

PROGRAMA LATINOAMERICANO DE COOPERACION ENERGETICA
PLACE

**METODOLOGIA PARA EVALUACION
DE RECURSOS HIDROENERGETICOS**

Organización Latinoamericana de Energía
CENTRO DE INFORMACION



PROLOGO

América Latina presenta, entre sus características en el marco de la energía, el hecho de que el suministro del alumbrado público comenzó principalmente basándose en la utilización de plantas hidroeléctricas que aprovecharon el caudal y el nivel de caídas de las aguas de los ríos que atravesaban sus principales ciudades, para atender la demanda del servicio.

Posteriormente con el crecimiento de estas ciudades y la consiguiente instalación de industrias y comercios, la demanda de energía eléctrica aumentó, y como esas primeras plantas eran de capacidad relativamente pequeñas no pudieron atender el suministro, fueron sustituidas progresivamente por plantas termoeléctricas que tuvieron, a diferencia de las primeras, el hecho de traer una tecnología externa con mayores exigencias en materia de personal y equipos.

Progresivamente nos fuimos olvidando de la existencia del recurso hídrico, y podemos decir que en el resto de este siglo hemos sido una región que ha sustentado el crecimiento de la demanda eléctrica con la utilización de un recurso no renovable como es el petróleo y en menor escala con el gas natural.

Sin embargo, a partir de la segunda mitad del siglo, algunos países comenzaron a evaluar su potencial especialmente en los ríos con grandes caudales, con el propósito de aprovechar los mismos para el desarrollo industrial. Fueron acciones tímidas pero importantes que progresivamente han ido aumentando y ha permitido el desarrollo de firmas de ingeniería, empresas de construcción, producción de bienes de capital en la región, para atender las demandas que exige la construcción de centrales hidroeléctricas.

Hasta ahora, nuestros países han puesto su mayor atención en los grandes desarrollos, y no se ha hecho una evaluación exhaustiva para conocer cuál es el potencial técnico y económicamente factible que se puede explotar, estableciendo prioridades para el mismo. Por lo general los proyectos en este campo han venido realizándose con poca planificación coherente que permita un progresivo proceso de construcción de presas, sino que ha ocurrido en forma discontinua atendiendo, en la mayoría de los casos, a los aumentos explosivos de la demanda.

Conscientes de que el potencial de este recurso que existe en América Latina, es una alternativa importante para la pluralidad de las fuentes para generar electricidad la utilicen como la base principal OLADE ha considerado poner a disposición de los países la oportunidad de lograr esta alternativa. Para ello debemos entender que los proyectos actualmente en ejecución deben continuar su ritmo; pero que paralelamente en ellos es necesario hacer una evaluación con una metodología homogénea para todo el potencial hidroenergético de América Latina, de forma tal que puedan establecerse planes a mediano y largo plazo para el desarrollo armónico de todo ese potencial.

Los beneficios de esta acción serán de indudable importancia para todo el país y para toda la región, en el sentido de que dada la tremenda magnitud del potencial aún no aprovechado en América Latina se hará posible que su utilización sirva en beneficio del desarrollo de nuestras economías, ya que ese programa ambicioso, exigente en recursos financieros, tecnológicos y humanos, pueda ser atendido por nosotros mismos, de manera tal que la hidroenergía se convierta en un pivote para atender nuestros requerimientos de energía con capacidades autóctonas.

El Programa que ahora presentamos tiende a estos objetivos. En la medida que podamos responder al mismo, en esa misma medida estaremos demostrando que no son ajustes a nuestra economía la única alternativa que existe para superar la crisis actual, sino que es la decisión para superar dentro del marco de la región cómo podemos proveer instrumentos que aporten soluciones efectivas al desarrollo de nuestros países, sin excluir la cooperación internacional pero utilizando al máximo la capacidad instalada en nuestra región.

ULISES RAMIREZ OLMOS
Secretario Ejecutivo.

INDICE

	Pág.
1. INTRODUCCION	7
2. OBJETIVOS	9
3. NIVELES DE CONOCIMIENTO	12
4. ELABORACION DE LA EVALUACION	13
4. 1. Criterios empleados	13
4. 2. Presentación de los formularios a ser empleados y de los procedimientos para su llenado	14
4.2.1. Potencial hidroenergético estimado basado en el potencial bruto superficial de escurrimiento	17
4.2.2. Potencial hidroenergético estimado basado en el potencial bruto lineal	19
4.2.3. Potencial hidroenergético estimado no individualizado	21
4.2.4. Potencial hidroenergético estimado individualizado	24
4.2.5. Potencial hidroenergético inventariado	26
4.2.6. Potencial hidroenergético por país: potencia instalable, energía firme y energía media	28
4.2.7. Potencial hidroenergético de la región: potencia instalable, energía firme y energía media	28
5. TERMINOLOGIA BASICA	35
5. 1. Períodos hidrológicos	35
5.1.1. Período hidrológico utilizado	35
5.1.2. Período hidrológico crítico	35
5. 2. Caudal	35
5.2.1. Caudal medio	35
5.2.2. Caudal garantizado al 95%	35
5.2.3. Caudal medio del período crítico	35
5.2.4. Caudal regularizado por el embalse	35
5.2.5. Caudal específico	35
5.2.6. Caudal medio de largo plazo	35
5. 3. Volúmenes	35
5.3.1. Volumen total	35
5.3.2. Volumen útil de operación	35
5.3.3. Volumen útil aguas arriba	35
5. 4. Niveles de agua	35
5.4.1. Nivel de agua máximo maximorum	35
5.4.2. Nivel de agua máximo normal	36
5.4.3. Nivel de agua mínimo normal	36
5.4.4. Nivel de restitución	36
5.4.5. Nivel de agua medio	36
5.4.5.1. Nivel de agua medio del aprovechamiento aislado	36
5.4.5.2. Nivel de agua medio del embalse en operación integrada	36
5.4.6. Nivel de referencia	36
5. 5. Caída máxima	36
5.5.1. Caída máxima bruta	36
5.5.2. Caída máxima neta	36
5. 6. Caída media neta	37
5.6.1. Caída media neta del aprovechamiento aislado	37
5.6.2. Caída media neta del aprovechamiento integrado	37
5. 7. Area inundada	37
5.7.1. Area inundada máxima	37
5.7.2. Area inundada máxima de operación normal	37
5.7.3. Area inundada mínima de operación	37

5. 8. Energía	37
5.8.1. Energía media anual bruta superficial de escurrimiento	37
5.8.2. Energía bruta lineal.....	38
5.8.3. Energía firme	39
5.8.3.1. Energía firme del aprovechamiento aislado	39
5.8.3.2. Energía firme del aprovechamiento integrado	39
5.8.4. Energía Media	40
5.8.4.1. Energía media del aprovechamiento aislado	40
5.8.4.2. Energía media del aprovechamiento integrado	40
5. 9. Potencia instalable	41
5.10. Factor de capacidad	41
5.11. Número de unidades	41
5.12. Inversión estimada	41
5.13. Inversión unitaria	41
5.14. Nivel de conocimiento	41
5.15. Entrada de operación	41
6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	42
ANEXO: Fundamentos del cálculo del potencial hidroenergético estimado individualizado y no individualizado	43

1. INTRODUCCION

La XII Reunión de Ministros de OLADE, realizada en noviembre de 1981 en la República Dominicana, aprobó el Programa Latinoamericano de Cooperación Energética-PLACE, el cual define un conjunto de prioridades para promover el desarrollo energético de la región en el marco de OLADE.

Dentro de este contexto se establece que la hidroenergía es una de las fuentes que deberán desarrollarse prioritariamente, en especial, por su abundancia en la región, por su carácter renovable y no contaminante y además por la experiencia acumulada en América Latina la cual le confiere una alta viabilidad, considerando que en su desarrollo se emplean tecnologías probadas y maduras.

Un importante factor limitante para el desarrollo hidroenergético en la región está dado por las dificultades encontradas para obtener una imagen confiable del potencial de cada país y de la región en su conjunto y por lo tanto para establecer planes nacionales y para definir estrategias regionales de cooperación y desarrollo. Es por esto que en el marco del PLACE se atribuye particular importancia a las tareas de evaluación del recurso hidroenergético de los países de la región.

En cumplimiento de las prioridades establecidas en el PLACE, OLADE identificó la necesidad de formular un cuerpo de procedimientos comunes, que permitan a todos los países cuantificar a muy corto plazo y con un determinado grado de precisión, la magnitud de sus recursos hidroenergéticos, a partir de la información existente y disponible en cada país. La evaluación se expresará a nivel de países, cuencas, ríos y aprovechamientos específicos.

Se debe resaltar que la primera evaluación hidroenergética regional deberá tomar como insumo únicamente la información básica disponible en cada país, no contemplándose el levantamiento de nueva información; pudiendo requerirse en todo caso, el procesamiento de datos existentes o la transformación, si este fuere el caso, de evaluaciones hidroenergéticas realizadas con anterioridad.

Este documento establece los procedimientos generales a ser considerados en este esfuerzo de recopilación y síntesis que deberá realizarse a nivel de todos los países de la región.

Se ha definido como meta obtener los valores totales de la magnitud del recurso, con un grado de precisión dependiente de los distintos niveles de conocimiento que del mismo se posea. Este documento contempla la posibilidad de establecer tanto los potenciales de cuencas o ríos sobre los cuales no se tenga estudios específicos, como los correspondientes a cuencas o ríos inventariados así como también aprovechamientos específicos estudiados en construcción o en operación.

Se ha preparado simultáneamente un programa de trabajo, que forma parte de un documento separado, para ejecutar la primera evaluación a nivel regional y se han establecido ciclos periódicos de dos años para realizar nuevas evaluaciones.

La necesidad de la evaluación periódica del recurso, se origina en el hecho que la confiabilidad y precisión de los resultados de cada evaluación específica dependerá del conocimiento a la fecha de su ejecución, este conocimiento continuamente se incrementará y mejorará en calidad.

Luego de establecer los objetivos generales de la evaluación de recursos hidroenergéticos y los objetivos específicos del presente documento, se definen en primera instancia los distintos niveles de conocimiento del recurso que puedan existir, de acuerdo a un esquema que los califica a cada uno de ellos. A continuación se propone un conjunto de prodecimientos para la evaluación del recurso, señalando en su primera parte los criterios considerados, así como también instrucciones para el llenado de un conjunto de formularios que sintetizan la información requerida. Estos formularios deberán ser llenados por cada país según el nivel de conocimiento de sus recursos hidroenergéticos y por OLADE a nivel de consolidación.

Finalmente, en el capítulo posterior se define un cuerpo de términos técnicos a ser utilizados en la evaluación y que requieren una misma acepción por parte de todos los participantes en el proceso.

En resumen, este documento va dirigido a los ministerios o secretarías de Estado, responsables de la política energética y de la planificación de su desarrollo en cada país, así como a las empresas e instituciones responsables de la evaluación de los recursos hidroenergéticos y de su desarrollo, fin de facilitarles un instrumento metodológico que permita evaluar en forma integral y consistente el potencial hidroeléctrico de cada país, independientemente del "nivel de conocimiento" de los recursos que se tenga, partiendo del principio de que siempre es necesario y posible, establecer una estimación del potencial hidroenergético y que los inventarios y estudios más avanzados contribuyen fundamentalmente a profundizar ese conocimiento haciéndolo más preciso y detallado y permitiendo tener una mejor base para la planificación de su desarrollo.

Por otra parte la aplicación de la metodología propuesta en este documento en cada país, por agregación permitirá construir una imagen coherente del potencial regional y del papel que la hidroelectricidad podrá jugar en el desarrollo energético futuro de Latinoamérica y el Caribe.

Para la elaboración del documento se consideraron diversas experiencias de la región, principalmente la metodología desarrollada por el Brasil y complementariamente también experiencias afines desarrolladas en Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Perú y Venezuela. Adicionalmente se utilizaron como referencia materiales preparados por el Comité de Integración Eléctrica Regional (CIER), la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) y la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE).

2. OBJETIVOS

Para una acción planificada en el desarrollo de un recurso energético de tan grande importancia como es la hidroelectricidad, es necesario tener una imagen confiable de su magnitud. Es por esto que OLADE pretende con este documento, proporcionar a los países de América Latina un instrumento que les facilite un mejor conocimiento del potencial hidroenergético que poseen; conocimiento que los ayudará en la planificación de sus programas de desarrollo. Asimismo proporcionará a los países una visión comprensiva del potencial hidroeléctrico regional y de las implicaciones que podrá tener su desarrollo en un marco de cooperación regional.

Los objetivos de la evaluación del potencial hidroenergético regional determinaron a su vez los alcances de este documento o, mejor aún, el objetivo principal de este documento es constituirse como herramienta de trabajo y de orientación para la realización de la evaluación de recursos.

Es evidente que la evaluación de recursos hidroenergéticos como una tarea a nivel nacional y regional, tiene objetivos en estos dos niveles, los cuales pueden resumirse en la forma siguiente:

a) OBJETIVOS NACIONALES

- Determinación integral del potencial hidroenergético del país, con los niveles actuales de conocimiento disponibles (estimaciones, inventarios, proyectos, etc.).
- “Conocimiento del nivel de conocimiento del potencial hidroenergético”, o sea determinar el nivel de profundidad, detalle y precisión del conocimiento del recurso en las diversas cuencas, ríos o regiones del país; en consecuencia estar en condiciones para identificar vacíos y necesidades de efectuar estudios más profundos o de realizar inventarios.
- Contar con una mejor base para definir el rol de la hidroenergía en el desarrollo energético futuro del país.
- Comparación del potencial y características básicas de aprovechamiento (principalmente aquellos inventariados) con los de otros países.
- Identificación de experiencias, semejanzas y diferencias en el desarrollo de la evaluación de recursos y sus características con respecto a otros países de la región, con miras a aprovechar experiencias y establecer áreas de interés para la cooperación bilateral y multilateral.
- Mejor conocimiento de los recursos compartidos, lo que contribuirá a una mejor definición de las políticas nacionales sobre el particular.

- Mejor conocimiento de las perspectivas de intercambio de suministros energéticos en las áreas de frontera.
- Contar con la base del conocimiento de la magnitud y características del recurso que permita definir una política tecnológica y de fabricación de equipos y materiales a nivel nacional.

b) OBJETIVOS REGIONALES

- Lograr un conocimiento integral y consistente del potencial hidroenergético de la región.
- Disponer de bases objetivas para identificar las necesidades de realizar inventarios hidroenergéticos en varios países de la región.
- Definir el marco concreto de las perspectivas de cooperación regional en el ámbito hidroenergético y en particular en lo referente a procesos de elaboración de inventarios, mediante el conocimiento concreto de necesidades de asistencia técnica y por otro lado de la experiencia y disponibilidades existentes.
- Contribuir a la formulación de políticas de desarrollo hidroenergético a largo plazo a nivel de los países y para la Región en su conjunto, mediante el conocimiento integral del recurso, en el contexto de otras alternativas energéticas.
- Base de referencia para futuras gestiones de apertura de líneas de financiamiento para el desarrollo de inventarios hidroenergéticos y posteriormente para financiar estudios y proyectos conjuntos.
- Identificar posibilidades de cooperación regional mediante el aprovechamiento de cuencas comunes; obviamente este objetivo está supeditado a la voluntad expresa y soberana de los países involucrados, quienes definirán el posible papel de OLADE en sus esfuerzos orientados con este fin.
- Precisar la magnitud y perspectivas del desarrollo hidroenergético regional con miras a establecer planes regionales y definir las prioridades de acción futura en el marco del PLACE.
- Disponer de una metodología única y sistemática para toda la región, lo que facilitará los esfuerzos tendientes a la integración.
- Contar con la base de referencia necesaria para la evolución del conocimiento de los recursos hidroenergéticos de la región.

La clasificación presentada constituye una generalización, puesto que hay diferencias entre las clasificaciones utilizadas en los distintos países, entre las cuales se puede mencionar que es común el empleo del término "prefactibilidad" para los estudios más profundos de la fase avanzada del inventario.

Como punto común puede mencionarse el hecho que del nivel de "factibilidad" en adelante, en todos los países los estudios son realizados para aprovechamientos individualizados.

Existen varios procedimientos para realizar la etapa de "evaluación de gabinete", tales como evaluaciones globales del potencial teórico sobre la base de escurrimientos y alturas medias o mediante procesos de evaluación del potencial lineal, los cuales pueden ser ajustados para establecer en forma aproximada el potencial finalmente aprovechable. Alternativamente se pueden aplicar métodos de estudio de tramos de río, sin individualizar aprovechamientos, o estudiar tramos con aprovechamientos individualizados cuando se cuente con información suficiente sobre el perfil del río.

En la etapa de "inventario" comienzan a identificarse los proyectos y se optimizan las cadenas de desarrollo, con diversos criterios de evaluación técnico-económica, lo que permite seleccionar aquellos proyectos en los que se deben efectuar mayores estudios de campo en topografía, geología e hidrología, para finalmente de éstos señalar los aprovechamientos que deben pasar a la etapa de factibilidad.

El estudio de "factibilidad" define para un aprovechamiento, las características de la presa y obras civiles conexas, así como también la capacidad de generación a ser instalada, y la producción energética prevista, además de las características básicas del equipo electromecánico que será utilizado. Se evalúa el impacto social y ambiental del aprovechamiento, se incluye la evaluación económico-financiera del proyecto y la definición de la época en que deberá construirse el aprovechamiento.

Las siguientes etapas se desarrollan después que se ha decidido la construcción de cada central hidroeléctrica.

En la etapa de "diseño o proyecto básico" se definen las obras civiles con la profundidad suficiente que permita determinar las cantidades de obra para su contratación y la planeación de su construcción.

En esta etapa también se especifican las características de los equipos a instalarse para su contratación y fabricación.

La etapa de "diseño de ejecución" acompaña al proceso de construcción de un Proyecto, y en ella se preparan los planos detallados de cada parte de obra para su realización.

Finalmente en las etapas de "construcción" y "operación" se obtiene el conocimiento cabal del recurso, tanto en costo como en producción energética.

3. NIVELES DE CONOCIMIENTO

El conocimiento del potencial hidroeléctrico de una cuenca evoluciona gradualmente, haciéndose cada vez más preciso, a medida que las informaciones sobre sus características físicas se hacen disponibles y conforme se hacen estudios de gabinete y de campo, que permitan la definición de divisiones de caídas y aprovechamientos a lo largo de sus ríos.

Dado el costo que representa la obtención de información de campo, el nivel de esa información se va profundizando a base de un sistemático proceso de priorización. Como consecuencia, el nivel de información de los recursos hidroenergéticos es muy variado, de manera que para obtener valores totales del potencial energético es necesario un proceso de evaluación del recurso que incorpore los valores obtenidos de los diferentes niveles de conocimiento de esos recursos, según las etapas de trabajo que a continuación se indican:

- Estimación
- Inventario
- Factibilidad
- Diseño Básico
- Diseño de Ejecución
- Construcción
- Operación.

En las etapas de estudios (estimación de gabinete hasta factibilidad), se va mejorando la calidad y profundidad de la información que abarca desde investigación bibliográfica, pasando por aerofotogrametría, estudios topográficos, hidrológicos, geológicos y geofísicos, hasta concluir con la ingeniería del diseño básico.

Las etapas de trabajo para definir los niveles de conocimientos o de desarrollo de un proyecto que se presentan en este capítulo, son de orden indicativo solamente y la información que se requiera para la evaluación hidroenergética que nos proponemos, podrá ser obtenida de cualquiera de las etapas señaladas.

NIVEL DE CONOCIMIENTO	CARACTERIZACION
ESTIMACION O EVALUACION DE GABINETE	— Primera evaluación del potencial y definición de alcances, costos y plazos de los estudios de inventario a realizar.
INVENTARIO	— Definición del potencial energético aprovechable de la cuenca hidrográfica mediante el estudio de la división de caídas y estimación preliminar del costo de cada aprovechamiento.
FACTIBILIDAD	— Definición de las características básicas de un aprovechamiento y su diseño preliminar. Análisis económico-financiero; base para gestiones de financiamiento.
DISEÑO BASICO	— Definición de las obras civiles y de los equipos a instalarse, con miras a las respectivas licitaciones, adjudicaciones y ejecución de la obra.
DISEÑO DE EJECUCION	— Desarrollo de la ingeniería de detalle del aprovechamiento para su construcción.
CONSTRUCCION	— Fase de ejecución del aprovechamiento.
OPERACION	— Central construída y generando energía.

4. ELABORACION DE LA EVALUACION

4.1. Criterios empleados

En esta evaluación se considera que los parámetros más relevantes para determinar las perspectivas hidroenergéticas son la **energía firme**, la **energía media** y la **potencia instalable**, las cuales se definen a continuación.

La capacidad de generación de energía de un sistema interconectado o de una central hidroeléctrica será medida en relación a la evaluación de su funcionamiento, de acuerdo a las series estadísticas disponibles de caudales naturales de los ríos. Esto da la base para definir los conceptos de energía firme y de energía media.

Para lo fines de este documento, la **energía firme** se considera como la energía garantizada al cien por ciento, para la serie estadística de caudales naturales, es decir como su generación máxima continua, en la hipótesis de repetición futura del período crítico de la serie estadística de caudales naturales conocida.

Para el cálculo de la energía firme en un sistema con embalses, se determina iterativamente la carga que lleve a la plena utilización de los mismos, considerándose que los embalses de las centrales hidroeléctricas estarán llenos en su inicio, y simulando el sistema con la serie estadística de caudales mensuales.

El período en el cual, el nivel de los embalses varía de su máximo hasta su mínimo, es conocido como período crítico de afluencias del sistema interconectado, el cual se determina mediante una simulación de la operación de los embalses.

La **energía firme** de un sistema interconectado o de una central hidroeléctrica, es el recurso hidroenergético con el cual se puede efectivamente contar.

La **energía media** se define como el promedio aritmético de la energía generable durante todo el período considerado para la serie estadística hidrológica, la cual es en general superior a la energía firme, dado que no todos los años son tan secos como el correspondiente al período crítico.

La diferencia entre los requerimientos de energía y la energía media producida hidráulicamente deberá ser suministrada por otras fuentes, usualmente de origen térmico, con los consiguientes costos adicionales de combustibles. Por lo tanto el costo medio de la operación del sistema queda mejor caracterizado cuando se conoce la energía media que puede ser generada por las centrales hidroeléctricas.

La producción de energía del sistema interconectado o de una central hidroeléctrica puede ser superior a la energía media durante un corto período de tiempo, lo cual es conveniente dado que la carga eléctrica no es constante y es necesario modular el suministro. La máxima producción de energía está limitada por la **potencia instalable**.

La producción energética de un sistema interconectado o de una central hidroeléctrica está siempre referida al período de generación, en consecuencia, tanto la energía firme como la energía media pueden ser expresadas en forma equivalente a potencia. De esta manera es posible utilizar tanto la unidad "Megavatio medio" \overline{MW} (1), como "GWh/año". La conversión de un valor expresado en la primera unidad para la segunda, se hace multiplicando el valor de la primera por 8.76.

En los formularios que se presentan en este documento para ser llenados, la energía firme y media pueden ser expresados en unidades de "Megavatios Medios" \overline{MW} o de "GWh/año", según el sistema que se adopte en cada país.

(1) "MW - año/año" = "MW medio" = "MW continuo" = \overline{MW} .

4.2. Presentación de los formularios y cuadros a ser empleados y de los procedimientos para su llenado.

La información a ser requerida será organizada en distintos cuadros resumen o formularios de acuerdo al nivel de conocimiento que se tenga de cada cuenca, tramo de río, aprovechamiento aislado o sistema de generación.

Para las etapas más elementales del conocimiento del potencial, esto es para las estimaciones o evaluaciones de Gabinete, se utilizará uno de los cuatro primeros formularios de acuerdo a la información disponible para cada caso. En esta situación están todas las cuencas o tramos de río, en los cuales aún no se ha realizado el inventario hidroenergético, en consecuencia se proponen procedimientos alternativos para estimar indirectamente la energía firme, energía media y la potencia instalable, utilizando los datos existentes y mediante cálculos matemáticos simples.

El cuadro número 1 se utilizará en aquellas cuencas en las cuales la única información disponible sea su potencial teórico bruto de escurrimiento superficial.

El cuadro número 2 se utilizará en aquellas cuencas o tramos de ríos en los cuales la mejor información disponible sea el potencial bruto lineal.

En aquellos tramos de ríos en que se dispone de su perfil y que por lo tanto no se han individualizado los aprovechamientos potenciales, se utilizará el cuadro número 3.

De esta manera, en cualquier época que se evalúe el potencial global de un país, éste estará compuesto por aprovechamientos estudiados en los distintos niveles definidos anteriormente.

Para que esa información, obtenida con diferentes niveles de precisión, pueda ser utilizada en la planificación a largo plazo, es menester que los estudios realizados en la obtención de los mismos sean compatibles entre sí, manteniendo uniformidad de criterios de evaluación de los datos de entrada y de los resultados.

El objetivo de este documento es establecer un cuerpo de procedimientos comunes, a fin de garantizar la mayor homogeneidad en la información que se recopilará y en la presentación de los resultados.

Se ha adoptado como criterio general el ser más conservador en la medida en que la información disponible sea menos precisa. Esto es válido tanto en los aspectos energéticos como en los de costos. Para niveles de conocimiento más rudimentarios, se subestimarán las energías y sobreestimarán los costos, mejorando su apreciación para los niveles superiores de conocimiento. Es necesario señalar que en las fórmulas presentadas en este documento se ha considerado este criterio.

Finalmente, en aquellos tramos de ríos en los cuales aún no se han realizado estudios de inventario, pero sobre los cuales se conoce su perfil pudiendo identificarse preliminarmente los aprovechamientos potenciales, se utilizará el cuadro N° 4.

El procedimiento a seguir para el llenado de estos cuatro cuadros se presenta en los numerales 4.2.1 a 4.2.4.

Para aquellas cuencas, tramos de río y aprovechamientos aislados o integrados que se encuentren en un nivel de estudios de inventario o en etapas más avanzadas: factibilidad, diseño básico, diseño de ejecución, construcción u operación, se utilizará el cuadro número 5, cuya estructura es más compleja; el procedimiento a seguir para este caso se desarrolla en el punto 4.2.5.

Se recomienda que anexo a los resultados de estos formularios, los países presenten mapas topológicos de cada cuenca estudiada, con el objeto de indicar la localización relativa de la información. Un ejemplo de mapa topológico de una cuenca estudiada es presentado en la figura 1.

Los tres formularios siguientes (cuadros 6, 7 y 8), permiten resumir la información de los cinco primeros e indican el potencial hidroeléctrico expresado como potencia instalada en MW (cuadro 6), la energía firme en \overline{MW} (1) y GWh/año (cuadro 7), y finalmente la energía media en \overline{MW} y GWh/año (cuadro 8).

Los formularios restantes (cuadros 9, 10 y 11), son semejantes a los cuadros mencionados en el párrafo anterior, pero se refiere a la información recibida de cada país, debiendo ser llenados por OLADE, como consolidado regional.

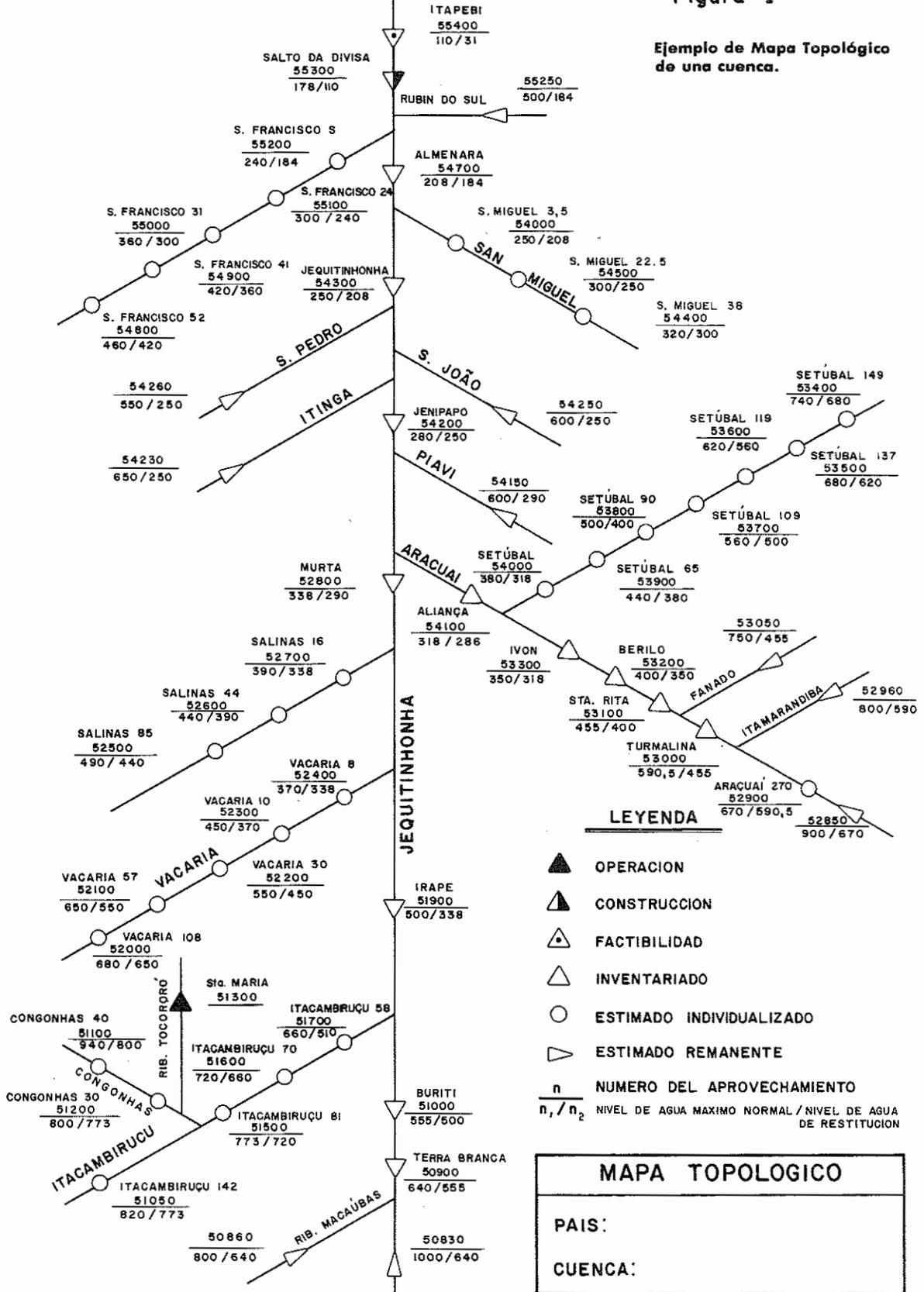
Como información general se debe indicar que los coeficientes que aparecen en las diversas fórmulas empleadas en este documento, son producto de la experiencia de los autores y de los participantes en el Grupo de Trabajo, en el Grupo Asesor y en el I Seminario Latinoamericano de Hidroenergía, y por lo mismo tienen carácter indicativo. En general se recomienda usar los valores que adopta cada país, pero en ausencia de éstos se pueden usar los coeficientes sugeridos.

(1) \overline{MW} = Megavatios medios.

OCEANO

Figura 1

Ejemplo de Mapa Topológico de una cuenca.



4.2.1. Potencial hidroenergético estimado basado en el potencial bruto superficial de escurrimiento.

Si para una determinada cuenca, región o país, sólo se contará con el potencial bruto superficial de escurrimiento (cuadro 1), para efectos del presente trabajo, los cálculos de energía se podrán efectuar utilizando las siguientes fórmulas (1):

Energía expresada en [GWh/año]	Energía expresada en [MW] (2)
<p>1. Energía firme anual - (EFIR)</p> <p>$EFIR = K_1 \times \beta \times EBS$; [GWh/año] donde: EBS en GWh/año</p>	<p>1. Energía firme anual - (EFIR)</p> <p>$EFIR = K_1 \times \beta \times EBS$; [MW] donde: EBS en MW</p>
<p>EBS = Energía media bruta superficial de escurrimiento, también conocida como potencial bruto superficial. - Los valores de K_1 y β son válidos para las dos fórmulas y se pueden tomar de acuerdo a las indicaciones siguientes:</p> <p>K_1 = Coeficiente que relaciona la energía media con la energía media anual bruta superficial de escurrimiento (potencial teórico). En ausencia de mejor información se podrá utilizar un valor de 0.3.</p> <p>β = Relación típica estimada entre la energía firme y la energía media, y puede determinarse de cuencas mejor estudiadas. A falta de información este coeficiente puede asumirse como: igual a 0.7, para cuencas donde existen posibilidades de construir presas de almacenamiento anual o plurianual y 0.45 en aquellas cuencas donde las posibilidades de regulación son casi nulas.</p>	
<p>2. Energía media - (EMED)</p> <p>$EMED = EFIR / \beta$; [GWh/año] donde: EFIR en GWh/año</p>	<p>2. Energía media - (EMED)</p> <p>$EMED = EFIR / \beta$; [MW] donde: EFIR en MW</p>
<p>3. Potencia instalable - (PINS)</p> <p>$PINS = EMED / 8.76 \times FC$; [MW] donde: EMED en GWh/año</p>	<p>3. Potencia instalable - (PINS)</p> <p>$PINS = EMED / FC$; [MW] donde: EMED en MW</p>
<p>El valor de FC es el mismo para ambos casos y se toma de acuerdo a la siguiente indicación:</p> <p>FC = Factor de capacidad, a falta de mejor información se puede utilizar $FC = 0.5$. Este valor es equivalente al promedio aproximado de los factores de capacidad de los sistemas eléctricos del conjunto de países de la región.</p>	

(1) Se presentan como alternativas, fórmulas en las que los términos de energía pueden ser expresados en MW o en GWh/año, según la preferencia de cada país.

(2) MW = Megavatio Medio.

POTENCIAL HIDROENERGETICO ESTIMADO BASADO EN EL
 POTENCIAL BRUTO SUPERFICIAL DE ESCURRIMIENTO

País : _____

Referencia : _____

CUENCA	RIO	POTENCIAL BRUTO SUPERFICIAL EBS		POTENCIAL HIDROENERGETICO ESTIMADO				POTENCIA INSTALABLE PINS MW
				ENERGIA MEDIA EMED		ENERGIA FIRME EFIR		
		MW	GWh año	MW	GWh año	MW	GWh año	
TOTAL								

MW = Megavatio medio

4.2.2. Potencial hidroenergético estimado basado en el potencial bruto lineal.

Para el río, cuenca, región o país que cuente sólo con el potencial bruto lineal (cuadro 2), los cálculos de energía se podrán efectuar utilizando las siguientes fórmulas (1):

Energía expresada en [GWh/año]	Energía expresada en [\overline{MW}] (2)
<p>1. Energía firme anual (EFIR)</p> <p>$EFIR = K_2 \times \beta \times EBL$; [GWh/año] donde: EBL en GWh/año</p>	<p>1. Energía firme anual (EFIR)</p> <p>$EFIR = K_2 \times \beta \times EBL$; [$\overline{MW}$] donde: EBL en \overline{MW}</p>
<p>EBL = Energía Bruta Lineal o potencial bruto lineal. (5.8.2.)</p> <p>K_2 = Coeficiente que relaciona la energía media con la energía bruta lineal (potencial bruto lineal). En ausencia de mejor información utilizar un valor de 0.4.</p> <p>β = Coeficiente definido en 4.2.1.</p>	
<p>2. Energía media aprovechable (EMED)</p> <p>$EMED = EFIR/\beta$; [GWh/año] donde: EFIR en GWh/año</p>	<p>2. Energía media aprovechable (EMED)</p> <p>$EMED = EFIR/\beta$; [\overline{MW}] donde: EFIR en \overline{MW}</p>
<p>3. Potencia instalable (PINS)</p> <p>$PINS = EMED/8.76 \times FC$; [MW] donde: EMED en GWh/año</p>	<p>3. Potencia instalable (PINS)</p> <p>$PINS = EMED/FC$; [MW] donde: EMED en \overline{MW}</p>
<p>FC = Factor de Capacidad, definido en 4.2.1., su valor es igual para ambos casos.</p>	

(1) Se presenta como alternativas, fórmulas en las que los términos de energía pueden ser expresados en \overline{MW} o en GWh/año, según la preferencia de cada país.

(2) \overline{MW} = Megavatio Medio.

POTENCIAL HIDROENERGETICO ESTIMADO BASADO EN EL POTENCIAL BRUTO LINEAL.

País: _____

Referencia: _____

CUENCA	RIO	POTENCIAL BRUTO LINEAL		POTENCIAL HIDROENERGETICO ESTIMADO				
		EBL		ENERGIA MEDIA EMED		ENERGIA FIRME EFIR		POTENCIA INSTALABLE
		MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	
TOTAL								

MW = Megavatio medio

4.2.3 Potencial hidroenergético estimado no individualizado.

Este formulario (cuadro 3) es utilizado para suministrar información sobre el potencial hidroeléctrico de tramos de río con posibilidades hidroenergéticas, pero sin información sobre el perfil del río y en consecuencia no resulta posible identificar aprovechamientos individualizados.

El potencial del tramo es calculado en su longitud total, suponiéndose que se aproveche íntegramente la caída disponible.

Para cada uno de estos tramos, donde se dispone de las cotas inicial y final y del caudal medio en la cota final, los cálculos se podrán realizar de acuerdo a las siguientes fórmulas (1):

Energía expresada en [GWh/año]	Energía expresada en [MW] (2)
1. Energía firme (EFIR) $EFIR = 0.0219 \times QREG \times \Delta Z;$ <p style="text-align: center;">[GWh/año]</p>	1. Energía firme (EFIR) $EFIR = 0.0025 \times QREG \times \Delta Z;$ <p style="text-align: center;">[MW]</p>
<p>donde:</p> <p>QREG = Caudal regularizado en m³/s.</p> <p>ΔZ = Diferencia de cotas en el tramo, o caída máxima bruta en m.</p> <p style="text-align: center;">Los coeficientes empleados (0.0219 y 0.025) se fundamentan en el Anexo 1.</p> <p>El caudal regularizado se obtiene multiplicando el caudal medio por el coeficiente de regularización (α). En caso que no se disponga de datos específicos, se recomienda utilizar $\alpha = 0.6$.</p> $QREG = \alpha QMED \approx 0.6 QMED; [m^3/s].$ <p>Si se dispone del caudal garantizado (QG) al 95%, el caudal regularizado se obtendrá; para tomas con embalse, multiplicando este caudal por 2, y para tomas a filo de agua por 1.4. Si bien es conocido que para tomas a filo de agua, normalmente no se consigue una regulación del caudal, sin embargo para aplicar esta metodología resulta conveniente por razones de uniformidad, el empleo del término "caudal regularizado" (QREG), en calidad de artificio de cálculo, a pesar de que en rigor se trata del "caudal turbinable".</p> $QREG = 2 \times QG95\%, \text{ (tomas con embalse); } [M^3/s].$ <p style="text-align: center;">Alternativamente:</p> $QREG = 1.4 \times QG95\%, \text{ (tomas a filo de agua); } [m^3/s].$	

En caso que no sea posible determinar el caudal medio como la media de los caudales para una serie histórica, su valor podrá ser aproximado mediante el producto del caudal específico para la zona por el área de drenaje.

La energía media puede ser obtenida considerando que la relación entre la energía firme y la energía media (β), obtenida en algún aprovechamiento mejor estudiado en la cuenca, se aconstante para toda la cuenca. Cuando no

(1) Se presentan como alternativas, fórmulas en las que los términos de energía pueden ser expresados en MW o en GWh/año, según la preferencia de cada país.

(2) MW = Megavatio Medio.

se disponga de esta información, el valor de β debe ser seleccionada en un rango comprendido entre ∞ y 1, que, a falta de mejor información, se recomienda utilizar un valor de 0.7 en cuencas donde existan posibilidades de construir presas de almacenamiento anual o plurianual y 0.45 en aquellas cuencas donde las posibilidades de regulación sean casi nulas.

Los cálculos de energía se podrán realizar utilizando las siguientes fórmulas(1):

Energía expresada en [GWh/año]	Energía expresada en [\overline{MW}] (2)
<p>1. Energía Media (EMED)</p> <p>EMED = EFIR/β; [GWh/año] donde: EFIR en GWh/año</p>	<p>2. Energía Media (EMED)</p> <p>EMED = EFIR/β; [\overline{MW}] donde: EFIR en \overline{MW}</p>
<p>Cuando no se cuente con información para determinar el valor de β, se pueden tomar los valores que se indican en las expresiones siguientes:</p> <p>a) EMED = EFIR/0.7; [GWh/año] Si se tienen posibilidades de almacenamiento, $\beta = 0.7$.</p> <p>b) EMED = EFIR/0.45; [GWh/año] Si las posibilidades de regulación son casi nulas, $\beta = 0.45$. donde: EFIR en GWh/año</p> <p>a) EMED = EFIR/0.7; [\overline{MW}] Si se tienen posibilidades de almacenamiento, $\beta = 0.7$.</p> <p>b) EMED = EFIR/0.45; [\overline{MW}] Si las posibilidades de regulación son casi nulas, $\beta = 0.45$. donde: EFIR en \overline{MW}</p>	
<p>2. Potencia Instalable (PINS)</p> <p>PINS = EMED/8.76 FC; [MW] donde: EMED en GWh/año</p>	<p>2. Potencia Instalable (PINS)</p> <p>PINS = EMED/FC; [MW] donde: EMED en \overline{MW}</p>
<p>FC = Factor de capacidad. Si no se tiene información del valor de este factor, se puede utilizar FC = 0.5 para ambos casos.</p>	

(1) Se presentan alternativas, en las que los términos de energía pueden ser expresados en \overline{MW} o en GWh/año según la preferencia de cada país.

(2) \overline{MW} = Megavatio Medio.

4.2.4. Potencial hidroenergético estimado individualizado

Este formulario (cuadro 4) es utilizado para suministrar información sobre el potencial hidroeléctrico de ríos para los cuales se conoce el perfil y su caudal específico, por lo tanto se pueden identificar posibles sitios de aprovechamientos hidroeléctricos.

La identificación de estos sitios es realizada en gabinete, por lo tanto no debe ser considerada como indicación precisa de su ubicación.

Para cada uno de estos sitios se calcula el caudal medio, multiplicando el caudal específico estimado para la zona por el área de drenaje, en caso de no disponer de mayor información, el cual regularizado es obtenido multiplicando el caudal medio por el coeficiente de regulación (α).

(Ver numeral 4.2.3.).

Los cálculos de energía se realiza mediante las siguientes fórmulas(1):

Energía expresada en [GWh/año]	Energía expresada en \overline{MW} (2)
1. Energía Firme (EFIR) $EFIR = 0.0631 \times QREG \times HMAB;$ [GWh/año]	2. Energía Firme (EFIR) $EFIR = 0.0072 \times QREG \times HMAB;$ \overline{MW}
donde: QREG = Caudal regularizado; (m ³ /s.). HMAB = Caída máxima bruta; (m). Los coeficientes (0.0631 y 0.0072) empleados se fundamentan en el Anexo 1.	
La energía media y la potencia instalable se obtiene con la metodología presentada en el numeral 4.2.3, pero aplicada a cada uno de los aprovechamientos tentativamente identificados.	
2. Energía Media (EMED) $EMED = EFIR / \beta ;$ [GWh/año] donde: EFIR en GWh/año	2. Energía Media (EMED) $EMED = EFIR / \beta ;$ \overline{MW} donde: EFIR en \overline{MW}
β = Coeficiente definido en 4.2.1. (su valor es igual para ambos casos).	
3. Potencia Instalable (PINS) $PINS = EMED / 8.76 \times FC;$ [MW] donde: EMED en GWh/año	3. Potencia Instalable (PINS) $PINS = EMED / FC;$ [MW] donde: EMED en \overline{MW}
FC = Factor de Capacidad, definido en el numeral 4.2.1. Su valor es igual para ambos casos.	

(1) Se presentan como alternativas, fórmulas en las que los términos de energía pueden ser expresados en \overline{MW} o en GWh/año, según la preferencia de cada país.

(2) = \overline{MW} Megavatio Medio.

POTENCIAL HIDROELECTRICO ESTIMADO INDIVIDUALIZADO

País: _____

Referencia: _____

CUENCA	RIO	UBICACION	COTAS DE APROVECHAMIENTO msnm		AREA DE DRENAJE Km ²	CAUDAL MEDIO QMED m ³ /s	CAUDAL REGULARIZADO QREG m ³ /s	CAIDA BRUTA MAXIMA HMAB m	ENERGIA FIRME EFIR		ENERGIA MEDIA EMED		POTENCIA INSTALABLE PINS MW	OBSERVACIONES
			SUPERIOR	INFERIOR					MW	GWh/año	MW	GWh/año		
TOTAL														

MW = Megavatio medio

4.2.5. Potencial Hidroenergético Inventariado

Este procedimiento se destina a recopilar la información correspondiente a aprovechamientos hidroeléctricos cuyo nivel de estudios esté en fase de inventario, factibilidad, diseño básico o diseño de ejecución y también para aquellos aprovechamientos que se encuentran en proceso de construcción u operación (Ver Cáp. 3).

La información requerida será organizada utilizando el Cuadro 5, en el cual se llenará la mayor cantidad posible de información existente para cada aprovechamiento.

En el Capítulo 5 de este mismo documento, se presenta una definición operativa de cada uno de los elementos de información requeridos, así como los pasos a seguir para la estimación simplificada de alguno de ellos.

La información correspondiente a niveles, caídas, energía media y energía firme de cada aprovechamiento, podrán estimarse considerando el aprovechamiento aislado o integrado a un sistema de generación. Se deberá elegir uno u otro caso en función de la información disponible o del criterio aceptado con relación a cual información es más relevante. Sin embargo se debe incluir un solo grupo de valores correspondientes al aprovechamiento integrado, debiendo señalar en la columna de observaciones el criterio adoptado.

La información correspondiente a los niveles característicos del aprovechamiento, deberán expresarse preferentemente en metros sobre el nivel del mar (msnm); en aquellos aprovechamientos en que los niveles estén referidos a otra base de referencia, se procederá a estimar en forma aproximada la cota sobre el nivel del mar de esa base.

La información correspondiente a las energías medias y firmes se expresarán en unidades $\overline{MW}^{(1)}$ o GWh/año de acuerdo a las preferencias de cada país.

En aquellos aprovechamientos en que no se cuente con parte de la información solicitada se intentará su estimación, en cuyo caso se agregará al lado del dato la nota "(EST)". En aquellos casos en que no se pueda estimar el valor por ausencia total de información, se llenará la casilla correspondiente con la nota "(NI)".

Finalmente, se reitera, que para la recopilación de esta información no se contempla ningún trabajo de campo y los trabajos de gabinete se deben limitar a la organización de la información existente, a la interpretación de parte de ella en función de la definición operativa aquí adoptada, y la estimación simplificada de alguna información.

En el Cuadro 5, las columnas que aparecen con asterisco (*) deben ser necesariamente llenadas, pues los datos que en ellas se piden son requeridos para estimar el recurso. La información solicitada en las columnas que no están señaladas con asterisco tienen carácter complementario, y se completarán en función de las disponibilidades de información.

(1) \overline{MW} = Megavatio Medio

4.2.6. Potencial hidroenergético por país: potencia instalable, energía firme y energía media.

Estos formularios (cuadros 6, 7 y 8) presentan el resumen por cuenca hidrográfica de la información indicada en los tres primeros como potencia instalada en MW, energía firme en \overline{MW} (1) y GWh/año y energía media en \overline{MW} y GWh/año, agrupados según los siguientes niveles de desarrollo:

- En operación.
- En construcción.
- No aprovechado (nivel de inventario, factibilidad, diseño básico o diseño de ejecución).
- Estimado.

En las dos primeras columnas se señalará el potencial aprovechado y en las dos siguientes, el potencial disponible. Además el formulario muestra el total inventariado, el total disponible, el total general y el porcentaje aprovechado en relación al total general.

Estos formularios deberán ser llenados por los países y servirán de base para los formularios referentes a la región.

Para la energía firme debe considerarse el valor de la energía firme del sistema. En caso de que no se disponga de este valor, se deberá utilizar la energía firme del aprovechamiento aislado.

Se debe señalar que la información contenida en los cuadros 1, 2, 3 y 4 se utilizará para el llenado de la columna "estimado" de los cuadros 6, 7 y 8 y la información del cuadro 5 para las columnas de "en operación", "en construcción" y "no aprovechado" de los mismos cuadros 6, 7 y 8.

4.2.7. Potencial hidroenergético de la región: potencia instalable, energía firme y energía media.

Estos formularios, son semejantes a aquéllos del potencial hidroeléctrico por país y presentan un resumen del potencial hidroeléctrico de cada país. Estos formularios serán llenados por OLADE en base a la información suministrada por los países.

(1) \overline{MW} = Megavatio Medio.

POTENCIAL HIDROELECTRICO
 POTENCIA INSTALABLE EN MW

Referencia : _____

CUENCA	INVENTARIADO					ESTIMADO (6)	TOTAL GENERAL (7)=(5)+(6)	DISPONIBLE (8)=(4)+(6)	% APROVECHADO $\frac{(3)}{(7)} \times 100$
	APROVECHADO			NO	TOTAL				
	EN OPERACION (1)	EN CONSTRUCC. (2)	TOTAL APROVECHAD. (3)=(1)+(2)	APROVECHADA (4)	INVENTARIADO (5)=(3)+(4)				
TOTAL									

POTENCIAL HIDROELECTRICO
ENERGIA FIRME

País : _____

Referencia : _____

CUENCA	INVENTARIADO										ESTIMADO (6)		TOTAL GENERAL (7) = (5) + (6)		DISPONIBLE (8) = (4) + (6)		% APROVECHADO $\frac{(3)}{(7)} \times 100$
	APROVECHADO						NO APROVECHADO (4)		TOTAL INVENTARIADO (5) = (3) + (4)								
	EN OPERACION (1)		EN CONSTRUCCION (2)		TOTAL APROVECHADO (3) = (1) + (2)		MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$	
	MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$											
TOTAL																	

MW = Megavatio medio

POTENCIAL HIDROELECTRICO

ENERGIA MEDIA

País: _____

Referencia: _____

CUENCA	INVENTARIADO										ESTIMADO (6)		TOTAL GENERAL (7) = (5) + (6)		DISPONIBLE (8) = (4) + (6)		% APROVECHADO $\frac{(3)}{(7)} \times 100$
	APROVECHADO						NO APROVECHADO (4)		TOTAL INVENTARIADO (5) = (3) + (4)								
	EN OPERACION (1)		EN CONSTRUCCION (2)		TOTAL APROVECHADO (3) = (1) + (2)		MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$	
	MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$	MW	$\frac{GWh}{año}$											
TOTAL																	

MW = Megavatio medio

POTENCIAL HIDROELECTRICO DE AMERICA LATINA
 POTENCIA INSTALABLE EN MW

Referencia : _____

CUENCA	INVENTARIADO					ESTIMADO (6)	TOTAL GENERAL (7)=(5)+(6)	DISPONIBLE (8)=(4)+(6)	% APROVECHADO $\frac{(3)}{(7)} \times 100$
	APROVECHADO			NO	TOTAL				
	EN OPERACION (1)	EN CONSTRUC. (2)	TOTAL APROVECHA (3)=(1)+(2)	APROVECHADO (4)	INVENTARIADO (5)=(3)+(4)				
TOTAL									

POTENCIAL HIDROELECTRICO DE AMERICA LATINA

CUADRO Nº 10

ENERGIA FIRME

Referencia: _____

P A I S	I N V E N T A R I A D O										ESTIMADO		TOTAL GENERAL		DISPONIBLE		% APROVECHADO $\frac{(3)}{(7)} \times 100$
	A P R O V E C H A D O					N O A P R O V E C H A D O		T O T A L I N V E N T A R I A D O									
	E N O P E R A C I O N (1)		E N C O N S T R U C C I O N (2)		T O T A L A P R O V E C H A D O (3) = (1) + (2)		A P R O V E C H A D O (4)		I N V E N T A R I A D O (5) = (3) + (4)		(6)		(7) = (5) + (6)		(8) = (4) + (6)		
	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	
TOTAL																	

MW = Megavatio medio

POTENCIAL HIDROELECTRICO DE AMERICA LATINA

ENERGIA MEDIA

Referencia : _____

P A I S	I N V E N T A R I A D O										E S T I M A D O		T O T A L G E N E R A L		D I S P O N I B L E		% A P R O V E C H A D O
	A P R O V E C H A D O					N O A P R O V E C H A D O		T O T A L I N V E N T A R I A D O		(6)							
	E N O P E R A C I O N (1)		E N C O N S T R U C C I O N (2)		T O T A L A P R O V E C H A D O (3) = (1) + (2)		(4)		(5) = (3) + (4)								
	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	MW	GWh/año	
T O T A L																	

MW = Megavatio medio

5. TERMINOLOGIA BASICA

La terminología básica que se define en este capítulo, fundamentalmente se refiere a aquella empleada para el cálculo del Potencial Hidroenergético Inventariado (4.2.5.) y se ve reflejada en la estructura del cuadro 5, salvo el caso de los términos de Energía Media Anual Bruta de Escurrimiento-EBS (5.8.1.) y Energía Bruta Lineal-EBL (5.8.2.) que se aplica solamente para los cálculos del potencial hidroenergético estimado basados en el potencial bruto superficial de escurrimiento (4.2.1.) y en el potencial bruto lineal (4.2.2.), las que son utilizadas en los cuadros 1 y 2 respectivamente.

5.1. PERIODOS HIDROLOGICOS

- 5.1.1. PERIODO HIDROLOGICO UTILIZADO - TU.— Intervalo de tiempo para el cual se dispone una serie de caudales naturales afluentes al aprovechamiento. Esta serie puede resultar de registros fluviométricos en el mismo sitio del aprovechamiento, o de registros fluviométricos y/o pluviométricos en la propia cuenca y/o cuencas vecinas, siempre que la transferencia de información se base en correlaciones confiables.
- 5.1.2. PERIODO HIDROLOGICO CRITICO - TCRT.— Intervalo de tiempo en el cual los embalses son totalmente utilizados para generación de energía eléctrica, en virtud de condiciones hidrológicas desfavorables, o sea el período en el cual el sistema de almacenamiento evoluciona de lleno a vacío. Para centrales a filo de agua que funcionen sin regulación y aisladamente, se considera como período hidrológico crítico el año más seco del período hidrológico utilizado.

5.2. CAUDAL

- 5.2.1. CAUDAL MEDIO - QMED; (m^3/s).— Es la media aritmética de los caudales a lo largo del período hidrológico utilizado, (5.1.1.).
- 5.2.2. CAUDAL GARANTIZADO AL 95% - QG95; (m^3/s).— Caudal con una seguridad hidrológica del 95%, basado en caudales mensuales.
- 5.2.3. CAUDAL MEDIO DEL PERIODO CRITICO - QCRT; (m^3/s).— Es la media aritmética de los caudales a lo largo del período hidrológico crítico, (5.1.2.).
- 5.2.4. CAUDAL REGULARIZADO POR EL EMBALSE - QREG; (m^3/s).— Máximo caudal posible de ser garantizado, considerándose solamente el embalse como elemento aislado, para la serie de flujos naturales afluentes al aprovechamiento en el período hidrológico utilizado (5.1.1.).
- 5.2.5. CAUDAL ESPECIFICO - QESP; ($l/s/Km^2$).— Caudal medio dividido por el área de drenaje que es aquella comprendida entre las divisorias de agua y el sitio considerado.
- 5.2.6. CAUDAL MEDIO DE LARGO PLAZO - QMLT (m^3/s).— Es la media aritmética de los caudales a través de una larga serie hidrológica.

5.3. VOLUMENES

- 5.3.1. VOLUMEN TOTAL - VTOT; (m^3).— Volumen comprendido entre el nivel de agua máximo normal de operación del embalse (5.4.2.) y el nivel topográfico del mismo (5.4.7.).
- 5.3.2. VOLUMEN UTIL DE OPERACION - VU; (m^3).— Volumen comprendido entre el nivel de agua máximo normal de operación (5.4.2.) y el nivel de agua mínimo normal (5.4.3.).
- 5.3.3. VOLUMEN UTIL AGUAS ARRIBA - VUA; (m^3).— Sumatorias de los volúmenes útiles de operación de los aprovechamientos existentes o previstos aguas arriba.

5.4. NIVELES

- 5.4.1. NIVEL DE AGUA MAXIMO MAXIMORUM - NMAX; (m).— Nivel máximo correspondiente a la avenida máxima de diseño del embalse.

- 5.4.2. NIVEL DE AGUA MAXIMO NORMAL - NMAN; (m).— Nivel máximo para el cual el embalse se opera normalmente, preferiblemente referido al nivel del mar.
- 5.4.3. NIVEL DE AGUA MINIMO NORMAL - NMIN; (m).— Nivel mínimo para el cual el embalse opera normalmente, preferiblemente referido al nivel del mar.
- 5.4.4. NIVEL DE RESTITUCION - NRES; (m).— Mayor valor entre el nivel del agua máximo del embalse siguiente aguas abajo y el nivel del agua en el canal de descarga, preferiblemente referido al nivel del mar.
- 5.4.5. NIVEL DE AGUA MEDIO - NMED; (m).— Nivel medio del embalse que debe ser elegido, según se trate de un aprovechamiento aislado o integrado entre los valores de los dos numerales siguientes:

- 5.4.5.1. NIVEL DE AGUA MEDIO DEL APROVECHAMIENTO AISLADO - NMAS; (m).— Nivel medio del embalse si la operación fuera aislada, esto es, cuando no se hubieran considerado los embalses aguas arriba. Se obtienen de la curva cota - volumen para el volumen definido por la expresión:

$$VMAS = VTOT - 0,5 \times VU; (m^3)$$

donde:

$$VMAS = \text{Volumen medio del embalse aislado}; (m^3)$$

$$VTOT = \text{Volumen total (5.3.1.)}; (m^3).$$

$$VU = \text{Volumen útil de operación (5.3.2.)}; (m^3).$$

- 5.4.5.2. NIVEL DE AGUA MEDIO DEL EMBALSE EN OPERACION INTEGRADA - NMIT; (m). Nivel medio de operación cuando se consideran los embalses aguas arriba. Es obtenido en la curva cota - volumen para el volumen dado por la expresión:

$$VMIT = \frac{VTOT - 0,5 VU^2}{VU + 0,5 VUA}; (m^3)$$

donde:

$$VTOT = \text{Volumen total (5.3.1.)}; (m^3)$$

$$VU = \text{Volumen útil de operación (5.3.2.)}; (m^3)$$

$$VUA = \text{Sumatoria de los volúmenes útiles de los reservorios aguas arriba (5.3.3.)}; (m^3).$$

- 5.4.6. NIVEL DE REFERENCIA - NREF; (m).— Altitud aproximada sobre el nivel del mar, del nivel considerado como cota cero.
- 5.4.7. NIVEL TOPOGRAFICO - NTP; (m).— Representación de las alturas sobre el nivel del mar de los diferentes puntos del terreno del embalse.

5. CAIDA MAXIMA

- 5.5.1. CAIDA MAXIMA BRUTA - HMAB; (m).— Diferencia entre el nivel máximo normal de operación (5.4.2.) del embalse o de la cámara de carga y el nivel de restitución (5.4.4.) sin considerar las pérdidas hidráulicas, o sea:

$$HMAB = NMAN - NRES; (m).$$

- 5.5.2. CAIDA MAXIMA NETA - HMAN; (m).— Altura máxima bruta menos la pérdida hidráulica y puede ser calculada como:

$$HMAN = HMAB \times (1 - PC); (m).$$

donde:

PC = Coeficiente de pérdidas hidráulicas en las conducciones forzadas, excluyendo las ineficiencias de los equipos electromecánicos.

5.6. CAIDA MEDIA NETA (HMED); (m).

Caída media del aprovechamiento que debe ser elegida entre los dos valores de los numerales siguientes: 5.6.1. ó 5.6.2., según se trate de un aprovechamiento aislado o integrado.

- 5.6.1. CAIDA MEDIA NETA DEL APROVECHAMIENTO AISLADO - HMAS; (m).— Diferencia entre el nivel de agua medio del aprovechamiento aislado o nivel de la carga (5.4.5.1.) y el nivel de restitución (5.4.4.), tomando en cuenta las pérdidas hidráulicas, o sea,

$$HMAS = (1 - PC) \times (NMA - NRES); (m)$$

donde:

NMA = Nivel de agua medio del aprovechamiento aislado (5.4.5.1.); (m).

NRES = Nivel de reposición (5.4.4.); (m).

- 5.6.2. CAIDA MEDIA NETA DEL APROVECHAMIENTO INTEGRADO - HMIT; (m).— Diferencia entre el nivel de agua medio del embalse en operación integrada (5.4.5.2.) y el nivel de reposición (5.4.4.) tomando en cuenta las pérdidas hidráulicas, o sea:

$$HMIT = (1 - PC) \times (NMIT - NRES); (m).$$

donde:

NMIT = Nivel de agua medio del embalse en operación integrada (5.4.5.2.); (m).

NRES = Nivel de restitución (5.4.4.); (m).

5.7. AREA INUNDADA

- 5.7.1. AREA INUNDADA MAXIMA - AMAX; (Km²).— Area anegada cuando el nivel de agua se encuentra en su nivel máximo maximorum (5.4.1.).
- 5.7.2. AREA INUNDADA MAXIMA DE OPERACION NORMAL - AMAN; (Km²).— Area inundada cuando el nivel del agua se encuentra en su nivel máximo normal de operación (5.4.2.).
- 5.7.3. AREA INUNDADA MINIMA DE OPERACION - AMIN; (Km²).— Area inundada cuando el nivel de agua se encuentra en su nivel mínimo normal (5.4.3.).

5.8. ENERGIA

- 5.8.1. ENERGIA MEDIA ANUAL BRUTA SUPERFICIAL DE ESCURRIMIENTO-EBS O POTENCIAL BRUTO SUPERFICIAL DE ESCURRIMIENTO. Es la producción energética teórica anual (o la potencia media equivalente), correspondiente a toda el agua disponible en la cuenca, actuando con una caída bruta igual a la altura media de la cuenca y a ciento por ciento de eficiencia. El agua disponible, es igual a la precipitación promedio anual menos pérdidas.(4.2.1.).

El método para determinar el potencial bruto superficial, supone la división de la cuenca objeto del estudio en pequeñas cuencas tributarias (subcuencas).

El potencial teórico superficial se deduce a partir de las siguientes fórmulas(1):

Energía expresada en [GWh/año]	Energía expresada en [MW] (2)
$EBS = 9.8 \times 8.76 \sum_{i=1}^{i=N} Q_i \times H_i; [GWh/año]$	$EBS = 9.8 \times \sum_{i=1}^{i=N} Q_i \times H_i; [MW]$

sigue

continúa

donde:

- i = Número de orden de la subcuenca.
- N = Número de subcuencas consideradas.
- Q_i = Caudal medio anual de escurrimiento en la subcuenca i ; ($m^3/seg.$).
- H_i = Elevación media de la subcuenca i (m), dada por la media de la diferencia entre las cotas más altas y más bajas de la subcuenca i .

Como alternativa, en el caso de que no se disponga del caudal de escurrimiento sino del volumen de escurrimiento, se presentan las siguientes fórmulas:

$$EBS = \frac{V \times H}{367}; [GWh/año]$$

$$EBS = \frac{V \times H}{8.76 \times 367}; [MW]$$

H = Elevación media de la cuenca.

V = Volumen de escurrimiento anual en m^3 .

5.8.2. ENERGIA BRUTA LINEAL EBL O POTENCIAL BRUTA LINEAL.— Corresponde a energía teórica (o potencia media equivalente) producida por el caudal medio del curso de agua a lo largo del cauce de cada corriente de una cuenca, región o país y con una eficiencia del ciento por ciento.

El método práctico para calcular la energía o el potencial bruto lineal es el siguiente:

- Cada río o curso de agua de la cuenca en estudio se divide en tramos limitados por los puntos de confluencia de tributarios consecutivos; es conveniente que esos tramos no tengan más de 10 Km. de largo.
- En cada tramo se calcula la energía o el potencial bruto por las siguientes fórmulas (1):

Energía expresada en [GWh/año]	Energía expresada en [MW] (2)
$EBL = 9.8 \times 8.76 \times \bar{Q} \times H; [GWh/año]$	$EBL = 9.8 \times \bar{Q} \times H; [MW]$
<p>donde:</p> <p>\bar{Q} = Promedio de los caudales en cada extremo del tramo ($m^3/s.$).</p> <p>H = Diferencia de niveles entre los extremos del tramo (m).</p> <p>— El potencial bruto lineal del río se obtiene acumulando progresivamente, de aguas arriba hacia aguas abajo, el potencial bruto lineal de cada uno de los tramos estudiados.</p> <p>— El potencial bruto lineal se determina para el caudal medio (\bar{Q}) y para los caudales con seguridad hidrológica del 90% y 50%, los cuales representan, en este orden, la disponibilidad promedio mínima y más probable del recurso hidráulico.</p>	

(1) Se presentan como alternativas, fórmulas en las que los términos de energía pueden ser expresados en MW o en GWh/año, según la preferencia de cada país.

(2) MW = Megavatio Medio.

5.8.3. ENERGIA FIRME - EFIR; GWh/año o en \overline{MW}).— Máxima generación energética continua posible de un aprovechamiento que puede ser garantizada, considerándose la serie de caudales naturales afluentes conocidos para el período hidrológico utilizado. Se deberá considerar la energía firme del aprovechamiento aislado o integrado en un sistema según el caso que resulte aplicable, escogiendo el procedimiento señalado en uno de los dos numerales siguientes:

5.8.3.1. ENERGIA FIRME DEL APROVECHAMIENTO AISLADO - EFAS. — Energía firme considerándose solamente el aprovechamiento aislado. Esta energía puede ser calculada ya sea a través de la simulación de la operación aislada de este aprovechamiento, o de modo simplificado a través de las siguientes expresiones (1):

Energía expresada en [GWh/año]	Energía expresada en \overline{MW} (2)
EFAS = $0.0859 \times \text{REND} \times \text{HMAS} \times \text{QREG}$; [GWh/año]	EFAS = $0.00981 \times \text{REND} \times \text{QREG}$; [\overline{MW}]
<p>donde:</p> <p>REND = Eficiencia global del equipamiento electromecánico, expresada en fracción decimal (m).</p> <p>HMAS = Caída neta del aprovechamiento aislado (5.6.1.) (m).</p> <p>QREG = Caudal regularizado por embalse (5.2.4.).</p> <p>En caso de centrales sin embalse, no se regula el caudal y éste puede obtenerse de 1.4 QG 95%.</p>	

5.8.3.2. ENERGIA FIRME DEL APROVECHAMIENTO INTEGRADO - EFIT.— Energía firme que el aprovechamiento es capaz de producir durante el período crítico del sistema.

Esta energía puede ser calculada ya sea a través de la simulación de la expresión de la operación integrada de todos los aprovechamientos que componen el sistema a lo largo del período hidrológico crítico (5.1.2.), o de manera simplificada a través de las siguientes expresiones (1):

Energía expresada en [GWh/año]	Energía expresada en \overline{MW} (2)
EFIT = $0.0859 \times \text{REND} \times \text{HMIT} \times$ [QCRT + (VU + VUA)/TCRT]; [GWh/año]	EFIT = $0.00981 \times \text{REND} \times$ [QCRT + (VU + VUA)/TCRT]; [\overline{MW}]
<p>donde:</p> <p>REND = Eficiencia global del equipamiento electromecánico expresado en fracción decimal.</p> <p>HMIT = Caída neta del aprovechamiento integrado (5.6.2.) (m). Tener en consideración que cuando se trata de aprovechamiento a filo de agua, sustituir HMIT por HMAN; caída máxima neta (5.5.2.).</p> <p>QCRT = Caudal medio del período crítico (5.2.3.), (m^3/s).</p> <p>VU = Volumen útil de operación (5.3.2.), (M^3).</p> <p>VUA = Volumen útil aguas arriba (5.3.3.), (m^3).</p> <p>TCRT = Duración del período crítico del sistema; (s).</p>	

(1) Se presentan como alternativas fórmulas en las que los términos de energía pueden ser expresados en \overline{MW} o en GWh/año, según la preferencia de cada país.

(2) \overline{MW} = Megavatio Medio.

5.8.4. ENERGIA MEDIA - EMED; (GWh/año o en \overline{MW}).— Valor promedio de la energía producida por el aprovechamiento a lo largo del período hidrológico utilizado. Se deberá considerar la energía media del aprovechamiento aislado o integrado en un sistema según el caso que resulte aplicable.

5.8.4.1. ENERGIA MEDIA DE APROVECHAMIENTO AISLADO - EMAS.— Valor promedio de la energía producida por el aprovechamiento aislado a lo largo del período hidrológico utilizado.

Este valor puede ser calculado a partir de la simulación de la generación del aprovechamiento aislado o de manera simplificada a través de las siguientes expresiones (1):

Energía expresada en [GWh/año]	Energía expresada en [\overline{MW}] (2)
EMAS = $0.0859 \times \text{REND} \times \text{HMAS} \times \text{GMED} \times \text{CTU}$; [GWh/año]	EMAS = $0.00981 \times \text{REND} \times \text{HMAS} \times \text{QMED} \times \text{CTU}$; [\overline{MW}]
<p>donde:</p> <p>QMED = Caudal medio (5.2.1.), (m³/s).</p> <p>CTU = Coeficiente de turbinación, expresado en fracción decimal.</p> <p>REND = Eficiencia global del equipo electromecánico.</p> <p>HMAS = Nivel medio del aprovechamiento aislado (5.6.1.), (m).</p> <p>CTU = Volumen total turbinado/volumen total afluente.</p> <p>En caso de no disponer de mejor información se sugiere utilizar CTU = 0.90.</p>	

5.8.4.2. ENERGIA MEDIA DEL APROVECHAMIENTO INTEGRADO - EMIT.— Energía media que el aprovechamiento es capaz de producir cuando se simula la operación del sistema a lo largo del período hidrológico utilizado. De manera simplificada, esta energía puede ser calculada a través de las siguientes expresiones (1):

Energía expresada en [GWh/año]	Energía expresada en [\overline{MW}] (2)
EMIT = $0.0859 \times \text{REND} \times \text{HMIT} \times \text{QMED} \times \text{CTU}$; [Gwh/año]	EMIT = $0.00981 \times \text{REND} \times \text{HMIT} \times \text{QMED} \times \text{CTU}$; [\overline{MW}]
<p>donde:</p> <p>QMED = Caudal medio (5.2.1.), (m³/s).</p> <p>CTU = Coeficiente de turbinación (volumen total turbinado/volumen total afluente).</p> <p>En caso de no disponer de mejor información se sugiere utilizar CTU = 0.90.</p>	

(1) Se presentan como alternativas, fórmulas en las que los términos de energía pueden ser expresados en \overline{MW} o en GWh/año, según preferencia de cada país.

(2) \overline{MW} = Megavatio Medio.

5.9. POTENCIA INSTALABLE - PINS; (MW).

Potencia de la central media en los bornes de los generadores.

5.10. FACTOR DE CAPACIDAD - FC.

Relación entre la energía media (5.8.4.) y la potencia instalable (5.9.), y se obtiene de las siguientes expresiones:

Cálculo de FC, con energía expresada en GWh/año	Cálculo de FC, con energía expresada en \overline{MW} (2)
$FC = EMED/8.76 \text{ PINS}$ <p>donde: EMED en GWh/año PINS en MW</p>	$FC = EMD/PINS$ <p>donde: EMED en \overline{MW} PINS en MW</p>

5.11. NUMERO DE UNIDADES

Número de conjuntos turbina - generador del aprovechamiento.

5.12. INVERSION ESTIMADA (US\$).

Costo total estimado para la construcción de la central hidroeléctrica en dólares en diciembre de 1980, se deberán incluir los siguientes:

- Costos directos (obras civiles, equipos electromecánicos y auxiliares).
 - Costos de expropiación y servidumbres.
 - Costos de estudios de pre-inversión (desde inventario hasta diseño de ejecución).
 - Costos de ingeniería y administración local y central del proyecto.
 - Costos de infraestructura directamente asociados al proyecto (canteras, campamentos, carreteras, suministro de energía para la obra, servicios, etc.).
 - Imprevistos.
- No deberán incluirse:
- Costos financieros
 - Subestación elevadora o sistemas de transmisión.
 - Escalamiento de costos.

5.13. INVERSION UNITARIA (US\$/kW).

Relación entre la inversión estimada (5.12.) y la potencia instalable (5.9.).

5.14. NIVEL DE CONOCIMIENTO.

Grado de avance de los estudios o ejecución, de acuerdo a la clasificación en el capítulo 3.

5.15. ENTRADA EN OPERACION

Año de inicio de la operación. Cuando sea posible determinar.

(1) Se presentan como alternativas, fórmulas en las que los términos de energía pueden ser expresados en \overline{MW} o en GWh/año, según preferencia de cada país.

(2) \overline{MW} = Megavatio Medio.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ACTUALIZACION A 1979 DEL CATASTRO DE BALANCES Y RECURSOS ENERGETICOS EN EL AREA DE LA CIER. Proyecciones a 1985 y 1990. CIER - Bogotá-Colombia 1982*Documento preliminar.

CATASTRO RECURSOS HIDROELECTRICOS DE NICARAGUA. Primera etapa, Managua-Nicaragua, Mayo de 1975.

ESTADISTICAS ENERGETICAS DE AMERICA LATINA. OLADE, Quito-Ecuador, Noviembre de 1981.

EL POTENCIAL HIDROELECTRICO-ALTERNATIVA ENERGETICA Y DESAFIO INDUSTRIAL Y FINANCIERO PARA AMERICA LATINA. CEPAL-OLADE. Documentos OLADE N° 18 primera edición 1981.

ESTUDIO REGIONAL DE INTERCONEXION ELECTRICA DEL ISTMO CENTROAMERICANO. E/CEPAL/CCE/SC.5./135-CEE/SC.5/GRIE/VIII/3/REV 2. CEPAL, Septiembre de 1980.

EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL-METODOLOGIA Y RESULTADOS. Dirección General de Electricidad. MEM Lima - Perú.

EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDROELECTRICOS DE COSTA RICA. Departamento Programas de Generación. ICE, San José - Costa Rica, Julio de 1977.

EVALUACION PRELIMINAR DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO EXPOTABLE DE COSTA RICA. Dirección de Electrificación, ICE, San José - Costa Rica, Julio de 1978.

GRUPO DE ANALISE DE METODOLOGIA DE BALANCES ENERGETICOS E DE MODELOS DE PLANEAMIENTO ENERGETICO. RELATORIO FINAL. CNEN/NUCLEBRAS/ PETROBRAS/ELETOBRAS. Grupo de trabajo do Ministerio dos Minas e Energia - Brasilia-Brasil.

MANUAL COMPUTARIZADO DE COSTOS DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS. MANUAL DEL USUARIO. Dirección de Planificación, INECEL. Quito-Ecuador, Enero de 1982.

MANUAL DE DISEÑO DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS - NIVEL INVENTARIO. Dirección de Planificación, INECEL. Quito-Ecuador. Abril de 1982.

MANUAL DE COSTOS DE OBRAS DE APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO. NIVEL PREFACTIBILIDAD. INELECTRA-HARZA-EDELCA. Caracas-Venezuela, Julio de 1980. Simulación Hidrológica de la cuenca del Río Apure hasta San Fernando de Apure. Venezuela.

MANUAL DE COSTOS COMPUTARIZADO DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS - MANUAL DEL PROGRAMADOR. Dirección de Planificación. Quito-Ecuador, Abril de 1982.

MANUAL DE DISEÑO DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS - COMPUTARIZADO. Dirección de Planificación. inecel, Quito-Ecuador, Enero de 1982.

MANUAL DE INSTRUCCIONES PARA ESTUDIOS DE INVENTARIO DE BACIA HIDROGRAFICA PARA APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO. DPE/DEGE/ELETOBRAS. Río de Janeiro-Brasil. Setembro 1980.

O POTENCIAL HIDROELECTRICO DO BRASIL. II Simposio de Energia do Hemisferio Occidental. ELETOBRAS. Río de Janeiro-Brasil. Setembro 1980.

PROYECTO DE ACTUALIZACION DEL INVENTARIO Y ANALISIS DE LA INFORMACION BASICA SOBRE RECURSOS NATURALES Y TEMAS PERTINENTES EN LA CUENCA DEL PLATA. OEA. Washington-USA. 1982. (Documento Preliminar).

SISTEMA DE INVENTARIO DE BACIAS HIDROLOGICAS (SINV) DESCRICAO GERAL. CEPEL 1288/79-A Relatório Técnico. ELETOBRAS. Río de Janeiro-Brasil, Agosto 1979.

A N E X O

FUNDAMENTOS DEL CALCULO DEL POTENCIAL HIDROENERGETICO ESTIMADO INDIVIDUALIZADO Y NO INDIVIDUALIZADO

Los términos energéticos tratados en este Anexo están expresados en \overline{MW} (Megavatios Medios).

A. POTENCIAL HIDROENERGETICO ESTIMADO INDIVIDUALIZADO

Para los casos de aprovechamiento individualizados, la metodología adoptada es como sigue:

1. SELECCION DE CUENCAS Y RIOS

En base a los antecedentes disponibles de estudios de reconocimiento y de inventarios, mapas topográficos, mapas geológicos, informes de vuelos y de visitas a las regiones, se definen las cuencas a ser estudiadas y sus límites son trazados sobre los mapas topográficos disponibles.

En las cuencas definidas, se escogen los ríos principalmente y aquellos afluentes que presentan, a primera vista, condiciones topográficas, geológicas e hidrológicas más favorables.

En el caso que algunos de los ríos escogidos preliminarmente no tengan perfiles topográficos longitudinales disponibles, los mismos podrán ser trazados utilizándose las informaciones de los mapas topográficos y datos diversos de cotas obtenidas de otras fuentes, tales como mapas de carreteras y mapas de rutas aéreas.

En el trazado de los perfiles, se procura identificar accidentes naturales tales como cascadas y rápidos, poblaciones situadas en las márgenes de los ríos y carreteras, además de los afluentes principales. También se deben tomar en cuenta la existencia de fronteras con otros países, para la división del potencial y para evitar alteración del nivel de agua en esas fronteras cuando se trate de los ríos en países consecutivos.

Las escalas horizontales y verticales son escogidas en función de la precisión de la información disponible.

Al concluir el trazado de los nuevos perfiles y la revisión de los ya existentes, una nueva selección de los ríos, considerados como los de mayor potencialidad desde el punto de vista hidroeléctrico, puede ser realizada, quedando finalmente algunos de ellos seleccionados.

2. DIVISION DE CAIDAS Y CALCULO DE AREAS DE DRENAJE

Sobre los perfiles de los ríos seleccionados son preliminarmente localizados los aprovechamientos en función de las características topográficas y geológicas de cada localización.

En la mayor parte de los casos, para el nivel de agua de cada embalse escogido es adoptada la cota natural del río coincidente con el canal de fuga del aprovechamiento inmediatamente superior, medido en escala en los perfiles, procurando siempre evitar la inundación de ciudades u obras importantes. Así queda definida la división de caídas de cada río.

En base a las localizaciones seleccionadas sobre los perfiles longitudinales, los mismos son identificados sobre los mapas topográficos disponibles, procediendo a continuación a la limitación de las áreas de drenaje de los posibles aprovechamientos y a su cálculo por planimetría.

Debe señalarse que revisiones futuras podrán indicar incompatibilidades altimétricas, topográficas, geográficas en la caracterización de esos aprovechamientos.

Dado que las evaluaciones de gabinete tienen por finalidad el conocimiento global del potencial, la identificación de las localizaciones en esta fase no deberán ser tomadas como una selección definitiva de las mismas, pues tienen solamente el propósito de evaluar el número aproximado de localizaciones a ser estudiadas a nivel de inventario y los costos consecuentes de esos estudios.

3. ESTIMADO DE LOS CAUDALES REGULARIZADOS

Considerando que la estimación de la energía puede ser producida en un aprovechamiento, es función del producto del caudal regularizado y de la caída líquida media multiplicada por un factor donde interviene el rendimiento de los equipos de generación, se trata inicialmente de estimar aquel caudal regularizado, para esto muchas veces es necesario definir los caudales medios de largo plazo (QMLT) de las secciones consideradas. Donde existan largas series hidrométricas, esto no constituye un problema, pero para algunas áreas, los valores a ser adoptados sólo pueden ser obtenidos mediante un profundo análisis de los pocos datos pluviométricos y fluviométricos existentes. En algunos casos, donde la información fluviométrica es escasa o nula, puede basarse en los datos de cuencas adyacentes con características pluviométricas, topográficas y geológicas semejantes.

Los caudales regularizados son obtenidos multiplicando los caudales (QMLT) por coeficientes estimados, tal como se indica a continuación:

- A partir de estudios de circulación e integrado de todas las centrales hidroeléctricas inventariadas en las diversas cuencas del país, se calcula para cada aprovechamiento el coeficiente γ que es la relación entre el caudal medio o turbinado durante el período crítico y el QMLT.
- Considerando las condiciones de regularización de estas cuencas con las cuencas que están siendo materia de estimación, puede estimarse coeficientes análogos para sus ríos, teniendo en cuenta que las pérdidas por evaporación estarían incluidas en tales coeficientes.
- Si esos estudios no fueran disponibles, se recomienda adoptar valores entre los siguientes rangos:
 - Aprovechamiento con regularización e integrados a un sistema, $\gamma = 0.70$.
 - Aprovechamientos aislados a filo de agua, $\gamma = 0.40$.

4. ESTIMADO DE LAS CAIDAS (Ver figura 1)

Tanto para las localizaciones de aprovechamientos que en el futuro serán integrados y con regularización, como para las localizaciones aisladas y a filo de agua, la caída líquida media (H_2) es tomada como igual al 86% de la caída bruta máxima ($H_2 = 0,86 H$).

En el cálculo de la energía, la diferencia entre aprovechamientos a filo de agua y los integrados es tomado en cuenta en el valor de γ antes señalado.

4.1. Centrales con generación a pie de presa:

Se adopta una pérdida de carga en la conducción de 3% y vaciado hasta el nivel medio operativo igual a $1/9H$.

$$\text{Así: } H_2 = (1 - 0,3) \times \left(1 - \frac{1}{9}\right) \times H = 0,86 H; (m)$$

4.2. Centrales con conducciones largas y altas caídas en relación a la altura de la presa.

Se adoptó en este caso externo una pérdida de carga en la conducción del 13% y el vaciado hasta el nivel medio operativo igual a $\frac{1}{100} H$

$$\text{Así: } H_z = (1 - 0,13) \times \left(\frac{99}{100} \right) \times H = 0,86 H; \text{ (m).}$$

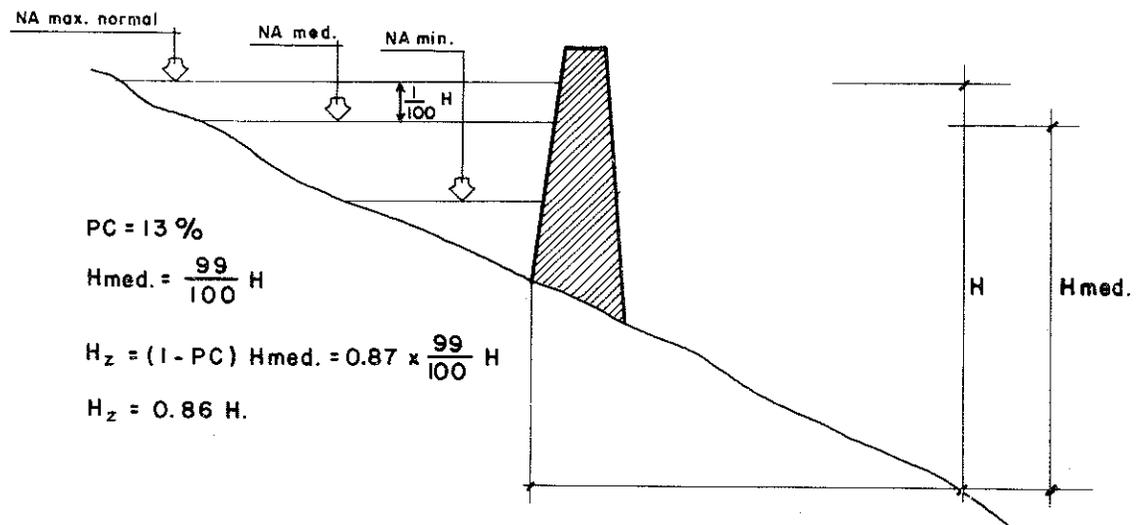
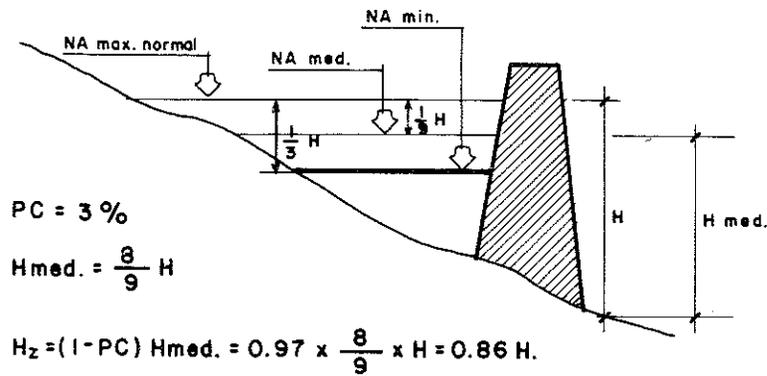


Figura 1

5. ESTIMADO DE LA ENERGIA FIRME, EFIR

La energía firme de cada aprovechamiento expresada en \overline{MW} , es calculada multiplicado por 0.0084 el producto del caudal regularizado por la caída líquida media de acuerdo a la fórmula siguiente:

$$EFIR = 0,0084 \times Q_{REG} \times H_z; (\overline{MW})$$

donde:

Q_{REG} en M^3/s
 H_z en m

El coeficiente 0,0084 engloba el producto de:

$$\left. \begin{array}{l} \text{--- Aceleración de la gravedad} \\ \text{--- Densidad del agua} \\ \text{--- Eficiencia de la turbina (93\%)} \\ \text{--- Eficiencia del generador (97\%)} \\ \text{--- Eficiencia operativa (95\%)} \end{array} \right\} \text{Eficiencia global} = 0.86$$

Usando los valores de QREG del ítem 3 y de H_z del ítem 4, se tiene:

$$EFIR = 0.00722 \times \gamma \times QMLT \times H; [MW]$$

La energía media puede obtenerse suponiendo que la relación entre esta energía y la energía firme, encontrada para los aprovechamientos inventariados en una cuenca, se va a mantener para la totalidad de la misma englobando el potencial estimado y que la misma relación puede ser utilizada para cuencas semejantes.

Cuando no se disponga de esa información, se recomienda adoptar valores en el rango siguiente, para la relación entre energía firme y energía media ($\beta = EFIR / EMED$)

— Para aprovechamientos con regulación e integrados a un sistema $\beta = 0.75$.

— Para aprovechamientos aislados a filo de agua $\beta = 0.45$

B. POTENCIAL HIDROENERGETICO ESTIMADO NO INDIVIDUALIZADO

Se emplea este procedimiento de evaluación en ríos donde no se conoce el perfil deta-

Se emplea este procedimiento de evaluación en ríos donde no se conoce el perfil detallado y en consecuencia no se identificarán aprovechamientos individualizados.

Se toman en consideración aspectos globales tales como:

— Aprovechamientos en cascada a lo largo del río con caídas repetidas uniformemente $\Delta Z = nH; (m)$

— Caudal proporcional al cuadrado de la distancia del primer aprovechamiento aguas arriba $Q_{ri} = L_i^2 Q_r; (m^3/s)$

— Número de aprovechamientos entre $n = 5$ y $n = 25$

— Pérdidas de carga de 5% de la caída bruta

— Vaciado a medio volumen útil, igual a 1/9 de la caída bruta

— Rendimiento global de 80%.

Se llega a la expresión adoptada para la energía firme:

$$EFIR = 0.0025 \times Q_r \times \Delta Z; [MW]$$

donde:

($Q_r, m^3/s$)-es el caudal regularizado en el punto más a nivel de la subcuenca; y

$\Delta Z (m)$ -diferencia de cotas entre la cabecera del río y el punto de nivel considerado, que inclusive puede ser la descarga de ese río, tal como se muestra a continuación (ver figura 2)

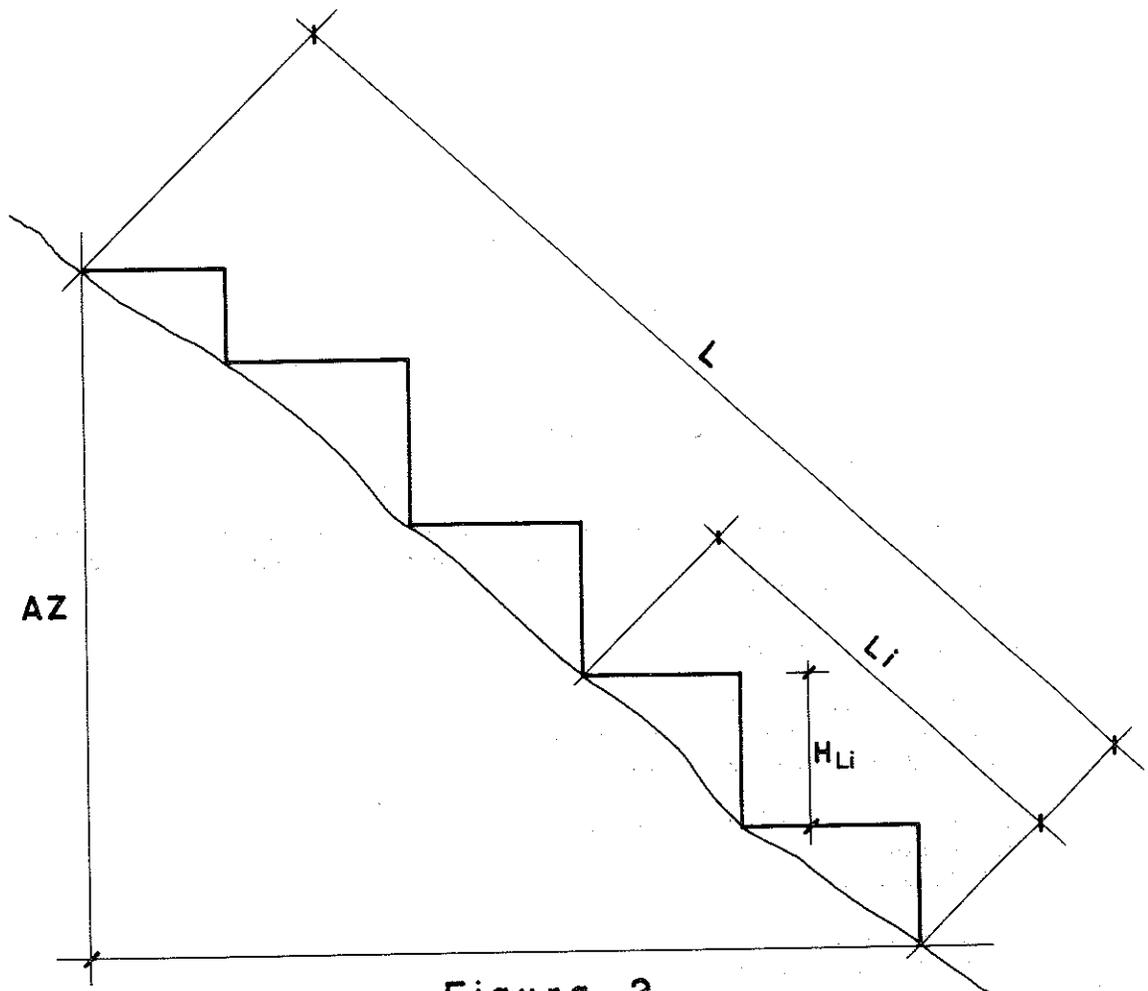


Figura 2

$$\begin{aligned}
 E_f &= 0,008 \quad Q_r \text{ s } H_{L1} + 0,008 \quad Q_{r2} \quad H_{L2} + 0,008 \quad Q_{r3} \quad H_{L3} + \dots = \\
 &= 0,008 \quad H_L (Q_{r1} + Q_{r2} + Q_{r3} + \dots) = \\
 &= 0,008 \quad 0,95 \left(1 - \frac{1}{9}\right) H (Q_{r1} + Q_{r2} + Q_{r3} + \dots) = \\
 &= 0,008 \quad 0,95 \frac{8}{9} \frac{\Delta Z}{9} (Q_{r1} + Q_{r2} + Q_{r3} + \dots) = \\
 &= 0,008 \quad 0,84 \frac{\Delta Z}{n} (Q_{r1} + Q_{r2} + Q_{r3} + \dots) = \\
 &= 0,0067 \quad \frac{\Delta Z}{n} \quad Q_r \left[\frac{L_1^2}{L} + \frac{L_2^2}{L} + \frac{L_3^2}{L} + \dots \right] = \\
 &= 0,0067 \quad \frac{\Delta Z}{n} \quad Q_r \left[\frac{1}{n^2} + \frac{4}{n^2} + \frac{9}{n^2} + \dots \right] = \\
 &= 0,0067 \quad \left[n \times \frac{(n+1)(2n+1)}{6n^3} \right] Q_r \Delta Z
 \end{aligned}$$

Para $5 \leq n \leq 25$
Se obtiene:

$$E_f \cong 0,0025 \quad Q_r \Delta Z; \quad [\overline{MW}]$$

Para expresar el valor de la energía firme en GWh/año, es necesario multiplicar el resultado obtenido en MW por 8,76

$$1 \text{ GWh/año} = 8,76 \times 1 \overline{MW}$$

Del presente documento fue elaborado inicialmente como parte de las actividades preparatorias de la I Reunión del Grupo Asesor de Hidroenergía de OLADE, desarrolladas del 10 al 14 de mayo de 1982 en Quito.

Participaron en su elaboración:

Ing. Enrique Indacochea R. de S.
Coordinador de Transferencia de Tecnología y Jefe del
Programa de Hidroenergía de OLADE.

Ing. Nelson da França Ribeiro dos Anjos
Jefe de la División de Recursos Hídricos
ELETROBRAS/Brasil.

Ing. Jerson Kelman
Departamento de Sistemas
CEPEL/Brasil

Ing. Marcelo Novillo Barreno
Dirección de Planificación
INECEL/Ecuador.

Durante la I Reunión del Grupo Asesor de Hidroenergía realizada en Quito del 17 al 21 de mayo de 1982, el documento fue corregido y perfeccionado, habiendo participado en la misma:

Ing. Manuel Corrales V.
Sub-Jefe de la Planificación Eléctrica
ICE/Costa Rica.

Ing. Antonio Carlos Tati Holtz
Asistente de la Dirección de Planificación e Ingeniería
ELETROBRAS/Brasil.

Ing. Marcelo Osorio
Director de Planificación
INECEL/Ecuador.

Ing. José María de Viana
Director de Planificación de los Recursos Hidráulicos
Ministerio de Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables
Caracas - Venezuela.

Ing. Gustavo Camargo
Coordinador de Inventario Nacional
Caracas - Venezuela.

Ing. Marcelo Novillo
Dirección de Planificación
INECEL - Ecuador.

Ing. Enrique Indacochea R. de S.
Coordinador de Transferencia de Tecnología y Jefe del
Programa de Hidroenergía de OLADE.
(Coordinador del Grupo Asesor).

Ing. Luiz Claudio Magalhaes
Director Técnico
OLADE.

Estuvo a cargo del Ing. Luiz Claudio Magalhaes, Director Técnico de OLADE, el establecimiento de pautas de orientación para el desarrollo de las actividades. Asimismo la instalación y clausura de la I Reunión del Grupo Asesor estuvo a cargo del Dr. Ulises Ramírez Olmos, Secretario Ejecutivo de OLADE.

Este documento fue presentado al I Seminario Latinoamericano de Hidroenergía, realizado en Río de Janeiro - Brasil del 30 de agosto al 5 de septiembre de 1982, en el cual fue estudiado y complementado.

En esta reunión participaron los siguientes profesionales:

BRASIL

Ing. Norma Soares Bond
Centrales Eléctricas Brasileiras S.A.
ELECTROBRAS.

Ing. Verlane Medeiros Wanderley
Jefe de División de Energía
ELECTROBRAS

Ing. Jerson Kelman
Pesquisador
CEPEL.

Ing. Sergio Barbosa de Almeida
Centrales Eléctricas Brasileiras S.A.
ELECTROBRAS.

GUATEMALA

Ing. Orlandino Arteaga Toledo
Jefe Unidad Plan Maestro
INSTITUTO NACIONAL DE ELECTRIFICACION.

ECUADOR

Ing. Marcelo Novillo Barreno
Dirección de Planificación
INECEL.

Econ. Alfredo García
Director de Asuntos Internacionales
MINISTERIO DE RECURSOS NATURALES Y ENERGETICOS.

PERU

Ing. Enrique Crousillat Velasco
Jefe Unidad de Planeamiento de Generación (Plan Maestro)
ELECTROPERU.

VENEZUELA

Ing. José M. de Viana
Director de Planificación de Recursos Hidráulicos
MRNR.

Ing. Ricardo Juan Antonio Riverol
Gerente de Planificación de Generación
EDELCA.

Ing. José Francisco Acosta O.
Gerente de Evaluación y Prospección Hidroeléctrica
CADAPE.

OLADE

Ing. Luiz Claudio Magalhaes
Director Técnico.

Ing. Enrique Indacochea
Coordinador de Transferencia de Tecnología.

Ing. Luis Antonio Suárez
Experto del Programa Regional de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas.