

En el presente estudio se estimaron caudales medios a largo plazo en puntos de ríos definidos construyendo un modelo matemático simple de cada cuenca. Estos modelos utilizan valores medios a largo plazo para precipitación y escorrentía y su variación con parámetros morfométricos seleccionados. Los modelos operan en base a una representación matemática del sistema luvial determinado y así fue necesario definir los límites de los tramos de ríos a considerarse y de sus parámetros topográficos correspondientes. En el caso del Perú se consideraron un total de 6211 puntos donde un número correspondiente de 1424 tramos de río; un total de 80,077 Kms. de longitud de cauce, representándose 111 cuencas separadas. Aunque dichos modelos son conceptualmente simples, proporcionan una base cuantificada para analizar la naturaleza de la cuenca en consideración y el potencial para el desarrollo de los recursos de agua correspondiente.

Los archivos resultantes comprenden lo que ha sido denominado banco de datos de los sistemas fluviales. Confeccionados sobre la base de los mapas topográficos más detallados disponibles, dicha información representa un recurso valioso para los análisis futuros y así como el banco de datos hidrológicos los archivos resultantes están totalmente sujetos a revisiones futuras.

Se han desarrollado programas de aplicación que hacen uso de la información extraída de los bancos de datos mediante adecuados programas de extracción. En resumen es posible dividir los programas de aplicación implementados en las siguientes actividades :

- manejo de los datos básicos.
- reconstitución de secuencias de descargas mensuales.
- reconstitución de secuencias de precipitación anual.
- deducción de relaciones hidrológicas/morfométricas usando regresión polinomial.
- modelamiento de cuencas para la estimación de caudales promedios y cálculo del potencial hidroeléctrico teórico.
- análisis estadístico para la estimación de crecidas.
- determinación de curvas adimensionales de entregas de reservorios usando análisis de secuencias y simulación.
- análisis multivariado de parámetros hidrológicos.

Así, se puede apreciar que los programas han sido aplicados en todas las actividades realizadas.

Los archivos de resultados están formados también por los mismos programas de aplicación y normalmente contendrán una versión condensada de la salida en formato de la impresora. Para economizar espacio de almacenamiento en disco a menudo es preferible que dichos archivos sean almacenados en cinta magnética, para su presentación posterior empleando un programa de tabulación. Estos programas se utilizan para la tabulación de datos básicos o generados e incluyen rutinas para el cálculo de parámetros estadísticos simples. Dichas salidas facilitan la verificación de datos y también pueden ser utilizados con fines de publicación o divulgación.

## 2.5.2 Procedimientos de Cómputo Implementado para la Evaluación de Proyectos Hidroeléctricos

Desde el punto de vista de cómputo electrónico se han efectuado las siguientes operaciones :

- Creación del Banco de Datos de los proyectos hidroeléctricos. Para la creación de dicho Banco de Datos se utiliza el programa interactivo de entrada de datos INPUT, el cual es autodocumentado.
- Recuperación de información hidrológica y de ingeniería de recursos hidráulicos, necesario para la definición, prediseño y evaluación de los proyectos hidroeléctricos.
- Complementación y actualización del banco de datos de los proyectos hidroeléctricos. Esta actividad se ha llevado a cabo mediante una serie de programas interactivos que efectúan lo siguiente :
  - El cálculo del factor de correlación de costos de túneles en función de las longitudes sin ventanas de acceso.
  - La reactualización de las cotas de descarga de las casas de máquinas.
  - La especificación de la ubicación de las tierras de inundación.
  - La especificación de los factores geológicos y de materiales de construcción.
  - La especificación de los costos especiales y beneficios secundarios.
  - Dar resumen parcial o total del número de proyectos y número de alternativas.
  - Reactualizar los datos de líneas de transmisión.
  - Incluir datos de reservorios múltiples de regulación.
- Dimensionamiento, cálculo de la energía y potencia, cálculo de los costos y evaluación técnico-económica. Este proceso se efectúa para cada proyecto y cada alternativa. Para cada proyecto es necesario correr el Programa EVAL. Con la ayuda de un programa monitor se puede procesar con el Programa EVAL, en forma automática, sin supervisión alguna, desde el caso de un proyecto individual hasta los proyectos definidos para todo el país, un sistema hidroeléctrico, cuenca o un afluente.
- Optimización de cadenas de desarrollo alternativo de las cuencas. Para la determinación de la cadena óptima en una cuenca es necesario correr el programa CADENAS teniendo cuidado de hacerlo en sentido del flujo natural del agua, para luego determinar la cadena óptima en una cuenca y finalmente la red ramificada de cadenas óptimas en un sistema hidroeléctrico.

De manera similar que en el caso del procesamiento del programa EVAL el programa CADENAS se corre a través de un monitor que puede analizar las cadenas definidas para todo el país, sistema hidroeléctrico, cuenca o afluente, indistintamente.

- Preparación de la base de decisión para la selección de los diez mejores proyectos. Que se realiza mediante programas que clasifican y ordenan los proyectos de acuerdo a varias condiciones o parámetros.
- Generación de informes para la documentación intermedia y final. Para una mejor presentación del informe, y un eficaz uso del computador se preparó una base de datos seleccionando las cuencas que deben ir en cada Volumen del Informe.

### 3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 ACTUALIZACION PERIODICA DEL PROYECTO DE EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO

Durante la ejecución del Proyecto se dió especial énfasis en establecer una metodología que permitiera una fácil reactualización de todas las fases del estudio.

El establecimiento de Bancos de Datos hidrológicos y de proyectos, junto con los programas de aplicación respectivos permitirán que a medida que aparezca nueva información, esta sea incluida fácilmente en el respectivo Banco de Datos y se efectúen las mejoras y profundizaciones requeridas.

La filosofía general ha sido establecer programas interactivos que permitan un diálogo hombre-máquina, y lograr de esta manera que la computadora efectúe el trabajo rutinario, dejando al ingeniero el trabajo de concepción.

En las secciones pertinentes del estudio (Secciones 3.4 y 5.2.13 del Volumen II) se describen más detalladamente los sistemas de cómputo implementados. En la presente sección se desea enfatizar los siguientes puntos relacionados con las actividades que se deben continuar para obtener una metodología mejorada para la periódica reactualización del Proyecto.

- Un perfeccionamiento de la recolección de la información básica y una estrecha coordinación de las diferentes entidades de los sectores interesados en el uso de los recursos de agua, es deseable y se deben agotar los esfuerzos para lograr una mayor agilidad en la diseminación de la nueva información.
- El sistema de cómputo DATA GENERAL donado por el Gobierno Alemán corresponde a los requerimientos iniciales del Proyecto. Sin embargo es deseable una ampliación del equipamiento donado con miras a lograr un trabajo más eficiente. Se sugiere como requerimiento mínimo se amplíe el número de terminales de video, así como la memoria central con el objetivo de dar mayor acceso a múltiples usuarios. En una segunda fase se podría pensar un mejoramiento del equipo con el objetivo de elevar la performance de la unidad central de procesamiento, agregándole dispositivos de características más modernas.
- Los programas desarrollados tienen ciertas posibilidades de ser mejorados, tanto en los algoritmos de cálculo como en las técnicas de programación. Se recomienda que se de atención a este aspecto, lo que redundará directamente en la actualización del Proyecto.

En las siguientes secciones se dan recomendaciones específicas para cada una de las actividades principales.

#### 3.2 MEJORA DE LA INFORMACION BASICA

##### 3.2.1 Topografía

Desafortunadamente los sitios con recursos hidráulicos más atractivos de la República se encuentran concentrados en zonas con cartografía escasa o inex -

istente. La falta de topografía es un impedimento grave en el caso que se vea por conveniente una puesta en operación en corto plazo de algunos de los proyectos.

En general la ejecución de cartas topográficas a escalas necesarias para los estudios de prefactibilidad o factibilidad (por lo menos 1:1000) requiere 1 a 2 años en función de la existencia de aerofotos, puntos de control terrestre, caminos de acceso y finalmente, de las condiciones climáticas que pueden constituir una limitación seria en la ejecución de los trabajos.

En general se recomienda una coordinación con el Instituto Geográfico Militar, (IGM), Servicio Aerofotográfico Nacional (SAN), Oficina de Catastro Rural del Ministerio de Agricultura y Electoperú INIE, y que se de adecuada priorización en la ejecución de las labores de cartografía en aquellos tramos de ríos que son de mayor interés.

Estos tramos corresponden en general a aquellas zonas para las cuales se ha utilizado un método topográfico simplificado y que está descrito en la sección 5.2.2.2 del Volumen II.

De estos se consideran de mayor importancia la ejecución de las cartas topográficas 1:25,000 de los ríos: Tambo (aguas arriba de Atalaya), Ene y Apurímac hasta emplamar con la carta nacional existente.

En la Tabla 3 - 1 se puede observar los números de hojas que deberían ejecutarse.

Según el actual plan de actividades el 01-01-80 empezará el estudio de pre inversión de los mejores 4 proyectos que resulten prioritarios. Sería conveniente que a la fecha arriba indicada se complete gran parte de la labor de Cartografía.

Si resultase imposible la ejecución del tramo completo Tambo Ene Apurímac se recomienda por lo menos efectuar un levantamiento de detalle para las zonas pertinentes del proyecto ENE 40 en el Pongo de Paqitzapango que parece ser un proyecto adecuado para ponerse en marcha hacia el año 1993 y después.

### 3.2.2 Geología

El actual levantamiento geológico sistemático, que ejecuta el INGEMMET, no cubre la totalidad del Territorio Nacional. Este hecho ha incidido en la precisión de la evaluación geotécnica de muchos esquemas de aprovechamiento hidroeléctrico, sobre todo en los ubicados en la vertiente oriental. Otros tipos de relevamientos geológicos son efectuados por entidades estatales y particulares. Estos trabajos son a escala diversa y satisfacen fines específicos. El acceso a esta información es dificultoso, y en algunos casos, poco aplicables para fines del Proyecto por tratarse de estudios muy especializados.

Por las razones expuestas, sería recomendable que en el tiempo disponible, se efectuen estudios geológicos confirmatorios de los proyectos más atractivos, dando prioridad a los esquemas que han sido evaluados con limitada información geológica.

TABLA N° 3 - 1

Hojas a 1:100,000 de la Carta Nacional que se recomienda ejecutar con prioridad

Nº	HOJA	RIO	PROYECTOS
1	7 - h	Santiago	
2	8 - h	Santiago	
3	9 - h	Marañón	MARA 570
4	10 - g	Marañón	MARA 550, 560
5	10 - h	Marañón	CHINCHIPE
6	11 - g	Marañón	MARA 520, 530, 540
7	12 - g	Utcubamba	UTC 60, 70
8	12 - h	Utcubamba	UTC 50
9	13 - h	Utcubamba	UTC 30
10	13 - g	Marañón	MARA 460
11	13 - j	Mayo	MAYO 50, 60, 65
12	13 - l	Huallaga	HUAL 210 PONGO DE AGUIRRE
13	14 - k	Mayo	MAYO 70
14	15 - i	Huallaga	HUAL 180, HUABA 20, 30, 40, JEPE 10
15	16 - i	Huallaga	HUAL 170
16	20 - k	Huallaga	HUAL 70
17	20 - l	Huallaga Pozuzo	HUAL 80, 90, 100, 110 POZ 40, POZ 50
18	21 - l	Pozuzo	POZ 30
19	22 - m	Perené	PER 10, 20, 30, 40
20	22 - n	Perené	PER 50, 60, 70
21	22 - n	Perené	
22	22 - o	Tambo	
23	23 - ñ	Perené-Ene	ENE 50, TAM 10, 20, 30
24	23 - o	Tambo	TAM 40, 50, 60
25	24 - ñ	Ene	ENE 40, EMBALSE ENE 40
26	24 - o	Ene	ENE 20, EMBALSE ENE 40
27	25 - o	Ene-Apurímac	ENE 10
28	25 - p	Urubamba	EMBALSE DE URUB 320
29	25 - q	Urubamba Paucart	URUB 320 PAUC 290, 300
30	25 - r	Paucartambo	PAUC 260, 270, 280
31	26 - r	Urubamba	URUB 260, 280, 290
32	26 - o	Apurímac	APUR 800, 810, 765
33	27 - o	Apurímac	EMBALSES
34	27 - p	Apurímac	PACHA 85,90 - APUR 717,729, 730, 735,740
35	27 - q	Apurímac	APUR 680, 690
36	28 - q	Apurímac	APUR 670, 660, 650
37	27 - u	Marcapata	MARCA 40, 50, 60, 70, 100
38	27 - v	Inambari	INA 90
39	28 - v	Inambari	INA 88
40	28 - x	Inambari	INA 85
41	28 - x	Inambari	INA 65
42	29 - h	Inambari	INA 30, 40

Otra tarea de singular importancia, y que el INIE en forma restringida ha comenzado a realizar, son los estudios de sismología que en las zonas del Bajo Marañón se realizan bajo contrato con el Instituto Geofísico del Perú. Es deseable que tales estudios se amplíen a las zonas que ofrecen mayor interés, especialmente en las zonas de los ríos Ene, Tambo y Perené.

### 3.2.3 Hidrología

En términos de los promedios vigentes, la disponibilidad actual de datos hidrológicos en el Perú debe de considerarse como muy pobre, debido a las siguientes razones: redes inadecuadas de medida, tanto de estaciones base como secundarias; la existencia de grandes y frecuentes lagunas en los registros; la incertidumbre de muchas estaciones, en cuanto a sus características físicas y la precisión y homogeneidad de los registros; la pobre coordinación entre las entidades recolectoras y el lento progreso hacia la comparación, verificación y divulgación de la información disponible. También hay que notar la escasez crítica de medidas de sedimentos, teniendo en cuenta que las cargas de sólidos pueden afectar gravemente los proyectos hidroeléctricos.

La gran mayoría de los instrumentos hidrométricos y pluviométricos instalados en Perú son operados manualmente por observadores que toman lecturas cada cierto intervalo de tiempo fijo en vez de utilizar instrumentos de registro automático más caros y complejos. Se deposita entonces, mucha confianza en la precisión e integridad de los observadores, y se limita grandemente la toma de valores de corta duración (horarios), los cuales son necesarios para investigaciones hidrológicas más detalladas, tales como son el estudio de los hidrogramas de avenidas. El paso de grandes avenidas obliga a efectuar la periódica reubicación de las estaciones de aforo y a menudo se requiere un programa de calibración continua debido a los cambios en la sección transversal del lecho de río. Tales operaciones absorben considerables recursos, pero éstas son esenciales para mantener la precisión de las lecturas.

Las conclusiones anteriores deben de considerarse tanto en términos del tamaño físico del país como de la variedad de condiciones climáticas encontradas. Teniendo en cuenta la inaccesibilidad de algunos sitios deseables para los controles, no se puede avizorar la total subsanación de la situación presente dadas las actuales condiciones económicas.

Las recomendaciones detalladas para la ampliación de la red hidrométrica existente escapan a los alcances del presente estudio y se dan solamente requerimientos específicos con referencia a los diez proyectos preliminarmente seleccionados en esta fase. Aunque puede existir un análisis completo de los aspectos meteorológicos, topográficos y otros factores en la selección de emplazamientos de estaciones, la prospección de campo usualmente evidencia un número de consideraciones prácticas. La instalación y operación de equipo automático de medición en localidades relativamente inaccesibles es extremadamente cara y las estaciones deben ser normalmente localizadas donde residentes locales puedan actuar de observadores. En el caso del Perú, cualquier análisis de la densidad deseable de la red se complica por la extremadamente amplia gama de condiciones climáticas encontradas y la frecuente ocurrencia de zonas con microclimas.

La consecución de fondos para el financiamiento de la recolección de datos básicos adecuados es particularmente dificultosa en los países en desarrollo. Las siguientes razones son citadas por Kohler\*.

- Los requerimientos son de naturaleza permanente.
- La compilación de datos posee poco atractivo comparada con tareas completas de orden superior.
- Durante situaciones de emergencia nacional existe una tendencia a tratar los programas de recolección de datos como no esenciales.
- Los datos básicos no pueden ser presupuestados como parte de los proyectos conocidos debido al desfase de tiempo dentro de la secuencia de eventos.
- El valor económico de datos básicos adecuados en el diseño de proyectos de recursos de agua frecuentemente no es entendido por aquellos responsables de la distribución de fondos.

Las consecuencias económicas de no tener datos básicos adecuados para la definición de proyectos se evidencia en los costosos resultados del sobre o subdimensionamiento. Sin embargo, aparte de los países altamente desarrollados, existe poca esperanza que se considere la existencia de los organismos de recolección de datos básicos justificada sobre una base costo/beneficio.

Puede también anotarse que aún dados los recientes avances en las técnicas de modelación matemática para la reconstitución y generación de registros, los resultados obtenidos representan un sustituto pobre para valores apropiadamente medidos.

Dentro del curso del presente estudio, se ha hecho uso limitado de la enorme cantidad de información obtenida mediante el uso de los satélites artificiales y de varias formas de fotografía a radar. Un ejemplo grueso es el mapa ecológico que ha sido preparado por ONERN y que se usó para la estimación de la escorrentía en la Región de la Selva. Dada la imposibilidad de establecer en el Perú dentro de un futuro predecible una adecuada red superficial de estaciones hidrométricas, debe tal vez darse consideración a como se podría explotar óptimamente estas nuevas fuentes de información.

Se ha hecho gran incidencia sobre el valor de los bancos de datos establecidos y a los programas de cómputo implementados. Estos no se relacionan únicamente con su utilización en el presente estudio sino también con investigaciones futuras. Debido a su naturaleza, los bancos de datos y análisis hidrológicos tienen una diversidad de aplicaciones en todos los sectores interesados en el aprovechamiento de aguas y su valor de ninguna manera se restringe a investigaciones de desarrollos hidroeléctricos.

Es evidente que los beneficios que se podrían obtener dependerán en gran

---

\* Kohler M.A. - Design of Hydrological Networks, WMO Technical Note N°25, Geneva 1970

medida del grado en el cual se incorporen datos nuevos y mejorados y se espera que los esfuerzos realizados en el establecimiento de la base de datos actual, alentará que en el futuro los organismos pertinentes remitan su información a un centro de procesamiento, lo que indudablemente beneficiará a todos ellos. La relativa escasez de datos hidrológicos básicos hace imperativo que se haga el mejor uso de los que se disponen y que la nueva información sea procesada y se ponga en disposición tan pronto como sea factible. Se ha establecido una base de datos fundamental que puede ser refinada exitosamente; los programas analíticos instalados aseguran que es posible evaluar eficientemente y precisamente cualquier nueva información. Durante el presente estudio no fue posible realizar investigaciones detalladas relativas a la confiabilidad de registros de estaciones individuales. Dicho trabajo se requiere urgentemente y es casi seguro que éste implicará evaluaciones de campo que demandarán mucho tiempo. Si un programa tal puede establecerse se podrán obtener grandes beneficios de los modelos de cuencas elaboradas y para el mejor entendimiento de las diversas condiciones existentes en el país.

### 3.3 ORGANIZACION FUTURA PARA EL PLAN MAESTRO

#### 3.3.1 Consideraciones Previas

Un análisis de la organización futura debería hacerse bajo el siguiente marco referencial:

- Se considera que en general el actual grupo de personal está en capacidad de continuar las tareas de la evaluación del potencial hidroeléctrico nacional. Sin embargo, el Proyecto debería asumir mayores responsabilidades con la perspectiva de formular el Plan Maestro. Dichas tareas están relacionadas con los estudios de mercado y el catálogo de centrales térmicas así como todo lo relacionado con la optimización del Sistema Eléctrico Nacional, por lo que se requeriría una ampliación de personal de las especialidades de ingeniería mecánica y eléctrica. Igualmente es necesario afianzar la actual estructura de personal, especialmente aquel de hidrología, siendo deseable que tengan experiencia suficiente.
- Se reconoce los esfuerzos y el apoyo que en todo momento las autoridades del MEM han brindado al Proyecto, cuyo constante interés ha permitido culminar con éxito las labores encomendadas. Sin embargo, se considera que la estructura administrativa del Ministerio no es lo suficientemente ágil y flexible para los requerimientos de realizar estudios. Por consiguiente debería buscarse mecanismos adecuados para dar mayor eficiencia a las labores realizadas.
- Otro aspecto de singular importancia que se debería contemplar en toda su extensión, es la rotación de personal que ha frenado el desarrollo armonioso del proyecto. Las soluciones a este problema evidentemente escapan de los alcances del proyecto, siendo el objetivo lograr la conformación de un grupo permanente a cargo de la formulación y reactualización periódica del Plan Maestro. Se sugiere como soluciones para este problema:
  - a) Un mejoramiento del nivel de remuneraciones en concordancia con la responsabilidad de las labores realizadas.
  - b) La cuidadosa selección del personal asignado al proyecto.



- c) Facilitar el perfeccionamiento del personal a través de programas a corto plazo, lo que se podría garantizar solamente con un incremento del número de plazas.
- Dada la importancia de las labores realizadas por el Proyecto, y de las implicancias sectoriales e intersectoriales de sus actividades, sería conveniente que el mismo sea una dependencia de las más altas autoridades del sector eléctrico, con el objeto que las decisiones formuladas tengan el más amplio respaldo.

### 3.3.2 Organización Futura

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, se recomienda el siguiente personal:

#### 3.3.2.1 Hidrología

El mantenimiento del Banco de Datos así como el mejoramiento de los modelos matemáticos desarrollados y la sistemática comprobación de la homogeneidad de la información hidrológica requiere la ampliación del personal actual de hidrólogos asignados al Proyecto. Se considera muy conveniente la ampliación de dos vacantes, con personal que tenga experiencia en programación científica y adecuados conocimientos de los métodos modernos de Hidrología. En total se requerirían 4 personas.

#### 3.3.2.2 Ingeniería Civil

Existe mucho campo de actividad en el afinamiento y mejoras de los esquemas de los Proyectos Hidroeléctricos, especialmente si se desea llevar algunos proyectos a etapas más avanzadas de estudios. Igualmente el mantenimiento y mejora del Banco de Datos es una tarea delicada y requerirá de personal especializado. Se considera que un equipo compuesto de 5 ingenieros de Diseño, con experiencia y con conocimientos de programación pueden adecuadamente realizar estas tareas.

#### 3.3.2.3 Geología

Se considera que el grupo de geólogos debe ampliarse para lograr una profundización de los aspectos geológicos de los proyectos. Para esta tarea es altamente deseable la presencia de las más experimentados geólogos.

#### 3.3.2.4 Redes Eléctricas

El planeamiento y optimización del Sistema Eléctrico, teniendo en cuenta la accidentada geografía del territorio nacional, requiere un cuidadoso análisis. Si a esta situación se agrega la riqueza del potencial hidroeléctrico, resulta que es necesario realizar labores muy complejas, que requerirán de personal altamente calificado. Se considera que un equipo de 5 personas podría adecuadamente realizar las tareas requeridas.

#### 3.3.2.5 Organigrama

En la Figura 3 - 1 se indica esquemáticamente el organigrama requerido. Se considera que además del personal arriba indicado se requiere un grupo para los problemas de la proyección de la demanda y personal para el centro del cómputo científico. Además se requiere de personal de apoyo, especialmente administrativo y logístico para un mejor desenvolvimiento de las labores del proyecto.

EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL

ORGANIGRAMA PROPUESTO  
Organization Chart Proposed

Fig: 3-1

