejor alternativa para

generar energía (cada situación particular exige una solución apropiada que proporcione los máximos beneficios, y como se verá más adelante, no serán las pequeñas centrales las que en todos los casos alcancen este objetivo). La forma adecuada para determinar la mejor solución para generar energía es haciendo un análisis comparativo entre las posibles opciones.

A continuación se presentan las principales alternativas que compiten con las pequeñas plantas para producir energía eléctrica. Se presentan algunas de sus más importantes ventajas y limitaciones con respecto a aquellas.

1.4.1 EXTENSION DE UNA RED ELECTRICA EXISTENTE

Una de las principales comparaciones económicas con respecto a la inversión requerida se hace entre la implementación de una de estas pequeñas centrales y la extensión de una red existente. A continuación se presentan ciertos elementos que deben tomarse en consideración en tales análisis comparativos. Las características específicas de un proyecto en particular, determinarán los valores cuantitativos que harán más viable alguna de las dos alternativas.

Con respecto a las mini, micro o pequeñas centrales hidroeléctricas:

- Trabajo civil.- Construcción de la obra de toma, sistema de conducción, tubería forzada, casa de máquinas, etc.
- Equipo electromecánico.- Integrado por la turbina, el regulador de velocidad, el generador, los conmutadores, etc.
- Equipo de transformación.- Transformador (no siempre es necesario).
- Líneas de transmisión y distribución.- Conducen la energía producida desde la casa de máquinas hasta el punto de consumo.

Con respecto a la extensión de una red existente:

- Trabajo civil.- Construcción de la sub-estación y de las líneas de conducción de energía.
- Equipo de transformación.- Integrado por transformadores, cuadro de distribución, etc.
- Líneas de transmisión y distribución.- Conducen la energía producida desde la subestación hasta el punto de

CONCLUSIÓN.

Las ventajas de una u otra alternativa dependen de las características particulares de cada proyecto. Las características cuantitativas correspondientes de los parámetros anteriores traducidas en dinero, justificarán la selección de alguna de estas dos opciones. La tabla de la figura 5 muestra una comparación entre estas dos alternativas con respecto a alguno de los parámetros más importantes.

Es posible también el uso combinado de pequeñas centrales con la extensión de una red existente en situaciones tales como las que se mencionan a continuación:

- Países con abundantes recursos hidráulicos de pequeña escala, altamente electrificados y densamente poblados.
- Países importadores de combustible fósil (carbón, petróleo y gas natural) con importantes recursos hidráulicos de pequeña escala.
- Desarrollo progresivo de la electrificación de varias localidades rurales, comenzando con la instalación de pequeñas centrales hidroeléctricas y luego complementarla por la extensión de una red eléctrica existente cuando esto se justifique por el crecimiento de la demanda.

| PARAMETROS | VENTAJA COMPARATIVA | |
|--|---------------------|-------|
| | MAJOR | MEJOR |
| - Distancia entre el punto de consumo y una red existente | CHE | REE |
| - Distancia entre el punto de consumo y el salto de agua | REE | CHE |
| - Cantidad solicitada de energía | REE | CHE |
| - Importancia de la seguridad de aprovisionamiento de energía | REE | CHE |
| - Irregularidad del terreno | CHE | REE |
| - Disponibilidad de recursos hidroeléctricos a pequeña escala económicamente asequibles | CHE | REE |
| - Disponibilidad de energía | REE | CHE |
| CHE Mini, micro o pequeña central hidroeléctrica REE Extensión de una red eléctrica existente | | |

FIGURA 5

1.4.2. PEQUEÑAS UNIDADES TERMOELECTRICAS

Sabemos que es posible generar energía eléctrica mediante el uso de motores diésel, o para generar cantidades muy pequeñas de energía, es posible utilizar motores de gasolina que trabajen en ciclo Otto.

Hace unos años fueron éstas las principales alternativas contra las mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas. El uso extensivo de dichas unidades termoelectricas se debió a lo siguiente:

- Bajo costo de combustible y lubricantes.
- Bajo costo de adquisición.
- Facilidad de instalación.
- Simplicidad de operación.

Con el creciente aumento en el precio de los hidrocarburos, estas unidades han dejado de ser en muchos casos, la mejor alternativa para proporcionar energía eléctrica a las zonas rurales aisladas.

Otra posibilidad termodinámica para producir energía eléctrica la constituye el empleo de estaciones generadoras que aprovechan la fuerza de presión desarrollada por el vapor trabajando en ciclo Rankine. Estas unidades utilizan frecuentemente materiales de desecho como combustible, o pueden utilizar carbón cuando las circunstancias lo hagan económicamente accesible, tal como es el caso de regiones ubicadas cerca de minas de carbón.

Haciendo una comparación entre las unidades termoelectricas contra las pequeñas plantas hidroeléctricas encontramos las siguientes ventajas y desventajas en aquellas:

* Ventajas

- Las unidades termoelectricas requieren de un menor gasto de inversión inicial.
- Su instalación es muy sencilla.
- Su operación es muy simple.
- Requiere de mínimos estudios preliminares para su instalación.

* Desventajas

- Alto costo de combustible y lubricantes.
- Elevados costos de mantenimiento y reparación.
- Necesidad de equipo especializado en reparación y mantenimiento.
- Impacto ambiental contaminante.
- Incrementa la demanda interna de hidrocarburos.

La comparación económica de estas dos alternativas, frecuentemente es afectada por el hecho de que en algunos países el precio del petróleo y de sus derivados está subsidiado. En tal caso, el análisis microeconómico debe ser corregido por los factores macroeconómicos derivados del verdadero costo de los combustibles.

Por todo lo antes mencionado, no conviene que el uso de unidades termoelectricas para producir energia se debe limitar a los siguientes casos:

- Como unidades de reserva o de emergencia.
- En regiones aisladas en donde el aprovechamiento del potencial hidroelectrico es muy dificil y la extension de una red existente no lo justifique.

1.4.3. OTROS RECURSOS RENOVABLES DE ENERGIA

La variedad de recursos renovables de energia ofrece alternativas validas en el aprovisionamiento de energia para el desarrollo rural. Sin embargo, en la mayoria de los casos no pueden sustituir a las pequenas plantas hidroelectricas debido a que aunque es posible la produccion de electricidad, su aplicacion queda economicamente justificada solamente para usos de tipo domestico o en aplicaciones y casos muy especificos.

1.4.3.1. ENERGIA SOLAR

En los paises en vias de desarrollo, la energia solar se aplica directamente en muchas tareas. Es posible (mediante el diseno arquitectonico adecuado) aprovechar el calor ambiental para cubrir las necesidades domesticas de energia.

La energia solar puede ser aprovechada para producir energia electrica a traves de unidades termicas que operen con vapor en ciclo Rankine, lo cual representa un costo muy alto de inversion inicial con una pequena eficiencia.

Las celdas fotovoltaicas son otra alternativa para convertir directamente la energia solar en electricidad, pero en los paises subdesarrollados su uso queda justificado solo en los casos en que las cantidades de energia requerida son minimas, o en el caso de aplicaciones especificas; actualmente no constituyen una alternativa economica para producir energia electrica.

1.4.3.2. ENERGIA EOLICA

La energia eolica tiene multiples aplicaciones, siempre se utiliza principalmente para extraer agua del subsuelo. Una de sus aplicaciones es precisamente la produccion de energia electrica, misma que se realiza por medio de molinos de

viento disponibles en el mercado.

En general el uso de molinos de viento para producir energía eléctrica constituye una alternativa contra las pequeñas plantas hidroeléctricas sóloamente en los rangos de energía inferiores a los 10 KW.

1.4.3.3 BIOENERGIA

La producción de biogas tiene grandes ventajas no sólo como un recurso de energía, sino también en cuanto a su capacidad de producir fertilizantes y en su impacto positivo en la salud y el medio ambiente.

El biogas puede ser utilizado como combustible en motores de combustión interna, en tal caso, resulta una alternativa atractiva contra las pequeñas plantas hidroeléctricas en los rangos inferiores de producción de energía.

1.4.3.4. ENERGIA GEOTERMICA

En lugares donde el recurso se encuentra disponible, la energía geotérmica puede ser utilizada para producir energía eléctrica. Generalmente, este recurso se utiliza en una escala mayor, aunque es posible su utilización a pequeña escala.

2. DESARROLLO DE MINI, MICRO Y PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELECTRICAS

2.1. FACTIBILIDAD DE APLICACION

Antes de llevar a cabo proyectos específicos para promover el desarrollo de mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas en un determinado país, es necesario determinar, al menos cualitativamente o con pocos elementos cuantitativos, la naturaleza y magnitud del problema que resolverán estas pequeñas plantas, para averiguar tentativamente la existencia de pequeños recursos hidráulicos y así tener una evaluación general de las capacidades nacionales con el fin de iniciar su desarrollo.

A continuación se mencionan los elementos más importantes que habrá que analizar con respecto a los problemas que resolverán las pequeñas plantas:

* Energía y desarrollo industrial

- Situación y órdenes de magnitud del problema.
- Alternativas energéticas
- Objetivos:
 - Mejorar las condiciones de vida
 - Desarrollar la industria agropecuaria
 - Desarrollar la pequeña industria
 - Desarrollo minero
 - Desarrollo artesanal
 - Desarrollo de irrigaciones y drenaje por bombeo
 - Educación, cultura y salud

* Sustitución de hidrocarburos

- Situación con respecto a las unidades térmicas para generación de energía eléctrica
- Situación nacional con respecto a la producción e importación de hidrocarburos

- Ordenes de magnitud, perspectivas y limitaciones en el reemplazamiento de hidrocarburos
- Transporte de los hidrocarburos a las zonas rurales
- Consecuencias por el uso de unidades termoeléctricas (costo, vida útil, suministro del combustible, mantenimiento, reparación, etc.)
- Erosión del suelo, deforestación y contaminación

Asimismo, los elementos que serán analizados para evaluar la existencia de potencial hidráulico que puede ser utilizado por plantas hidroeléctricas de escala reducida son los siguientes:

* Disponibilidad

- Topografía del Área
- Características hidrológicas
- Características geológicas y geomorfológicas del suelo
- Estimar (si es posible) el orden de magnitud del potencial
- Realizar el análisis por áreas o por regiones

* Ubicación

- Se debe tomar en cuenta que para pequeñas centrales aisladas, o aquellas que forman parte de pequeñas redes, deberán estar ubicadas cerca del sitio de demanda. Se recomienda estimar el potencial hidráulico en áreas cercanas al sitio de demanda, excepto para pequeñas centrales que formen parte de redes más grandes

* Acceso

- Vías de comunicación
- Accidentes geográficos
- Condiciones climáticas
- Condiciones sanitarias
- Riego, uso de los canales existentes

En el análisis de la capacidad nacional para desarrollar mini, micro o pequeñas centrales hidroeléctricas se deben

considerar los siguientes elementos:

- * Planeación.- Organización y experiencia.
- * Evaluación de recursos y demanda.- Instituciones, estudios que han sido llevados a cabo, organización.
- * Estudios de preinversión.- Instituciones, asesores facultados a desarrollar proyectos e ingeniería.
- * Financiamiento.- Disponibilidad, instituciones, financieras, fuentes externas.
- * Organización institucional.- Empresas eléctricas y sus actividades en áreas rurales. Empresas municipales y cooperativas, productores privados, participación comunal, tradición y experiencia.
- * Construcción.- Experiencia, pequeños contratistas, contratar firmas, materiales.
- * Operación y mantenimiento.- Organización.
- * Recursos humanos.- Disponibilidad a todos los niveles.
- * Tecnología.- Disponibilidad, capacidad de desarrollo y adaptación, experiencia en adquisición de tecnologías.
- * Provisión de equipo.- Existencia o producción potencial, importaciones, información.

La decisión en cuanto a si la implementación de la pequeña planta hidroeléctrica debe ser aprobada o no, no podrá tomarse sin haber tomado en cuenta las necesidades de energía, la disponibilidad de recursos hidráulicos, y las capacidades nacionales para desarrollar dichas plantas. Además de éstas, existen otras condiciones que influirán en la toma de la decisión política:

- * Debe contemplarse que puede haber distinciones territoriales dentro de un país con respecto al desarrollo de pequeñas plantas hidroeléctricas, dependiendo de la disponibilidad de recursos hidráulicos y de las necesidades energéticas a satisfacer.
- * La decisión política para desarrollar estas pequeñas plantas deberá ser la base para la formulación de una estrategia de desarrollo y de políticas específicas.

2.2. PLANEACION Y PROGRAMACION

Una vez que ha sido decidido el desarrollo de mini, micro o pequeñas centrales hidroeléctricas, es necesario definir lo siguiente:

- * El sector gubernamental responsable. En general estará ubicado dentro del radio de acción de la secretaría de estado encargada de los asuntos de energía.
- * El cuerpo encargado de la planeación, dirección y/o coordinación del desarrollo de estas pequeñas plantas, podrá ubicarse en el organismo de planeación central, en la oficina de planeación de la secretaría de estado correspondiente o en el departamento de planeación de una empresa o instituto responsable del desarrollo de energía.

Dentro del cuerpo responsable de la planeación, deberá establecerse una unidad o sección encargada específicamente del desarrollo de pequeñas centrales hidroeléctricas, separada de la unidad o sección encargada del desarrollo de fuentes de hidropoder de más alto rango. Las funciones que deberán desempeñar estas unidades se listan a continuación:

- * Sugerir políticas y estrategias para el desarrollo de pequeñas plantas.
- * Formular planes de desarrollo para pequeñas plantas.
- * Formular periódicamente programas para implementación (estudios de trabajos de ingeniería civil y financiación).
- * Coordinar y supervisar a las unidades responsables de los programas para la evaluación de los recursos y demanda, llevando a cabo trabajo civil y de operación de plantas.
- * Dar asesoría para desarrollar pequeñas plantas.
- * Coordinarse con instituciones y empresas responsables del desarrollo tecnológico, del financiamiento, de la producción de equipo y del entrenamiento.
- * Definir aranceles o los criterios para establecerlos.

El carácter obligatorio o indicativo del plan dependerá de la situación socioeconómica del país de que se trate, de su organización política y de los niveles de participación de los sectores público y privado en las partes de implementación del plan. Como actividades complementarias, la unidad encargada de la planeación estará capacitada para llevar a cabo las siguientes funciones:

- * Llevar registros de localidades sin electricidad y un catálogo de recursos hidráulicos apropiados para desarrollar este tipo de plantas, preparado por el cuerpo

responsable de la evaluación de recursos y demanda.

- * Alternar peticiones para financiamiento y acciones tomadas por la población local. Decidir si ésta última podrá ser incorporada a los programas de implementación.
- * Negociaciones concernientes con la compra de equipo a gran escala.
- * Coordinación con instituciones comunales y organizaciones que puedan promover el desarrollo de este tipo de centrales hidroeléctricas en sus localidades.
- * Sugerir la necesidad de desarrollo tecnológico a las instituciones competentes y evaluar el uso de tecnologías no convencionales.
- * Sugerir esquemas para la construcción y operación de pequeñas plantas.
- * Coordinar la cooperación técnica internacional.

Lo primero que debe hacerse en un país donde los proyectos sistemáticos para desarrollar pequeñas centrales hidroeléctricas están siendo emprendidos, es preparar un examen preliminar con vistas a realizar ciertos proyectos concretos mientras se esboza un plan de desarrollo que requerirá de estudios sobre la evaluación de necesidades de energía, la disponibilidad de los recursos hidráulicos, así como del establecimiento de prioridades, los cuales tendrán también que promover actividades en varios campos conectados con la tecnología, la producción de equipo, el entrenamiento y el financiamiento. En base al plan preliminar, se esbozará un programa de implementación que contemplará los siguientes aspectos:

- * Terminación de trabajos pendientes.
- * Terminación de trabajos abandonados (estaciones donde el trabajo de ingeniería civil ha sido comenzado, etc.).
- * Recolocación del equipo existente en plantas abandonadas.
- * Necesidades identificadas en nuevos proyectos.
- * Existencia de obras civiles que podrían abaratar costos (canales de riego, presas, etc.).
- * Instalación de plantas piloto para evaluar las alternativas tecnológicas y capacidades para la implementación de pequeñas plantas hidroeléctricas.

La elaboración de un plan preliminar y de sus respectivos

programas ofrece las siguientes ventajas:

- * Hace posible iniciar el desarrollo de proyectos de pequeñas plantas sin ninguna demora que, de otra manera, provocaría la necesidad de implementar un plan más general; por otro lado, se da un margen de tiempo para la elaboración de los planes generales de desarrollo.
- * En esta forma es posible adquirir la experiencia necesaria para la elaboración del plan general de desarrollo.
- * Hace posible el desarrollo de proyectos maduros.
- * Ayuda a probar las pequeñas plantas.
- * Estimula el desarrollo de proyectos comunales.

En forma simultánea a la preparación e implementación del plan preliminar y del programa para su implementación, la unidad de planeación tendrá que comenzar a preparar el plan de desarrollo de estas pequeñas plantas, el cual demanda una serie de evaluaciones y de estudios preliminares que constituyen las bases objetivas del plan.

Los estudios requeridos para formular correctamente el plan de desarrollo se listan a continuación, algunos de los puntos siguientes han sido tocados antes en este documento, sin embargo, se repiten por razones de resumen:

- * Identificación de centros poblacionales aislados, y microrregiones que tienen necesidades de energía.
- * Evaluación de los recursos hidroeléctricos de la zona por medio de cartas hidrológicas para una primera aproximación, y evaluación aproximada de los recursos potencialmente explotables en áreas cercanas a los puntos que demandan energía para una segunda aproximación. Estos estudios se confiarán a la unidad encargada de la evaluación de recursos y demanda.
- * Realizar un inventario de las pequeñas plantas existentes, evaluar sus condiciones y situación operacional.
- * Estimar los recursos financieros.
- * Evaluar la tecnología disponible, sus perspectivas de desarrollo, adaptación y adquisición.
- * Evaluar el potencial para el aprovisionamiento de equipo y materiales nacionales o de importación, evaluar la

capacidad industrial nacional para la manufacturación de equipo.

- * Estimar la disponibilidad de especialistas para la realización de estudios de ingeniería.
- * Realizar un sumario acerca de los índices de costos de inversión y de operación.
- * Estimar la disponibilidad de expertos para construir y operar pequeñas plantas.
- * Evaluar la posibilidad de participación comunal en el desarrollo de estas pequeñas plantas.

2.3. EVALUACION DE RECURSOS Y DEMANDA

La evaluación de los recursos y demanda es uno de los principales elementos a considerar cuando se promueve la construcción de mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas en determinado país, puesto que es el punto de referencia más importante para poder esbozar planes de desarrollo y para la implementación de programas.

Las consideraciones generales que deben tomarse en cuenta para la completa evaluación de los recursos y demanda en la implementación de este tipo de plantas son las siguientes:

- * La completa evaluación está dirigida hacia el estudio de la demanda y de los recursos hidroeléctricos para microrregiones y no entra en los estudios de proyectos específicos en detalle.
- * Cuando se considere el desarrollo de estas plantas en microrregiones o localidades aisladas, no debe olvidarse que la ubicación geográfica del punto que demanda la energía, y la de los recursos hidroeléctricos, deberá estar situada en una misma área, debido a las limitaciones de la distancia sobre la cual la corriente de baja y media tensión puede ser transmitida.
- * Cuando se intente conectar a estas plantas con redes eléctricas ya existentes, la conexión geográfica debe ser establecida entre el área donde los recursos están localizados y las líneas de transmisión a las que se planea conectar las centrales.

Es importante distinguir la diferencia que existe entre

la evaluación general de los recursos y demanda con una evaluación realizada para estudiar proyectos específicos. Los principales factores que sirven para hacer una distinción se listan a continuación:

* Características de la evaluación general de recursos y demandas:

- Es necesaria para la formulación de planes y programas de desarrollo de pequeñas plantas.
- Estudia las necesidades totales de energía de una microrregión o de grupos poblacionales en una determinada área.
- Estudia los recursos explotables en una cuenca con una lista preliminar de proyectos específicos.
- Estudios generales, multidisciplinarios e intensivos que incluyen:
 - Hidrología
 - Ecología
 - Geología
 - Geotécnica
 - Disponibilidad de materiales
- Evaluación de la demanda en forma integral y estadística

* Características de la evaluación para estudiar proyectos específicos:

- Estudio de los recursos para un proyecto específico.
- Estudios detallados de un proyecto reducidos a un mínimo absoluto, con el fin de no incrementar los costos de preinversión:
 - Cálculo del gasto de diseño.
 - Geotécnica puntual y aproximada.
 - Estudios topográficos.
- La evaluación de la demanda deberá estar basada en una investigación detallada de las localidades relacionadas con el proyecto.

Dependiendo de las condiciones locales de cada país, la evaluación general de recursos y demanda podría ser realizada por una unidad específica, misma que a su vez deberá ser responsable de la unidad encargada de la planeación de pequeñas plantas hidroeléctricas. De otra forma, estas funciones podrían encargarse a alguna institución especializada en evaluar recursos naturales o en hidrología, aunque también es posible que estas funciones sean realizadas por alguna firma especializada en desarrollo eléctrico.

Si existe alguna limitación en cuanto a la organización institucional con respecto a la evaluación general de recursos y demanda, se podría contratar asesoría especializada que trabaje bajo la supervisión de la unidad encargada de la planeación.

Los esquemas sugeridos para la realización de la evaluación de recursos y demanda, no deberán ser aplicados mecánicamente en cualquier país, puesto que existen condiciones especiales en cada caso, que demandan una forma individual de abordarlos. Las condiciones que sirven para distinguir los diferentes casos entre sí son:

- * Características y distribución de recursos hidráulicos de pequeña escala.
- * Importancia relativa de las pequeñas plantas en el desarrollo rural.
- * La existencia de institutos, estadísticas, estudios y cuadros técnicos para realizar las actividades de evaluación.

2.3.1. IDENTIFICACION DE CUENCAS

Esta es una aproximación preliminar basada en trabajo de gabinete sobre mapas geográficos y topográficos, y sobre evaluaciones hidrográficas existentes.

Este estudio incluye la determinación aproximada de los parámetros hidrográficos y físicos de las cuencas y subcuencas del país del que se trate, ya sea en base a estudios y medidas que hayan sido llevados a cabo o por medio de modelos matemáticos.

Se podría extender este estudio a los sistemas de vertientes pertenecientes a una subcuenca, estableciendo parámetros de correlación cuando se determinen desagües.

Este estudio conducirá a preparar estudios hidrologicos para cuencas y subcuencas donde los datos hidrologicos

demanden una mayor seguridad.

2.3.2. IDENTIFICACION DE ZONAS RURALES AISLADAS

Este estudio se realiza como una aproximación preliminar para determinar las necesidades de energía. Se basa principalmente en datos estadísticos existentes, los cuales pueden obtenerse de censos y de estudios regionales.

En lo posible, preparar archivos diseñados en forma apropiada, en los cuales se tenga registro de los principales datos concernientes a microrregiones y localidades rurales con respecto a su población, actividades productivas y producción; vías de comunicación, disponibilidad de abasto, requerimientos aproximados de energía, etc. Los datos requeridos en esta evaluación deberán ser reducidos a un mínimo absoluto. Al agrupar localidades en microrregiones, deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

- Proximidad geográfica
- Vías de comunicación
- División política y administrativa del país
- Localización con respecto a subcuencas y vertientes hidrográficas
- Vínculos socioeconómicos entre las localidades

Considerando que, frecuentemente, la información estadística no estará actualizada, y que no contendrá suela de la información necesaria, se hará necesario preparar modelos matemáticos que revelen los índices de crecimiento o declinamiento poblacional para determinar parámetros cuantitativos que serán chequeados con muestras de campo. Los archivos deberán mantenerse actualizados no sólo con respecto al tiempo, sino también con respecto a la exactitud de la información.

2.3.3. EVALUACION DE RECURSOS EN CADA AREA

Esta evaluación estará enfocada hacia las subcuencas y vertientes que ofrecen las mejores posibilidades y que estén conectadas a las localidades que son usuarios potenciales. Este estudio tendrá que hacerse paralelamente al estudio de evaluación de la demanda y necesidades, mismo al que se refiere el siguiente apartado.

Como ya fue mencionado, los estudios de evaluación general de los recursos de cada área que tiene que ser analizada, podría incluir estudios de hidrología, ecología, geología, geomorfología, geotecnia y de disponibilidad de materiales; sin embargo, es conveniente remarcar que si bien, estas evaluaciones harán posible identificar proyectos específicos, no se recomienda que se hagan para todos y cada uno de los proyectos, con el objeto de evitar gastos excesivos de preinversión para los proyectos individuales. Por otra parte, la profundidad y exactitud detallada de la evaluación, dependerá de los potenciales hidroenergéticos y de los requerimientos de energía que en muchos casos podrán estar limitados a evaluaciones cualitativas o aproximadas.

2.3.3.1. ESTUDIO HIDROLOGICO

El objetivo de este estudio es el de determinar los escurrimientos que pueden ser utilizados para la implementación de mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas. Los escurrimientos mínimos se calculan en base a las curvas Gasto-Tiempo, aunque a menudo sea difícil su determinación por medio de métodos directos, ya que en muchos casos no se dispone de registros hidrométricos y se hace necesario tener que recurrir a métodos indirectos después de determinar y aplicar valores índice.

Es también posible establecer criterios de similitud constante entre las cuencas y sus subcuencas correspondientes, de esta forma es posible generalizar la información que seguramente será más disponible para cuencas mayores, especialmente en el caso de las curvas Precipitación-Duración, y las curvas referentes a la relación Gasto-Tiempo.

La información pluviométrica disponible deberá ser complementada antes de preparar ecuaciones de regresión con datos existentes. Por otra parte, la información hidrométrica que generalmente está disponible deberá ser utilizada antes de aplicar criterios de interpolación para suplementar los registros de escurrimiento. También es posible la utilización de modelos hidrológicos en el caso de la no existencia de series hidrológicas representativas en las subcuencas, antes de simular series de drenaje para el área en cuestión.

En el análisis final, las pequeñas plantas pueden definirse como un porcentaje del promedio del escurrimiento multianual. Es posible preparar ecuaciones estableciendo una relación entre el escurrimiento promedio anual y la capacidad hidráulica promedio anual (también conocido como módulo de descarga) y la correspondiente área arroyada de la cuenca, que junto con las curvas de duración que han sido calculadas

directamente, hace posible definir ecuaciones lineales para calcular los escurrimientos mínimos mensuales.

Los escurrimientos diarios pueden variar considerablemente, debido a que los valores mínimos diarios generalmente son inferiores a los valores mensuales. A pesar de esta dificultad, el problema resulta irrelevante en cuanto a que la ocurrencia de flujos diarios mínimos menores a los mensuales, afectarían la operación de la planta sólo temporalmente.

Idealmente, sería lo más deseable tener estimaciones de las corrientes de las que se desea obtener el agua en un periodo de por lo menos tres años, aunque esto resulta práctico sólo para grupos de proyectos en una determinada cuenca y no para una central hidroeléctrica específica.

Si se interpreta correctamente, la información relevante obtenida de la población local, también puede ayudar evaluando escurrimientos históricos, especialmente en lo referente a inundaciones. Los escurrimientos máximos constituyen un útil punto de referencia en la planeación de trabajos de ingeniería civil, especialmente en el aspecto de la seguridad y protección de la obra.

2.3.3.2. ESTUDIOS ECOLOGICOS

Tienen el propósito de describir el ambiente en el cual se desarrollarán la flora y la fauna, con el fin de determinar sus efectos sobre las características de los proyectos, formas constructivas, materiales y equipo a emplearse; su efecto sobre las expectativas de conservación y por otro lado, el efecto de la instalación en la ecología de la cuenca.

Este tipo de estudios son apropiados sólo en la evaluación de cuencas y no de proyectos específicos, para evitar gastos de investigación excesivos para los proyectos individuales; en ese caso, sólo se requieren comentarios generales sobre los aspectos ecológicos. El estudio ecológico deberá cubrir los siguientes aspectos:

- Clima
- Zonas biológicas
- Estudio de suelos
- Vegetación
- Fauna

- Aguas y vida acuática

Las pequeñas plantas son instalaciones no contaminantes, sin embargo, tienen efectos físicos, biológicos y sociales sobre el medio ambiente circundante. Estos efectos pueden ser tanto positivos como negativos. Los proyectos de pequeñas centrales deberán incluir las medidas necesarias para disminuir o eliminar totalmente los efectos negativos. Es posible resumir los efectos ecológicos que produce un aprovechamiento hidroeléctrico de la siguiente manera:

* Efectos físicos y biológicos:

- Efectos derivados de la existencia de la presa (dificulta o impide):

- migración de los peces.

- Navegación fluvial.

- Transporte de cuerpos flotantes.

- Transporte de sólidos en suspensión.

- Transporte de elementos nutritivos a las zonas aguas abajo.

- Efectos derivados del embalse:

- Modificación del volumen de agua en el embalse.

- Decantación.

- Estratificación térmica.

- Gases disueltos.

- Eutrofización.

- Sumersión de fauna terrestre.

- Disminución del caudal del río entre la presa y la restitución.

- Modificación del clima (microclima).

- Modificación del nivel de las capas freáticas.

- Deslizamiento de los terrenos de las riveras.

- Sismos inducidos.

* Efectos sociales:

- Efectos benéficos:
 - Sobre el paisaje, turismo y recreo.
 - Infraestructura vial (construcción de caminos).
 - Desarrollo de la pesca.
- Efectos perjudiciales:
 - Desplazamiento de la población.
 - Ruido.
 - Sumersión de tierras cultivables.
 - Sumersión de tierras con valor arqueológico.
 - Enfermedades endémicas parasitarias (zonas tropicales).
 - Peligro para los asentamientos humanos aguas abajo.

El impacto ambiental producido por una mini, micro o por una pequeña central hidroeléctrica es muy reducido, es por esto que no se presentan con ellas la mayor parte de los efectos antes mencionados: los efectos perjudiciales más importantes a este respecto y los remedios aplicables son los siguientes:

- * Deseccación parcial del río entre la toma y la restitución.- Para evitar este efecto, es necesario mantener un caudal mínimo reservado en período de estiaje. Es necesario tomar en cuenta este caudal energéticamente improductivo en el cálculo de la producción de la instalación hidroeléctrica (disminución del caudal medio turbinable).
- * Obstáculo para la migración de los peces.- Para evitar el seccionamiento del hábitat piscícola, es necesario proveer escalas para los peces en las que la velocidad del agua sea menor a la que los peces puedan franquear (+ m/s para la trucha y 8 m/s para el salmón).
- * Incremento de los niveles de ruido.- Los niveles de ruido creados por la instalación pueden reducirse a límites tolerables sin un encarecimiento apreciable, por medio de un proyecto adecuado del aislamiento acústico correspondiente.

2.3.3.3. ESTUDIOS GEOLOGICOS

Tienen como propósito determinar las características básicas y composición del suelo y subsuelo de la cuenca, con la finalidad de obtener bases de orientación general para la construcción, principalmente en los aspectos estructurales y sísmicos. Los aspectos más relevantes del estudio geológico se listan a continuación:

- * Litología (formaciones geológicas, métodos de estratigrafía).
- * Geología estructural (fallas, curso, etc).
- * Sismología.

2.3.3.4. ESTUDIOS GEOMORFOLOGICOS

Tienen como objetivo estudiar la conformación de la superficie del terreno, y su evaluación para determinar principalmente la acumulación y depósito de sedimentos en los cursos de agua, considerando su implicación en la erosión del equipamiento y en la consecuente necesidad de un adecuado diseño de los desarenadores y correcta selección de los materiales de las turbinas. También permite orientar la selección final de la ubicación de las obras, evitando posibles deslizamientos y aluviones.

2.3.3.5. ESTUDIOS GEOTECNICOS

Su propósito es el estudio de los suelos en cuanto a sus características, propiedades mecánicas, estabilidad y niveles freáticos, principalmente para orientar la construcción de las obras hidráulicas.

La aplicación de estudios geotécnicos a nivel de cuencas y subcuencas es limitada, dada la enorme diversidad de variaciones puntuales, en consecuencia, estos estudios están restringidos a describir aspectos derivados de los estudios geológicos.

El estudio geotécnico es particularmente relevante para el estudio de posibles ubicaciones de las obras civiles, a fin de orientar la selección de las ubicaciones definitivas y definir los requerimientos de diseño. La amplitud de su empleo está ligada a la magnitud del proyecto específico, en cuanto a los costos del estudio, como a los riesgos de la obra en sí. En el caso de pequeñas plantas, los estudios geotécnicos se reducen, en la mayoría de los casos, a un mínimo dado por apreciaciones cualitativas, principalmente

por excavaciones y sondajes, determinación aproximada de la capacidad de apoyo del suelo y las estimaciones de factores de seguridad para el diseño de la obra de toma, algunos anclajes para la tubería y para la cimentación del equipo principal.

2.3.3.6. DISPONIBILIDAD DE MATERIALES

Tienen como objetivo determinar la existencia de materiales adecuados para construir la pequeña planta, factor importante para reducir los costos de las obras y del proceso constructivo.

2.3.3.7. EVALUACION DE LAS NECESIDADES DE ENERGIA Y DEMANDA ECONOMICA EN CADA AREA

Este estudio debe combinarse con una evaluación de los recursos hidroenergéticos del área en cuestión, con el fin de asegurar su relevancia y la subsecuente formulación de proyectos específicos de mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas.

Esta etapa requiere un estudio detallado de los datos obtenidos de la identificación preliminar de microrregiones y áreas aisladas a través de una evaluación de campo que, sin embargo, deberá mantenerse en un nivel general y estadístico al describir las características de cada localidad.

Es necesario disponer de un extenso archivo de datos para cada localidad y preparar cartas de índices para microrregiones o grupos de localidades que pueden ser integradas a pequeñas redes.

El análisis socioeconómico de cada localidad podrá cubrir los siguientes puntos, sin embargo, debe tomarse en cuenta que este análisis puede ser más limitado y que algunos elementos pueden ser dejados para considerarlos en estudios de proyectos específicos, o de otro modo ser omitidos. A continuación se presenta una lista que muestra el alcance del análisis socioeconómico de las localidades:

* Población:

- Número de familias.
- Tamaño de las familias.
- Clasificación por actividades.

- Ingresos.
- Niveles culturales.
- Tipificación de los posibles niveles de las necesidades de energía a satisfacer.
- Tasas de natalidad y mortandad.
- Migración.
- Pronósticos de crecimiento poblacional.
- Pronósticos de crecimiento de las necesidades de energía.
- * Actividades económicas:
 - Descripción de las actividades productivas existentes.
 - Potencial económico del área.
 - Impacto económico del potencial.
- * Comunicaciones y transportes:
 - Caminos.
 - Correo.
 - Telecomunicaciones.
 - Aeropuertos y ferrocarriles.
- * Servicios:
 - Agua potable.
 - Alcantarillado.
 - Comercios.
- * Escuelas y actividades culturales.
- * Descripción física de la localidad.
 - Ubicación geográfica
 - Extensión.
 - Tipo de construcciones y su estado de conservación.

Los análisis socioeconómicos proporcionarán los datos

básicos para cada localidad, puesto que los requerimientos y potencial de consumo de energía y la capacidad instalada requerida se determinarán por medio de los índices socioeconómicos recabados.

En esta etapa de evaluación general, es posible determinar tan sólo requerimientos aproximados de capacidad instalada sobre la base de índices, los cuales serán necesarios para la formulación de proyectos específicos. La evaluación preliminar de consumo de energía puede realizarse considerando los siguientes tipos de consumo:

- * Consumo doméstico.
- * Alumbrado público.
- * Actividades productivas.
- * Varios: salud, educación, cultura, actividades sociales, políticas y religiosas.

Es también posible estimar periodos aproximados de uso diario para cada categoría y sus variaciones a lo largo del año. El análisis adicional suministra los datos necesarios para determinar la capacidad instalada requerida y demanda energética en un nivel factible para estudios de proyectos específicos.

2.3.4. ASIGNACION PRELIMINAR DE PRIORIDADES PARA LA REALIZACION DE PROYECTOS

En este punto se encuentra la base fundamental para definir el plan de desarrollo y sus programas de implementación. Los factores que deberán evaluarse para establecer prioridades para la implementación de proyectos son los siguientes:

- * Tamaño y costo del proyecto, incluyendo el costo de las líneas de transmisión.
- * Población beneficiada.
- * Aplicación de la energía en actividades productivas, incluyendo producción industrial.
- * Disponibilidad y permanencia de los recursos hidroenergéticos.
- * Posibilidades de uso mutuamente complementario en el caso de proyectos múltiples.

- * Posibilidad de interferencia con el uso del agua para otros usos.
- * Posibilidades de participación local comunal y de materiales locales en la construcción.
- * Disponibilidad de rutas de acceso al lugar en donde se implementará el proyecto.
- * Posibilidades de creación de empleos.
- * Posibilidades en la continuidad de operación de la planta y en el autofinanciamiento de operación.
- * Posibilidades en el abastecimiento de equipo, preferentemente de origen nacional.
- * Requerimientos ingenieriles y órdenes de magnitud de los problemas implicados en el proyecto.

La siguiente tabla muestra algunas actividades que pueden ser desarrolladas en localidades aisladas, y también muestra los requerimientos aproximados de capacidad instalada.

| Actividades | Capacidad (KW) |
|-------------------------|----------------|
| Fanadería | 5-15 |
| Carpintería | 5-15 |
| Actividades artesanales | 1-2 |
| Pequeños aserraderos | 15-30 |
| Molino de grano | 3-20 |
| Tejido | 1-6 |
| Beneficiarios de café | 5-30 |
| Cantera | 6-30 |
| Fabrica de hielo | 6-60 |
| Bomba para irrigación | 2-100 |
| Ladrillera | 1-5 |
| Hotel (20 huéspedes) | 2-5 |
| Restaurante | 1-2 |
| Enlatadora de vegetales | 5-20 |

| | |
|---------------------------|------|
| Productos lácteos | 2-10 |
| Bilos | 3-5 |
| Falieres electromecánicos | 5-15 |
| Bombas de gasolina | 1-5 |

Otros aspectos que tendrán que tomarse en cuenta para la elaboración de una lista de proyectos ordenados de acuerdo a las prioridades en su implementación serán con respecto a cuestiones de desarrollo regional, desarrollo industrial rural y de políticas rurales.

2.4. ESTUDIO HIDROECONOMICO

En esta parte se indica la metodología que deberá seguirse como guía para realizar el estudio hidroeconómico de las mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas. En el siguiente capítulo se ilustra esta metodología mediante un ejemplo.

En el caso de estas pequeñas plantas, generalmente se realizará la regulación del escurrimiento, y en estas condiciones se presentarán dos situaciones: presa con embalse sólo para la producción de energía, y presa con embalse para uso múltiple; es decir, riego, abasto, etc.

Antes de comenzar la explicación del estudio hidroeconómico, debemos aclarar que existen relaciones muy estrechas entre el sistema eléctrico y la estación hidroeléctrica. De acuerdo con el gráfico diario de carga eléctrica (ver figura 5), se obtiene la curva de demanda que representa las variaciones de la carga eléctrica en un período específico (semanal, mensual o anual). La zona succionada en el gráfico representa la demanda para el período en cuestión, esta se cubre por medio de todas las centrales conectadas al sistema. La zona de pico se cubre con las centrales hidroeléctricas, las plantas de gas o diesel y con las centrales hidroacumuladoras, ya que estas adquieren carga y se introducen rápidamente al sistema. En la base se colocan las centrales termoeléctricas y las nucleares.

Generalmente, en estos estudios se analizan distintas variantes, algunas de estas variantes son: distintas alturas de la presa, o sea, distintos grados de regulación en el embalse (si las condiciones topográficas son favorables); también se pueden analizar variantes con un mayor volumen muerto para aumentar la carga. Antes de comenzar con el análisis detallado de los cálculos hidroeconómicos se pueden

identificar una serie de condiciones favorables y desfavorables, que determinen en primera instancia el tipo de emplazamiento adecuado.

* Condiciones favorables:

- Tramo del río con gran desnivel.
- Caudal del río relativamente constante, sin grandes periodos de estiaje.
- Conocimiento lo más completo posible de los caudales a lo largo del año y de las variaciones hiperanuales.

* Condiciones desfavorables:

- Caudales muy reducidos en el periodo de seca.
- Crecidas muy grandes que impliquen la construcción de aliviaderos muy importantes.
- Ríos con cuerpos flotantes que exijan un mantenimiento frecuente de las rejillas, o con partículas en suspensión que puedan producir desgastes importantes en los equipos hidráulicos.

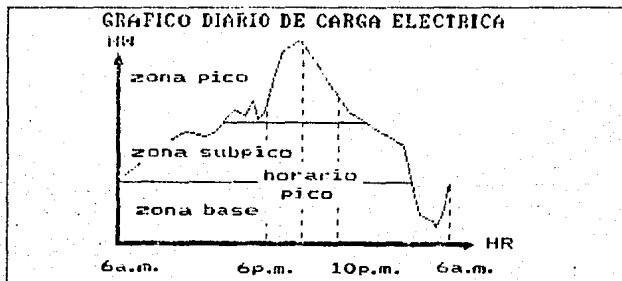


FIGURA 6

- Condiciones geológicas desfavorables (canso o mucha permeabilidad del suelo en el vaso o en el Área de cierre).

CALCULOS DE REGULACION

DESARROLLO DE MINI, MICRO Y PEDERAS CENTRALES

Si existe alteración sobre el escurrimiento, deberá elaborarse el balance hídrico para determinar el escurrimiento de entrada en el embalse. La entrega de los embalses se realiza para la producción de energía eléctrica. La entrega anual es constante con garantía de 85 por ciento de probabilidad, y dentro del año será distribuida uniformemente.

DETERMINACION DE LA COMPONENTE ANUAL

La componente anual del volumen útil se determina en un año de cálculo para el cual la entrega anual bruta es igual al escurrimiento anual. Para la elaboración del gráfico β_a/x , se relaciona para el año medio el escurrimiento y la entrega en una tabla como la que muestra la figura 7.

| AÑO MEDIO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|
| ESCURRIMIENTO % | | | | | | | | | | | | |
| ENTREGA % | | | | | | | | | | | | |
| De aquí: | | | | | | | | | | | | |
| $\alpha \cdot K_0 = 1$ | $B_a = 0.01 \cdot (ER_b - EW_0) \cdot K_0$ | | | | | | | | | | | |
| De donde: | | | | | | | | | | | | |
| ER_b | Suma de la entrega bruta | | | | | | | | | | | |
| W_0 | Suma del escurrimiento medio | | | | | | | | | | | |
| Para el año seco 85% se trabaja de la misma manera: | | | | | | | | | | | | |
| AÑO SECO 85% | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| ESCURRIMIENTO % | | | | | | | | | | | | |
| ENTREGA % | | | | | | | | | | | | |

FIGURA 7

De la figura 7:

$$\beta_a = 0.01 \cdot (ER_b - EW(85\%)) \cdot K(85\%)$$

El tercer punto de la curva se determina asumiendo:

$$\alpha = 0.1 \quad \beta_a = 0$$

Con estos tres puntos se traza en el gráfico $\beta a/\alpha$, la curva de la componente anual del volumen.

DETERMINACION DE LA COMPONENTE HIPERANUAL

Para esto se utiliza el gráfico de Pleshkov para una garantía del 85 %, y la componente hiperanual relativa βh se determina con los valores del coeficiente de variación C_v del escurrimiento anual de la cuenca respectiva y el grado de regulación.

| | K(85) | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
|-----------|-------|-----|-----|-----|-----|
| βh | 0 | | | | |

Con estos datos se traza la curva $\beta h/\alpha$

DETERMINACION DEL VOLUMEN TOTAL

De aquí en adelante todos los cálculos se ordenan en forma tabular:

| K | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
|-------------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|
| 1.- Grado de regulación α | | | | |
| 2.- Por el gráfico $\beta a/\alpha$ | | | | |
| 3.- Por el gráfico $\beta h/\alpha$ | | | | |
| 4.- Volumen componente anual | $V_a = \beta a \cdot W_o$ | | | |
| 5.- Volumen componente hiperanual | $V_h = \beta h \cdot W_o$ | | | |
| 6.- Volumen útil | $V_u = V_a + V_h$ | | | |
| 7.- Volumen total | $V_t = V_u + V_{az}$ | | | |
| 8.- Llenado medio | $V_m = 0.5 \cdot V_u + V_{az}$ | | | |
| 9.- Pérdidas totales | $P_t = 0.15 \cdot V_m$ | | | |
| 10.- Entrega bruta | $R_b = \alpha \cdot W_o$ | | | |
| 11.- Entrega neta | $R_n = R_b - P_t$ | | | |
| 12.- Aguas derramadas | $W_v = W_o - R_b$ | | | |

PARAMETROS DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA

Cotas, altura de la presa y cargas (ver figura B):

| | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|
| 1.- Grado de regulación α | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| 2.- Cota NAMO (Curva de almacenamiento V_t) | | | | |
| 3.- Altura de la cortina (NAMO - C. Fondo + Borde) | | | | |
| 4.- Carga bruta H_{\max} en el río = NAMO - Cota Nivel de Agua | | | | |
| 5.- Pérdidas hidráulicas (5 - 10) % | | | | |
| 6.- Carga neta $H_{\max-net} = H_{\max} - P.H.$ | | | | |
| 7.- Carga nominal (de diseño) H_o | | | | |

FIGURA B

Tiempo de funcionamiento diario de la pequeña planta en el año seco, si la central trabaja 4 horas en el día en el periodo seco (85%).

$$t_o = 4 \cdot 365 = 1\ 460 \text{ hrs.}$$

Calculado en horas por año, es el índice llamado factor de carga, en este caso para el año seco de probabilidad 85%.

GASTOS DE DISEÑO DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA

Se calcula por la fórmula:

$$D = R_n / t_o \text{ (m}^3/\text{s)}$$

Donde:

- D - Gasto de diseño
- R_n - Entrega neta
- t_o - Tiempo diario de funcionamiento en horas

POTENCIA INSTALADA N (KW)

Para la determinación de la potencia se utiliza la

ecuación física del trabajo mecánico que realiza el agua cayendo de una altura:

$$E = \tau \cdot W \cdot H$$

Donde:

- τ - 1 000 Kg/m³ (peso específico del agua)
- H - Altura de caída en m
- W - Volumen del agua en m³
- E - Energía generada en Kg

Si la energía de caída se divide por el tiempo de caída se obtiene:

$$N = E/t = \tau \cdot Q \cdot H$$

Donde:

- N - Potencia en Kg/s
- Q - Gasto en m³/s

CALCULO DEL ESCURRIMIENTO APROVECHABLE!

$$W_{\text{apro}} = W_o - P_t = R_n + W_v$$

Donde:

- W_{apro} - Escurrimiento aprovechable
- W_o - Escurrimiento medio
- P_t - Pérdidas totales
- R_n - Entrega neta
- W_v - Escurrimiento vertido

Si se plantea que la central trabaje 16 horas/día, o cuando se trate de un embalse de regulación anual incompleta, es preferible que las excedencias se determinen por medio de balances en año medio para determinar más exactamente la energía generada promedio anual (E) y la carga neta media (H_{net}). A continuación se explica la confección del balance del embalse y en el siguiente capítulo se mostrará la secuencia operativa (ver la tabla de la figure 9).

| MESES | ESCURRIMIENTOS DE ENTRADA | ENTREGA META | AGUAS VERTIDAS | BALANCE | LLENADO TOTAL | LLENADO POR PERIODO | ENTREGA BRUTA | AGUAS VERTIDAS | BALANCE | LLENADO TOTAL | LLENADO POR PERIODO | ENTREGA BRUTA | AGUAS VERTIDAS | BALANCE | LLENADO TOTAL | LLENADO POR PERIODO | ENTREGA BRUTA | AGUAS VERTIDAS | BALANCE |
|-------|---------------------------|--------------|----------------|---------|---------------|---------------------|---------------|----------------|---------|---------------|---------------------|---------------|----------------|---------|---------------|---------------------|---------------|----------------|---------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| XII | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| XI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IX | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VIII | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VII | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| VI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| V | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| IV | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| III | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| II | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| I | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SEPT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

FIGURA 9

Se llenan las columnas 2 y 3 comprobando las sumas. Se hace con la distribución característica para el escurrimiento de entrada para el año medio (W_e) y con la distribución planteada para la entrega meta (R_e), que en este caso es uniforme, es decir, proporcional al número de segundos en el mes.

Se calculan los valores balance en la columna 5 como diferencia entre el escurrimiento mensual y la entrega meta mensual indicando el signo. Se determina el periodo de déficit, el periodo restante del año es el de exceso. Se suman los valores balance del periodo de déficit (según su signo, pues pueden aparecer dentro de los valores positivos y de esta manera se obtiene $\Sigma (-b)$ que tiene signo negativo.

Se determina un llenado inicial del embalse que va a provocar la aparición de excedencias de un tamaño igual al valor promedio anual de las aguas vertidas, o sea:

$$W_v = (1-\alpha) \cdot W_o = W_o - R_b$$

Donde:

- W_v - Escurrimiento vertido promedio anual
- α - Grado de regulación
- W_o - Escurrimiento medio anual
- R_b - Entrega anual bruta

Se comienza a "llenar" el embalse de la columna 6 a partir del primer mes del exceso, añadiendo consecutivamente los valores de la columna 5 (según su signo) hasta obtener el volumen total del embalse. Las aguas de exceso son las que se vierten, las anotamos en la columna 4 y corrigimos los valores en la columna 2. En los meses en que el llenado no cambia en la columna 5, "balance" debe aparecer con valor cero. Sumamos las aguas vertidas, la suma deberá ser igual en el primer tanteo (sin tener en cuenta las pérdidas) al valor:

$$W_v = P_t$$

Donde:

P_t - Pérdidas totales anuales en el embalse

En el mes anterior al periodo de déficit el embalse está lleno (V_t) y durante ese mismo periodo se vacía hasta obtener el llenado final que es igual al llenado inicial (en la misma casilla). Todos los llenados mensuales del embalse se refieren al final de cada mes, incluso el llenado inicial.

En la columna 7 se obtiene el llenado promedio mensual, sumando el llenado del mes anterior con el llenado del mes actual y dividiendo entre dos. Se hace también la suma anual de los llenados promedios para obtener el porcentaje exacto que se debe aplicar al calcular las pérdidas mensuales.

En la columna 8 se calculan las pérdidas mensuales cuya suma anual debe ser igual al valor anual ya determinado por la fórmula:

$$P_t = 0.15 \cdot V_m$$

El coeficiente numérico se toma en los límites 0.1-0.2, en donde:

$$V_m = 0.5 \cdot V_u + V_{az}$$

Donde:

V_m - Volumen de llenado promedio anual

V_u - Volumen útil del embalse

V_{az} - Volumen muerto o de azolves

Después de obtener la entrega bruta en la columna 9

sumando la entrega neta (columna 3) con las pérdidas (columna 8) se repite el cálculo (segundo tanteo) en las columnas de la 10 a la 13, usando la entrega bruta en el lugar de la entrega neta. En este segundo tanteo, la suma de los excedentes debe resultar igual al valor W_v , lo cual es lo que se planteaba en este balance.

Algunas veces se hace el primer tanteo del balance del embalse con la entrega bruta distribuida como si fuera la entrega neta (en el caso estudiado uniformemente). Después de determinar las pérdidas, se pone la columna de la entrega neta y otra columna más de la entrega bruta obtenida ya como sumas mensuales de los valores netos más las pérdidas. Así, el segundo tanteo ofrecería una mejor aproximación con respecto a las pérdidas mensuales calculadas como un porcentaje determinado del llenado promedio mensual, pero embargo, la precisión que se obtiene de esta manera no es absolutamente necesaria.

Otra variante del balance en un año medio consiste en el intento de plantear una entrega igual al escurrimiento medio anual, distribuida uniformemente o según la distribución de la entrega garantizada. Se considera que esta manera de presentar el balance del embalse es una forma de buscar un aprovechamiento máximo de las aguas, pero no del todo correcta por las siguientes razones:

- 1.- La creación del embalse no puede ser planteada en base a un tamaño aumentado de la entrega según la probabilidad del escurrimiento, por la simple causa de que no existe pronóstico hidrológico o una plaza tan larga como un año, dicho con otras palabras, previamente no se puede conocer la caudaliosidad del año para poder plantear una entrega mensual por encima de la garantizada para todos los meses del año.
- 2.- Una operación así, incluso en el caso de que se pudiera prever la caudaliosidad, perjudicaría el uso del embalse como regulador hiperanual, porque lo convertiría en un regulador anual con una garantía inferior a la planteada. En este caso, el embalse se quedaría sin reservas para los años más secos de la media.

Las aguas de exceso se denominan así condicionalmente, una parte de éstas también pasan por las turbinas de la hidroeléctrica. Muy a menudo, sobre todo cuando el grado de regulación es mayor y la central funciona cubriendo el pico de la carga (pocas horas del día), se aprovechan todas las aguas que podrían ser vertidas si funcionara la central sin cesar las 24 horas del día, los excedentes que se aprovechan por la central (W_{va}) se pueden determinar con la siguiente fórmula:

$$W_{va} = C_{che} \cdot (E_0 - t_0) \cdot (3.6 \cdot n) / 1000$$

Donde:

- W_{va} - Excedentes aprovechables mensualmente (m^3)
- C_{che} - Gasto de diseño de la central hidroeléctrica en m^3/s .
- W_v - Aguas vertidas promedio mensual.
- n - Número de días en el mes.
- t_0 - Tiempo de funcionamiento diario con la entrega garantizada en horas.

Si resulta que $W_{va} = W_v$, entonces se aprovechan todos los excedentes en el mes, es decir, $W_{va} = W_v$.

BALANCE EN UN AÑO SECO 85%

Se confecciona para determinar la energía generada garantizada 85%, también las potencias, cargas mensuales mínimas y otros índices para el año de cálculo. Se confecciona el balance con escurrimiento de entrada igual del 85% de probabilidad (W_{85}) y la entrega neta garantizada R_b , según sus distribuciones mensuales características. En este balance no hay aguas excedentes. Para que sea un año garantizado, el balance debe iniciar con una reserva (llenado inicial V_1) en el último mes del periodo de déficit igual a:

$$V_1 = R_b - W_{85}$$

Donde:

- R_b - Entrega bruta garantizada.

2.5. CRITERIOS PARA SELECCIONAR LA TURBINA

En esta parte del trabajo se presenta una metodología por medio de la cual se puede seleccionar una turbina o bomba adecuada para utilizarse en la producción de energía eléctrica por medio de un recurso hidroeléctrico pequeño.

Las turbinas para los esquemas de mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas se construyen con frecuencia ya sea por compañías de ingeniería o especialistas o bien,

por el usuario final. Existen varios manuales de construcción, en los cuales (por lo general) no se indica si el tipo de turbina y su diseño es lo óptimo para un proyecto en particular. En esta parte del trabajo se describen los criterios básicos de selección que ayudan a los diseñadores de pequeñas plantas hidroeléctricas.

Es un hecho que en las grandes turbinas se han alcanzado eficiencias hidráulicas muy elevadas, sin embargo, no es conveniente reducir a escala a estas turbinas para aplicarlas en pequeños aprovechamientos hidroeléctricos, principalmente porque el costo por KW no permanece constante al reducir el tamaño, esto implica que para mantener los costos en forma competitiva con respecto a otras fuentes, alternas de energía sea necesario que en algún punto se simplifique el diseño de la máquina, aun a expensas de reducir la eficiencia hidráulica. Tal vez sea necesario hacer a un lado aspectos tales como los controladores de velocidad electro-hidráulicos. Con el objeto de cubrir los diferentes requerimientos del sitio, un rango económico de turbinas resulta económico para el fabricante de turbinas de pequeña escala. También es posible que un fabricante construya una turbina adecuada para el sitio o utilizar una bomba de agua disponible en forma comercial, ya que las bombas se hallan disponibles en muchos tamaños, y por otra parte, las bombas se encuentran varias generaciones adelante de las turbinas convencionales en lo que respecta a la reducción de costos, son menos complicadas, más fáciles de instalar y mantener, y más sencillas de operar. Las bombas ofrecen ventajas sustanciales en las aplicaciones de microcentrales hidroeléctricas.

Es interesante notar que en algunos países en vías de desarrollo, el uso de los pequeños recursos hidráulicos se ha implicado la electrificación del campo. Por ejemplo, en Nepal muchas turbinas de agua operan directamente el equipo de procesamiento de alimentos. La tecnología simple que satisface demanda, permite que la gente obtenga experiencia más fácilmente en lo relacionado con la operación y el mantenimiento de la planta. Si fuera considerado el uso de una turbina para dicha aplicación, la velocidad de operación sería menos crítica.

Es posible calificar a las turbinas de agua en dos grupos principales: turbinas de impulso y turbinas de reacción. Las primeras se utilizan con mayor frecuencia en pequeñas aplicaciones hidroeléctricas. En la tabla de la figura 10 se resumen las principales ventajas y desventajas de los diferentes tipos de turbinas con respecto a su aplicación en pequeños hidroeléctricos pequeños. De acuerdo con la tabla de la figura 10, se puede observar que las turbinas de impulso ofrecen más ventajas en relación con las turbinas de reacción, para su aplicación en centrales de pequeña escala. Es importante observar lo relacionado con la eficiencia a

carga parcial.

| CARACT. DE LA TURBINA | ESQUEMAS HIDRAULICOS PEQUEÑOS | |
|-----------------------|---|---|
| | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
| IMPULSO EN GENERAL | <ul style="list-style-type: none"> *Cavitación reducida. *Buena eficiencia a carga parcial. *Posibilidad de control mecánico estático. | <ul style="list-style-type: none"> *Eficiencias menores sobre las turbinas de reacción. |
| PELTON | <ul style="list-style-type: none"> *Los daños por erosión son fácilmente reparables. | |
| GIRARD | | <ul style="list-style-type: none"> *Eficiencias pobres a carga parcial. *Diseños obsoletos. |
| RUEDAS DE AGUA | <ul style="list-style-type: none"> *Tecnología simple. | <ul style="list-style-type: none"> *Velocidades bajas de operación. |
| REACCION EN GENERAL | <ul style="list-style-type: none"> *Diseño compacto *Buena eficiencia. | <ul style="list-style-type: none"> *Diseños elaborados. *Mantenimiento caro y complejo. *Operación limitada por la cavitación. |
| FRANCIS | <ul style="list-style-type: none"> *Disponible en varios tamaños. | <ul style="list-style-type: none"> *Eficiencias pobres a carga parcial. |

FIGURA 10

Con excepción de la turbina Girard, por lo general, las turbinas de impulso tienen una buena eficiencia a carga parcial. Esta es una característica deseable cuando una central de agua fluyente está sujeta a variaciones considerables de flujo. En las centrales grandes, el sistema de control de flujo tiene dos funciones básicas:

- * Reducir la salida de potencia de la turbina y en consecuencia controlar la velocidad.
- * Conservar los recursos de agua donde se dispone de almacenamiento.

En las centrales de pequeña escala, la función del sistema de control de flujo es simplemente para que la

turbina pueda operar en forma eficiente a velocidades reducidas de flujo. La turbina estará conectada a una carga de bloque relativamente constante o bien, a un sistema electrónico de regulación de carga. La velocidad de la turbina se regula mediante la alternancia de la salida de potencia. En la figura 11 se muestran los medios para seleccionar un tipo apropiado de turbina. La altura de caída disponible, considerada como la variable independiente, se grafica en el eje horizontal, en tanto que el gasto se grafica en el eje vertical.

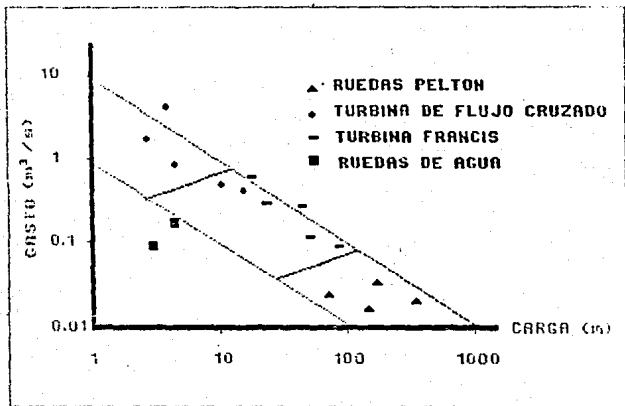


FIGURA 11

Las líneas diagonales representan la disponibilidad de potencia de agua. Las líneas a-a y b-b representan el límite en el comportamiento de las turbinas de flujo cruzado, con anchos de 1 y 0.5 m respectivamente. Las turbinas graficadas en la figura 11 representan las aplicaciones o los datos que aparecen en los manuales de los fabricantes. Considerando que las escalas de los ejes son logarítmicas, la turbina de flujo cruzado cubre las necesidades de la mayor parte de las aplicaciones hidroeléctricas de escala menor. El área especial de aplicaciones que se agregó al diagrama fue para hacerlo más completo.

Aparentemente no existe mucha información acerca de bombas que operen como turbinas de agua. Varios fabricantes ofrecen sus bombas como turbinas, pero en general, no se proporciona lo relacionado con la prueba. Algunos fabricantes utilizan factores de conversión como los que se muestran a continuación:

$$Q_t = Q_p \cdot K_q$$

$$H_t = H_p \cdot K_h$$

$$E_t = E_p \cdot K_e$$

Los factores de conversión K_q , K_h y K_e varían con la velocidad específica. Los símbolos Q , H y E se refieren al gasto, la altura de caída y la eficiencia respectivamente. Los subíndices t y p indican las características de modo de la turbina y de la bomba respectivamente. En la figura 12 aparecen algunos de los valores de los factores de conversión.

| VELOCIDAD ESPECIFICA | K_h | K_q | K_e |
|----------------------|-------|-------|-------|
| 23 | 1.42 | 1.24 | 0.967 |
| 14 | 2.20 | 2.02 | 0.940 |

FIGURA 12

En ausencia de datos más definitivos, se recomienda que se analicen las aplicaciones de las bombas y turbinas con el fabricante; En caso contrario, se pueden utilizar con cierta precaución los factores anteriores para bombas centrífugas.

3. EJEMPLO DE UN ESTUDIO HIDROECONOMICO PRELIMINAR

En el presente capítulo se presentará un ejemplo de estudio preliminar hidroeléctrico para una pequeña central hidroeléctrica para una central hidroeléctrica con aguas reguladas por un embalse, con el objetivo fundamental de que las explicaciones dadas en la parte de "Estudio hidroeconómico" queden ejemplificadas y que al mismo tiempo sirvan de guía en los trabajos preliminares de proyectos de conjuntos hidráulicos para la microenergía hidráulica.

Todos los cálculos que se presentarán a continuación se presentan en tablas, de tal manera que la secuencia de cálculos se lleve a cabo de manera ordenada; además, todos los datos presentados en el ejemplo son representativos de un caso ideal.

3.1. DATOS INICIALES

3.1.1. ESQUEMA

El esquema consiste de un plano con curvas de nivel y un corte transversal, descripción breve de la zona y descripción de las variantes que se estudian. Las variantes que se estudian son:

- * Distinta altura de la presa (distintos grados de regulación en el embalse).

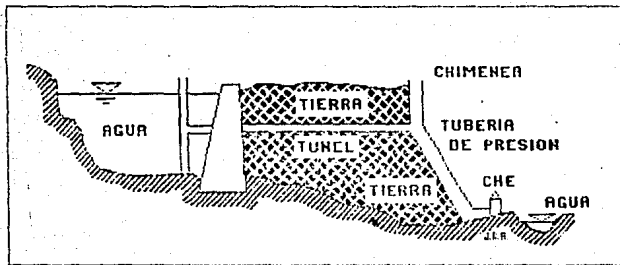


FIGURA 13

3.1.2. DATOS HIDROLOGICOS

En el cierre de la presa:

- * Escurrimiento medio anual:

$$W_m = 120 \text{ MM m}^3 \text{ (millones de metros cúbicos)}$$

$$C_v = 0.45 \text{ (Coeficiente de variación)}$$

- * Volumen de azolves para 100 años:

$$V_{az} = 5.0 \text{ MM m}^3$$

- * Distribución del escurrimiento por meses: (ver figura 14)

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| ANO MEDIO | 2.5 | 1.4 | 1.3 | 1.4 | 9.4 | 12 | 10 |
| ANO 85 % | 2.5 | 2.0 | 2.0 | 1.6 | 15 | 10 | 9 |

| | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | SUMA |
|-----------|----|----|------|----|----|-------|
| ANO MEDIO | 9 | 7 | 27 | 10 | 9 | 100.0 |
| ANO 85 % | 10 | 12 | 16.9 | 10 | 9 | 100.0 |

FIGURA 14

3.1.3. DATOS TOPOGRAFICOS

Curva de almacenamiento del embalse: (figuras 15 y 16)

| H (m) COTAS | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| V (MM m ³) | 0 | 2 | 7 | 15 | 28 | 46 | 77 | 120 |

FIGURA 15

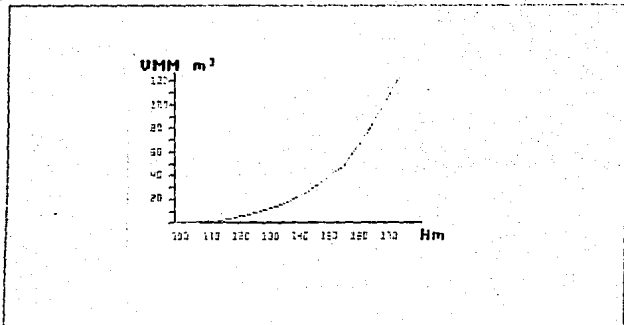


FIGURA 16

3.1.4. DATOS SOBRE EL CONSUMO

planta para producción de energía eléctrica solamente. La entrega anual es constante, la garantía es 85% y la distribución dentro del año por meses es uniforme. La pequeña central hidroeléctrica va a producir energía eléctrica sólo en las horas pico (18 a 22 hrs).

3.2. CALCULOS DE REGULACION

3.2.1. COMPONENTE ANUAL

La relación $\beta a/x$ (figura 17 y 18)

| AÑO MEDIO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------|-------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| ESCURR. (%) | (2.5) | 1.4 | 1.3 | 1.4) | 9.4 | 12 | 10 |
| ENTREGA (%) | (8.5) | 7.7 | 8.5 | 8.2) | 8.5 | 8.2 | 8.5 |

| AÑO MEDIO | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | SUMA |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| ESCURR. (%) | 9 | 7 | 27 | 10 | 9 | (6.6) |
| ENTREGA (%) | 8.3 | 8.2 | 8.5 | 8.2 | 8.5 | (32.9) |

$$\alpha = 1.0 \quad \beta a = 0.01 \cdot (32.9 - 6.6) \cdot 1.0 = 0.263$$

| AÑO SECO 85% | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|----------------|-------|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| ESCURR. (%) | (2.5) | 2.0 | 2.0 | 1.6) | 15 | 10 | 9.0 |
| ENTREGA (%) | (8.5) | 7.7 | 8.5 | 8.2) | 8.5 | 8.2 | 8.5 |

| AÑO SECO 85% | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | SUMA |
|----------------|-----|-----|------|-----|-----|--------|
| ESCURR. (%) | 10 | 12 | 16.9 | 10 | 9 | (8.1) |
| ENTREGA (%) | 8.3 | 8.2 | 8.5 | 8.2 | 8.5 | (32.9) |

$$\alpha = K_{85} = 0.556 \quad \beta a = 0.01 \cdot (32.9 - 8.1) \cdot 0.556 = 0.138$$

Resumiendo: $\alpha = 0.1$; $\beta a = 0$ (Ver figura 18)

FIGURA 17

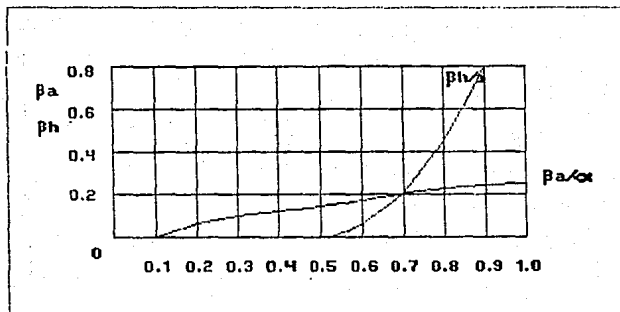


FIGURA 18

3.2.2. COMPONENTE HIPERANUAL

La relación $\beta h/x$ para año seco 85% y $C_v = 0.45$:

| | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| x | 0.556 | 0.300 | 0.700 | 0.800 | 0.900 |
| βh | 0 | 0.06 | 0.20 | 0.37 | 0.75 |

FIGURA 19

3.2.3. CALCULO FINAL DE REGULACION

$$W_m = 120 \text{ MM m}^3$$

$$V_{\Delta z} = 5 \text{ MM m}^3$$

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.- Grado de regulación α | 0.555 | 0.300 | 0.700 | 0.800 | 0.900 |
| 2.- Por el gráfico $\beta a/\alpha = \beta m$ | 0.138 | 0.150 | 0.180 | 0.210 | 0.240 |
| 3.- Por el gráfico βh | 0 | 0.06 | 0.20 | 0.39 | 0.75 |
| 4.- Componente anual $V_a = \beta a \cdot W_m$ | 16.6 | 18.0 | 21.6 | 25.2 | 28.8 |
| 5.- Componente hiper-anual $V_h = \beta h \cdot W_m$ | 0 | 7.2 | 24.0 | 46.8 | 90.0 |
| 6.- Volumen útil $V_u = V_a + V_h$ | 16.6 | 25.2 | 45.6 | 72.0 | 118.8 |
| 7.- Volumen total $V_t = V_u + V_{az}$ | 21.6 | 30.2 | 50.6 | 77.0 | 123.0 |
| 8.- Llenado medio $V_m = 0.5 \cdot V_u + V_{az}$ | 13.3 | 17.6 | 27.8 | 41.0 | 64.4 |
| 9.- Pérdidas totales $P_t = 0.15 \cdot V_m$ | 2.0 | 2.64 | 4.17 | 6.15 | 9.66 |
| 10.- Entrega bruta $U = \alpha \cdot W_m$ | 66.72 | 72.0 | 84.0 | 96.0 | 108.0 |
| 11.- Entrega neta $R = U - P_t$ | 64.72 | 69.36 | 79.83 | 89.85 | 98.34 |
| 12.- Aguas vertidas $W_v = W_m - U$ | 53.28 | 48.0 | 36.0 | 24.0 | 12.0 |

FIGURA 20

3.3. PARAMETROS TECNICOS Y ECONOMICOS DE LA CENTRAL

3.3.1. COTAS, ALTURA DE LA PRESA Y CARGAS

De la curva de la figura 15:

* Cota de fondo : 100 m

* Cota de NAMIND (Nivel de Aguas Mínimo de Operación):

con $V_{az} = 116 \text{ m}$

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.- Grado de regulación α | 0.556 | 0.300 | 0.700 | 0.800 | 0.900 |
| 2.- Cota NAMD (curva almacenamiento V_t) | 135.5 | 141.5 | 151.0 | 160.0 | 171.0 |
| 3.- Altura cortina (NAMD-C.Fondo+5m) | 40.5 | 46.5 | 56.0 | 65.0 | 76.0 |
| 4.- Carga máxima ($H_{max} = \text{NAMD} - 30\text{m.}$) | 105.5 | 111.5 | 121.0 | 130.0 | 141.0 |
| 5.- Pérdidas hidr. ($P = 0.08 \cdot H_{max}$) | 8.4 | 8.9 | 9.7 | 10.4 | 11.3 |
| 6.- Carga máx. neta ($H_{max} - P$) | 97.1 | 102.6 | 111.3 | 119.6 | 129.7 |
| 7.- Carga nominal (de diseño H_0) | 99.0 | 103.0 | 109.3 | 115.3 | 122.7 |

FIGURA 21

3.3.2. TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DIARIO EN AÑO SECO

* $(85\%) t_p = 4 \text{ h/d(horas diarias)} \cdot 365 \text{ días} = 1460 \text{ hrs}$

* Gasto de diseño de la central:

| | | | | | |
|----------------------------|-------|------|------|------|------|
| α | 0.556 | 0.3 | 0.7 | 0.8 | 0.9 |
| $Q \text{ (m}^3/\text{s)}$ | 12.3 | 13.2 | 15.2 | 17.1 | 18.9 |

3.3.3. POTENCIA KW

Ver la tabla de la figura 22.

| | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.- Grado de regulación α | 0.356 | 0.300 | 0.700 | 0.800 | 0.900 |
| 2.- $N_{\text{max}} = N_{\text{max}} \cdot H_{\text{netmax}}$ | 9555 | 10935 | 13534 | 16361 | 19412 |
| 3.- $N_{\text{med}} = N_{\text{med}} \cdot H_{\text{netmed}}$ | 8964 | 10011 | 12231 | 14514 | 17064 |
| 4.- $N_{\text{min}} = N_{\text{min}} \cdot H_{\text{netmin}}$ | 7795 | 8355 | 9621 | 10924 | 11960 |
| 5.- N_{medred} (Redondeada) | 10000 | 11000 | 14000 | 17000 | 20000 |

FIGURA 22

3.3.4. ENERGIA GENERADA PROMEDIO ANUAL

Cuando se plantea que la pequeña planta trabaje solamente en las horas pico en un año seco de 0.5% de probabilidad, se puede asumir en estos cálculos aproximados que las aguas que se podrían verter, es decir, el volumen de agua medio anual que será aprovechado es igual a:

$$W_{\text{apr}} = V_m - P_t = R + W_v$$

Si se plantea que la central trabaje 15 horas diarias y también, cuando se trate de un embalse de regulación anual incompleta, es preferible que las aguas vertidas aprovechables se determinen por medio de balances en año y medio con un llenado inicial V_i igual a:

$$V_i = V_t - \Sigma (-b)$$

Y teniendo en cuenta la capacidad libre de la central al funcionar horas extras hasta 24 horas al día (ver la tabla de la figura 30).

| | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.- Grado de regulación α | 0.556 | 0.300 | 0.700 | 0.800 | 0.900 |
| 2.- Energía Fico (MM KWH) | 14.24 | 15.88 | 19.40 | 23.03 | 26.81 |
| 3.- Energía Día-Noche (MM KWH) | 11.50 | 10.94 | 8.90 | 6.38 | 3.40 |
| 4.- Energía Total (MM KWH) | 25.74 | 26.82 | 28.30 | 29.41 | 30.21 |

FIGURA 23

3.3.5. INVERSIONES (COSTO DE LA OBRA MM \$)

| | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.- Grado de regulación α | 0.556 | 0.300 | 0.700 | 0.900 | 0.900 |
| 2.- Conjunto hidráulico | 5.00 | 8.50 | 13.20 | 19.00 | 30.00 |
| 3.- Central hidroeléctrica | 0.20 | 0.20 | 0.30 | 0.35 | 0.40 |
| 4.- Túnel y chimenea de oscilación | 2.00 | 2.00 | 2.20 | 2.50 | 3.00 |
| 5.- Tubería de presión | 0.50 | 0.60 | 0.80 | 1.20 | 1.80 |
| 6.- Inversión total K (MM KWH) | 7.70 | 11.90 | 17.20 | 23.85 | 36.10 |

FIGURA 24

3.3.6. GASTOS ANUALES

Se componen de amortizaciones, gastos para explotación y gastos para energía de uso propio. Algunas tasas de amortización (ideales):

| CONCEPTO | % |
|-----------------|-----|
| Turbina de agua | 3.1 |

| | |
|--------------------------------|-----|
| Generadores y otros equipos | 6.8 |
| Líneas de transmisión | 2.0 |
| Embalses reguladores | 1.9 |
| Presas derivadoras de hormigón | 3.0 |
| Micropresas de tierra | 1.4 |
| Tuberías de presión | 3.5 |
| Túneles de conducción | 5.0 |
| Presa para la central | 2.4 |
| Tuberías, canales y galerías | 5.0 |

3.3.6.1. GASTOS ANUALES PARA AMORTIZACIONES (MM \$)

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.- Grado de regulación α | 0.556 | 0.300 | 0.700 | 0.800 | 0.900 |
| 2.- Conjunto hid. (presa) 2.4% | 0.120 | 0.204 | 0.317 | 0.456 | 0.720 |
| 3.- Central (generadores y turb.) 6.8% | 0.014 | 0.014 | 0.020 | 0.024 | 0.027 |
| 4.- Túnel y chimenea de esc. 5% | 0.100 | 0.100 | 0.110 | 0.125 | 0.150 |
| 5.- Tubería de presión 5% | 0.025 | 0.030 | 0.040 | 0.060 | 0.090 |
| 6.- Gastos de amortización Ga | 0.259 | 0.348 | 0.487 | 0.665 | 0.937 |

FIGURA 25

3.3.6.2. GASTOS ANUALES DE LA EXPLOTACION

Se componen de los sueldos de los trabajadores y empleados que operan las obras hidráulicas y la central hidroeléctrica, que realizan las reparaciones corrientes; también es válido para materiales y piezas de repuesto necesarias para la explotación:

| | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.- Grado de regulación α | 0.556 | 0.300 | 0.700 | 0.800 | 0.900 |
| 2.- Gastos anuales de explotación G_{exp} | 0.050 | 0.060 | 0.080 | 0.100 | 0.130 |

FIGURA 26

3.3.6.3. GASTOS PARA ENERGIA

En el presente ejemplo se asumen los gastos de energía para cubrir las necesidades de la pequeña central hidroeléctrica:

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.- Grado de regulación α | 0.556 | 0.300 | 0.700 | 0.800 | 0.900 |
| 2.- Gastos anuales de energía G_{en} | 0.010 | 0.020 | 0.040 | 0.060 | 0.090 |

FIGURA 27

Gastos anuales totales (G) MM \$

| | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.- Grado de regulación α | 0.556 | 0.300 | 0.700 | 0.800 | 0.900 |
| 2.- Gastos anuales totales $G = G_a + G_{exp} + G_{en}$ | 0.319 | 0.429 | 0.607 | 0.825 | 1.207 |

FIGURA 28

3.3.7. BENEFICIOS (VENTA DE LA ENERGIA PRODUCIDA)

Se asumen los siguientes precios de venta de la energía eléctrica:

- * La energía de pico (6 pm - 10 pm) 4 horas: 8.42 €/KWh
- * La energía de día (6 am - 6 pm) 12 horas: 2.80 €/KWh
- * La energía de noche (10 pm - 6 am) 8 horas: 1.50 €/KWh

El precio promedio ponderado:

* De día y de noche:

$$(12 \cdot 2.8 + 8 \cdot 1.5) / 20 = 2.28 \text{ €/KWH}$$

* Diario (24 horas):

$$(12 \cdot 2.8 + 8 \cdot 1.5 + 4 \cdot 8.42) / 24 = 3.30 \text{ €/KWH}$$

* De pico y de día:

$$(4 \cdot 8.42 + 12 \cdot 2.8) / 20 = 2.28 \text{ €/KWH}$$

Ver la tabla de la figura 29.

| | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.- Grado de regulación α | 0.556 | 0.300 | 0.700 | 0.800 | 0.900 |
| 2.- Energía (pico) E_p MM KWH | 14.24 | 15.88 | 19.40 | 23.03 | 26.81 |
| 3.- Energía día-noche E_{d-n} MM KWH | 11.50 | 10.94 | 8.90 | 6.38 | 3.45 |
| 4.- Beneficio E_o MM \$ | 1.20 | 1.34 | 1.63 | 1.94 | 2.28 |
| 5.- Beneficio E_{d-n} MM \$ | 0.26 | 0.25 | 0.20 | 0.15 | 0.08 |
| 6.- Beneficio bruto B MM \$ | 1.16 | 1.59 | 1.83 | 2.09 | 2.34 |
| 7.- Beneficio neto B-C MM \$ | 1.14 | 1.16 | 1.22 | 1.27 | 1.10 |

FIGURA 29

3.4. EVALUACION DEL PROYECTO

3.4.1. LA VARIANTE MAS VENTAJOSA O MAS CONVENIENTE

A veces, alguno o varios de los índices técnico económicos se representan con un valor mínimo, señalando de esta forma a la variante más ventajosa económicamente. Sin embargo, no es obligatorio que esta sea la variante que se debe elegir para las fases posteriores del proyecto. Podría

ser electa también en base a un criterio previamente formulado, tal como se muestra en el siguiente ejemplo:

La variante que más energía ofrece, pero con un plazo de la recuperación de las inversiones no mayor a 20 años.

3.4.2. INDICES TECNICO ECONOMICOS DE LA VARIANTE ELECTA

Como se exige que la pequeña central hidroeléctrica sea una central que trabaje cubriendo los picos de demanda, en el año de cálculo debe funcionar:

$$T = 4 \text{ horas/día} \cdot 365 \text{ días} = 1\,460 \text{ horas}$$

$$T = 5\,256 \text{ MM s}$$

El gasto de diseño de la central:

$$Q = R / T = 39.85 / 5\,256 = 17.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

La carga máxima bruta:

$$H_{\text{max}} = 160 - 30 = 130.0 \text{ m}$$

Las pérdidas hidráulicas (se asume un 8% de la carga máxima):

$$P = .08 \cdot (130) = 10.40 \text{ m}$$

La carga máxima neta:

$$H_{\text{max-net}} = 130.00 - 10.40 = 119.60 \text{ m}$$

La carga mínima:

$$(116 - 30) \cdot 0.92 = 79.12 \text{ m}$$

La carga media neta (ver la figura 30 más adelante):

$$H^{\text{net}} = 29\,721\,450 / (89.85 + 24) = 117.47 \text{ m}$$

La carga neta garantizada menos el promedio en un año seco 95% (ver la figura 30 más adelante):

$$H_{\text{net-95}} = 8\,362.34 / 89.85 = 93.07 \text{ m}$$

Potencia máxima:

$$N_{\text{max}} = 8 \cdot Q \cdot H_{\text{max-net}} = 8 \cdot (17.1) \cdot (119.6) = 16\,361 \text{ KW}$$

Potencia mínima:

$$N_{\text{min}} = 8 \cdot Q \cdot H^{\text{net}} = 8 \cdot (17.1) \cdot (117.47)$$

La energía generada promedio anual y la garantizada se determinan en las tablas que muestra la figura 30. La energía generada promedio anual es:

| | |
|----------|------------------------|
| De pico | 23.366 millones de KWH |
| De día | 3.813 millones de KWH |
| De noche | 2.542 millones de KWH |
| TOTAL | 29.721 millones de KWH |

La energía generada garantizada 85% (figura 30):

18.582 millones de KWH (De pico)

Nota.- Las notas explicativas de la figura 30 aparecen más adelante.

Inversiones en MM \$

| | |
|-----------------------------------|--------------|
| - Conjunto hidráulico | 19.00 |
| - Central hidroeléctrica | 0.35 |
| - Túnel y chimenea de oscilación. | 2.50 |
| - Tubería de presión | 1.20 |
| TOTALES | 23.05 |

Gastos anuales en MM \$

| | |
|-----------------------------------|-------|
| - Conjunto hidráulico | 0.456 |
| - Central hidroeléctrica | 0.024 |
| - Túnel y chimenea de oscilación. | 0.125 |
| - Tubería de presión | 0.060 |
| <hr/> | |
| SUBTOTALES | 0.665 |
| - Explotación | 0.100 |
| - Energía | 0.050 |
| <hr/> | |
| TOTALES | 0.825 |

BENEFICIOS EN MM \$

Venta de la energía promedio anual:

| | |
|-----------|--|
| * De pico | (23.366 KWH) · (0.0842 \$/KWH) = 1.967 |
| * De día | (3.813 KWH) · (0.0280 \$/KWH) = 0.107 |
| * De pico | (2.542 KWH) · (0.0150 \$/KWH) = 0.038 |
| <hr/> | |
| TOTALES | 2.112 |

BENEFICIO NETO EN MM \$

$$B_n = B - G = 2.112 - 0.825 = 1.287$$

PLAZO DE RECUPERACION DE LAS INVERSIONES

$$T = K / B_n = 17.9 \text{ (18 años)}$$

3.4.3. EXPLICACION ACERCA DE LA CONFECCION DE LAS TABLAS DE LA FIGURA 30

3.4.3.1. TABLA A: BALANCE EN UN AÑO MEDIO

Se confecciona para determinar en forma más exacta la energía generada promedio anual (E) y la carga neta media (H_{net}).

- 1.- Se llenan las columnas 2 y 3 comprobando las sumas. Se hace con la distribución característica para el escurrimiento de entrada para el año medio (W) y con la distribución planteada para la entrega (R). En este caso uniforme, o sea, proporcional al número de segundos en el mes.
- 2.- Se calculan los valores "balance" en la columna 5 como diferencia entre el escurrimiento mensual y la entrega neta mensual indicando el signo (+ ó -).
- 3.- Se determina el periodo de déficit, el periodo restante del año es el periodo de exceso.
- 4.- Se suman los valores balance del periodo de déficit de acuerdo con su signo y así se obtiene la suma $\Sigma(-b)$ que tiene signo negativo.
- 5.- Se determina un llenado inicial del embalse que va a provocar la aparición de aguas vertidas de un tamaño igual al valor promedio anual de las aguas vertidas, o sea:

$$W_v = (1-\alpha) \cdot W_o = W_o - R_b$$

De donde:

- | | | |
|----------|---|-----------------------------|
| W_v | - | Excedencias promedio anual |
| α | - | Grado de regulación |
| W_o | - | Escurrecimiento medio anual |
| R_b | - | Entrega anual bruta |

Este llenado inicial que se pone en la columna 6 frente al último mes del periodo de déficit se determina por la fórmula:

$$V_i = V_t + \Sigma(-b)$$

En donde:

V_i - Llenado inicial del embalse

V_t - Capacidad total del embalse

6.- Se comienza a "llenar" el embalse en la columna 6 a partir del primer mes de exceso añadiendo consecutivamente los valores de la columna 5 (según su signo) hasta obtener el volumen total del embalse. Las aguas de exceso son las que se vierten, las anotamos en la columna 4 y corregimos los valores en la columna 3. En los meses en los que el llenado no cambia, la columna 5 debe aparecer con valor de 0.

7.- Se suman las aguas vertidas, en el primer tanteo, la suma debe ser igual (sin tener en cuenta las pérdidas) al valor:

$$W_v + P_t$$

8.- En el mes anterior al periodo de déficit el embalse está lleno y durante ese mismo periodo se vacía hasta obtener el llenado final que es igual al llenado inicial (en la misma casilla). Todos los llenados mensuales del embalse se refieren al final de cada mes, inclusive el llenado inicial.

9.- En la columna 7 se obtiene el llenado promedio mensual sumando el llenado del mes anterior con el llenado del mes actual y dividiendo entre dos. Se hace también la suma anual de los llenados promedio para obtener el porcentaje exacto que se debe aplicar al calcular las pérdidas mensuales.

10.- En la columna 8 se calculan las pérdidas mensuales cuya suma anual debe ser igual al valor anual ya determinado por la fórmula:

$$P_t = 0.5 \cdot V_m$$

En donde:

V_m - Llenado promedio anual ($0.5 \cdot V_u + V_{a2}$)

V_u - Capacidad útil del embalse

11.- Después de obtener la entrega bruta en la columna 9 sumando la entrega neta (columna 3) con las pérdidas (columna 8), se repite el cálculo (segundo tanteo) en las columnas de la 10 a la 13 utilizando la entrega bruta en lugar de la entrega neta. En este segundo tanteo, la suma de las aguas vertidas debe resultar igual al valor W_v lo

cual es lo que se planteaba en este balance.

NOTAS.- Algunas veces se practica empezar el primer tanteo del balance con la entrega bruta distribuida como si fuera entrega neta. Después de determinar las pérdidas, se pone la columna de la entrega neta y otra columna más de la entrega bruta obtenida ya como sumas mensuales de los valores netos más las pérdidas. Así, el segundo tanteo ofrecería una mejor aproximación con respecto a las pérdidas mensuales calculadas como un porcentaje determinado del llenado promedio mensual, sin embargo, la precisión que se obtiene de esta manera no es absolutamente necesaria.

El propósito del balance en el año medio es obtener aproximadamente un valor real de la energía generada promedio anual, detallando más, el valor buscado se puede obtener por un balance del embalse en base a una larga serie de observaciones sobre el escurrimiento anual. La energía generada anual promedio aritmético de esa serie, representaría el valor más exacto, pero un cálculo realizado de esta manera resultaría muy largo y trabajoso, es por esto que no se justifica; entonces, cualquier forma argumentada de confeccionar ese balance en un sólo año representativo, serviría bien para los fines de un estudio hidroeconómico de una presa con central hidroeléctrica; teniendo en cuenta que la energía generada promedio anual calculada, sirve como base de varios índices al comparar las variantes del conjunto hidroenergético. Se considera pues, la forma de balance propuesta con la entrega garantizada y con un llenado inicial que provoca aguas vertidas de un tamaño igual al valor promedio anual de las mismas es la más conveniente en este tipo de estudios hidroeconómicos.

3.4.3.2. TABLA B: BALANCE EN UN AÑO SECO (85%)

Se confecciona para determinar la energía generada garantizada 85%, las potencias, cargas mensuales mínimas y otros índices del año de cálculo (ver la descripción de esta tabla en el capítulo anterior).

FIGURA 30

| FIELES | DESCARRA POTENCIA ENTRADA | ENTRE- GA NETA | AGUAS VERTI- GAS | BALANCE | LLENA- DO TOTAL | LLENA- DO PPO - MEDIO | PEPDI- GAS TOTALES | EMPE- GA BRUTA | AGUAS VERTI- GAS | BALANCE | LLENA- DO TOTAL | LLENA- DO PPO - MEDIO | COTA m NIVEL POTEN- CIAL | CARGA BRUTA H br m | TRABA- JO NETO H br m | PRODU- CION ENER- GIA PL. CO | AGUAS VERTI- GAS PL. APROV. | PRODU- CION ENER- GIA DIA NOCHE |
|--------|---------------------------------|----------------------|------------------------|---------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------|------------------------|---------|-----------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|--------------------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| XII | | | | | 77.00 | | | | | | 77.00 | | | | | | | |
| I | 3.00 | 7.64 | | -4.64 | 72.36 | 74.69 | 0.33 | 0.33 | | -5.33 | 71.67 | 74.40 | 159.5 | 129.5 | 119.14 | 2.023 | DIA | 2.813 |
| II | 1.68 | 8.95 | | -6.27 | 67.11 | 65.74 | 0.52 | 7.46 | | -5.71 | 66.04 | 68.93 | 158.0 | 128.0 | 117.76 | 1.814 | NOCHE | 2.542 |
| III | 1.96 | 7.64 | | -6.08 | 61.03 | 64.07 | 0.47 | 9.11 | | -6.55 | 59.49 | 62.37 | 155.0 | 125.0 | 115.82 | 1.958 | | |
| IV | 1.68 | 7.38 | | -5.69 | 55.35 | 58.19 | 0.43 | 7.79 | | -6.11 | 53.38 | 56.43 | 153.0 | 123.0 | 113.00 | 1.853 | | |
| V | 11.28 | 7.64 | | +3.64 | 58.95 | 57.17 | 0.43 | 8.07 | | +3.21 | 56.59 | 54.98 | 153.2 | 123.2 | 113.24 | 1.924 | | |
| VI | 14.40 | 7.38 | | +7.04 | 66.03 | 62.51 | 0.46 | 7.82 | | +6.58 | 63.17 | 59.88 | 155.0 | 125.0 | 115.00 | 1.881 | | |
| VII | 12.00 | 7.64 | | +4.36 | 70.39 | 68.21 | 0.51 | 8.15 | | +3.85 | 67.02 | 65.05 | 156.0 | 126.0 | 116.56 | 1.981 | | |
| VIII | 10.80 | 7.64 | | +3.16 | 73.55 | 71.97 | 0.53 | 8.17 | | +2.59 | 69.65 | 68.34 | 157.8 | 127.8 | 117.58 | 1.956 | | |
| IX | 84.00 | 7.38 | | +1.04 | 74.59 | 74.07 | 0.55 | 7.91 | | +0.45 | 70.14 | 69.50 | 158.0 | 128.0 | 117.76 | 1.978 | | |
| X | 32.40 | 7.64 | 22.28 | +2.43 | 77.00 | 75.79 | 0.56 | 8.20 | 17.34 | +6.86 | 77.00 | 73.57 | 159.2 | 129.2 | 118.86 | 2.018 | 17.34 | 4.551 |
| XI | 12.00 | 7.38 | 4.64 | 0 | 77.00 | 77.00 | 0.57 | 7.83 | 4.01 | 0 | 77.00 | 77.00 | 159.5 | 129.5 | 119.14 | 1.949 | 4.01 | 1.070 |
| XII | 10.80 | 7.64 | 2.16 | 0 | 77.00 | 77.00 | 0.57 | 8.21 | 2.59 | 0 | 77.00 | 77.00 | 159.5 | 129.5 | 119.14 | 2.023 | 2.59 | 0.688 |
| SUMA | 120.00 | 89.88 | 30.15 | | | 830.40 | 6.35 | 95.00 | 24.00 | | | | | | 23.266 | 24.00 | 6.358 | |

$Q_{cha} = 17.1 \text{ m}^3/\text{s}$ EN UN RANCHO MEDIO PARA DETERMINAR LA ENERGIA MEDIA, LA CARGA MEDIA

$U_m = 78.00$; $U_{ab} = 9.00$; $U_t = 77.00$; $W_m = 120.00$; $cc = 0.80$; $U = 96.00$; $P_t = 6.35$; $R = 99.89$

$W_{ab} = 24.00$; $U_1 = U_2 = \sum (-h) = 53.38$

FIGURA 30A

| MESES | ESCUPE- MICMIO ENTRA- DA | ENTRE- GA NETA | REURS VERTI- DAS | BALANCE | LLEN- DO TOTAL | LLEN- DO PPO - MEDIO | PERDI- DAS TOTALES | ENTRE- GA BRUTA | REURS VERTI- DAS | BALANCE | LLEN- DO TOTAL | LLEN- DO PPO - MEDIO | CDTA m NIVEL PROPIC- DIO | CRAGR BRUTA M hr m | CARGA NETA 0.92 M ³ /hr | EFICIEN- CIA PI- CO | REURS VERTIO. APPOV. M ³ | PROGRAMA ENERGIA - DIA DIA MCKE |
|-------|-----------------------------------|----------------------|------------------------|---------|----------------------|-------------------------------|--------------------------|-----------------------|------------------------|---------|----------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---|---------------------------|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| XII | | | | | 36.25 | | | | | | | | | | | | | |
| I | 1.67 | 7.64 | | -5.97 | 35.28 | 33.27 | 0.58 | 8.37 | | -6.66 | 26.61 | 29.94 | 141.3 | 111.9 | 102.90 | 1.857 | | |
| II | 1.33 | 6.93 | | -5.60 | 24.68 | 27.48 | 0.57 | 7.50 | | -6.17 | 20.44 | 23.53 | 137.0 | 107.0 | 92.44 | 1.516 | | |
| III | 1.33 | 7.64 | | -6.31 | 18.71 | 21.52 | 0.45 | 8.03 | | -6.76 | 13.68 | 17.06 | 138.0 | 102.0 | 93.84 | 1.599 | | |
| IV | 1.07 | 7.36 | | -6.29 | 12.68 | 15.22 | 0.32 | 7.68 | | -6.61 | 7.01 | 10.34 | 125.0 | 95.0 | 87.40 | 1.419 | | |
| V | 10.01 | 7.64 | | +2.37 | 14.45 | 13.27 | 0.28 | 7.92 | | +2.09 | 9.16 | 8.08 | 122.0 | 92.0 | 84.84 | 1.467 | | |
| VI | 6.67 | 7.36 | | -0.69 | 13.76 | 14.10 | 0.28 | 7.65 | | -0.98 | 8.18 | 8.67 | 122.0 | 93.0 | 86.56 | 1.306 | | |
| VII | 6.00 | 7.64 | | -1.64 | 12.12 | 12.84 | 0.27 | 7.91 | | -1.91 | 6.27 | 7.22 | 120.5 | 90.9 | 93.62 | 1.414 | | |
| VIII | 6.67 | 7.64 | | -0.87 | 11.25 | 11.64 | 0.24 | 7.88 | | -1.21 | 5.06 | 5.67 | 118.0 | 88.0 | 80.96 | 1.313 | | |
| IX | 6.09 | 7.36 | | +0.66 | 14.54 | 14.61 | 0.72 | 8.08 | | -0.02 | 14.28 | 5.03 | 116.5 | 86.5 | 79.58 | 1.320 | W _{min} | 10.867 |
| X | 11.28 | 7.64 | | +3.64 | 18.59 | 16.76 | 0.76 | 8.40 | | +0.89 | 17.16 | 15.72 | 145.0 | 115.0 | 105.80 | 1.736 | | 14 |
| XI | 6.67 | 7.36 | | -0.69 | 17.89 | 18.24 | 0.78 | 8.15 | | -1.48 | 15.68 | 16.48 | 145.2 | 115.8 | 108.54 | 1.733 | | |
| XII | 6.80 | 7.64 | | -1.44 | 16.45 | 17.07 | 0.77 | 8.41 | | -2.41 | 13.27 | 14.48 | 144.0 | 114.0 | 104.88 | 1.781 | | |
| SUPR | 66.72 | 89.86 | | | | 295.12 | 6.18 | 95.00 | | | | 222.17 | | | | 18.585 | nota N 85 | 93.02m |

$Q_{\text{seg}} = 17.1 \text{ m}^3/\text{s}$ EN UN AÑO SECO PARA DETERMINAR LA ENERGIA GARANTIZADA

$$V_{\text{A}} = 72.00 \text{ ; } V_{\text{B}} = 6.00 \text{ ; } V_{\text{C}} = 71.00 \text{ ; } W_{\text{A}} = 120.00 \text{ ; } Q_{\text{C}} = 0.80 \text{ ; } U = 98.00 \text{ ; } P_{\text{E}} = 6.15 \text{ ; } R = 88.85$$

$$W_{\text{B}} = 66.72 \text{ ; } V_{\text{E}} = U - W_{\text{B}} + V_{\text{C}} = 34.28$$

CONCLUSIONES

Es necesario proveer de energía eléctrica a las comunidades aisladas del Sistema Energético Nacional para que de esta manera le sea posible incorporarse al sector productivo de nuestro país y asimismo, puedan desarrollarse alcanzando mejores niveles de vida.

En muchos años, la implementación de proyectos de mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas, no habían resultado ser una opción financiera conveniente; debido al hecho, principalmente, de que los costos de estudios preliminares representaban un alto porcentaje con respecto al costo total de la obra, asimismo, el uso de equipo electromecánico convencional encarecía mucho el costo de dichos proyectos.

Por lo anterior, conviene decir que es necesario que se concluyan los trabajos de evaluación del potencial microeléctrico a nivel nacional, para que sus resultados sirvan como base a proyectos de implementación de centrales hidroeléctricas de este tipo en forma masiva. De esta manera se hará posible la estandarización de proyectos tanto de obra civil como de la instalación electromecánica.

Dicho de otra manera, al estandarizar los proyectos de este tipo, será posible reducir los costos de los estudios preliminares y se fomentará la construcción de equipo electromecánico en nuestro país. En el presente trabajo, se presentó la metodología que deberá seguirse para alcanzar este objetivo. Por último, es conveniente mencionar que la implementación de mini, micro y pequeñas centrales hidroeléctricas es tan sólo una alternativa para proveer de energía a una determinada región pero que no es siempre la más conveniente y deberá competir con otras opciones de acuerdo con el criterio señalado en el primer capítulo.

BIBLIOGRAFIA

Alvarenga, Beatriz

Física General

Ed. Harla, México, 1983.

Clark, P.J.

Micro Hydro Power Project

Revista "Indian and Eastern Engineer"

Vol. 126, num. 3, EEUU, Marzo 1984, pp. 67-69.

Comisión Federal de Electricidad

Manual de Diseño de Obras Civiles

Federación Editorial Mexicana, México, 1980.

Ferrán Riquelme, Flavio

"El desarrollo nacional de las pequeñas
centrales hidroeléctricas"

Boletín de el IIE

México, agosto de 1985.

Fisher, Allan C.

"The Role of Micro Hydro in Developing Countries"

Revista "International Water Power and Dam Construction"

Vol. 37, num. 11 EEUU, Noviembre 1985.

Holland, E.

"Micro Hydro Power for Rural Development"

Manual UNIDO, 1983.

Jimenez Castro, Moisés

"Planta hidroeléctrica, proyecto en una fábrica de papel"

Tesis, IPN. México, 1984.

Monition, L.

"The French Approach to Micro Hydro"

Revista "International Water Power and Dam Construction"

Vol. 37, num. 11 EEUU, Noviembre 1985.

García Treviño, Pantaleón

"Planta hidroeléctrica"

Tesis, IPN, México, 1941.

Ruiz Mijares, José

"Las nuevas fuentes de energía y sus
posibilidades de aplicación en México".

Ed. Reséndiz, México, 1965.

Santo Potess, E.

"Centrales Eléctricas"

Ed. Gilli, Barcelona, 1971.