

- Comparación técnica y económica de todos los proyectos y sus variantes de capacidad instalada, ordenamiento y selección de los desarrollos más atractivos.

5.2.1 Procedimiento General

Debido al gran número de proyectos potenciales y datos básicos a ser analizados se ha hecho uso intensivo de programas de cómputo en todas las fases del estudio potencial técnico hidroeléctrico. Las principales actividades se muestran en la Figura 5-1 junto con los programas principales o programas auxiliares usados y las respectivas interrelaciones y flujos de información.

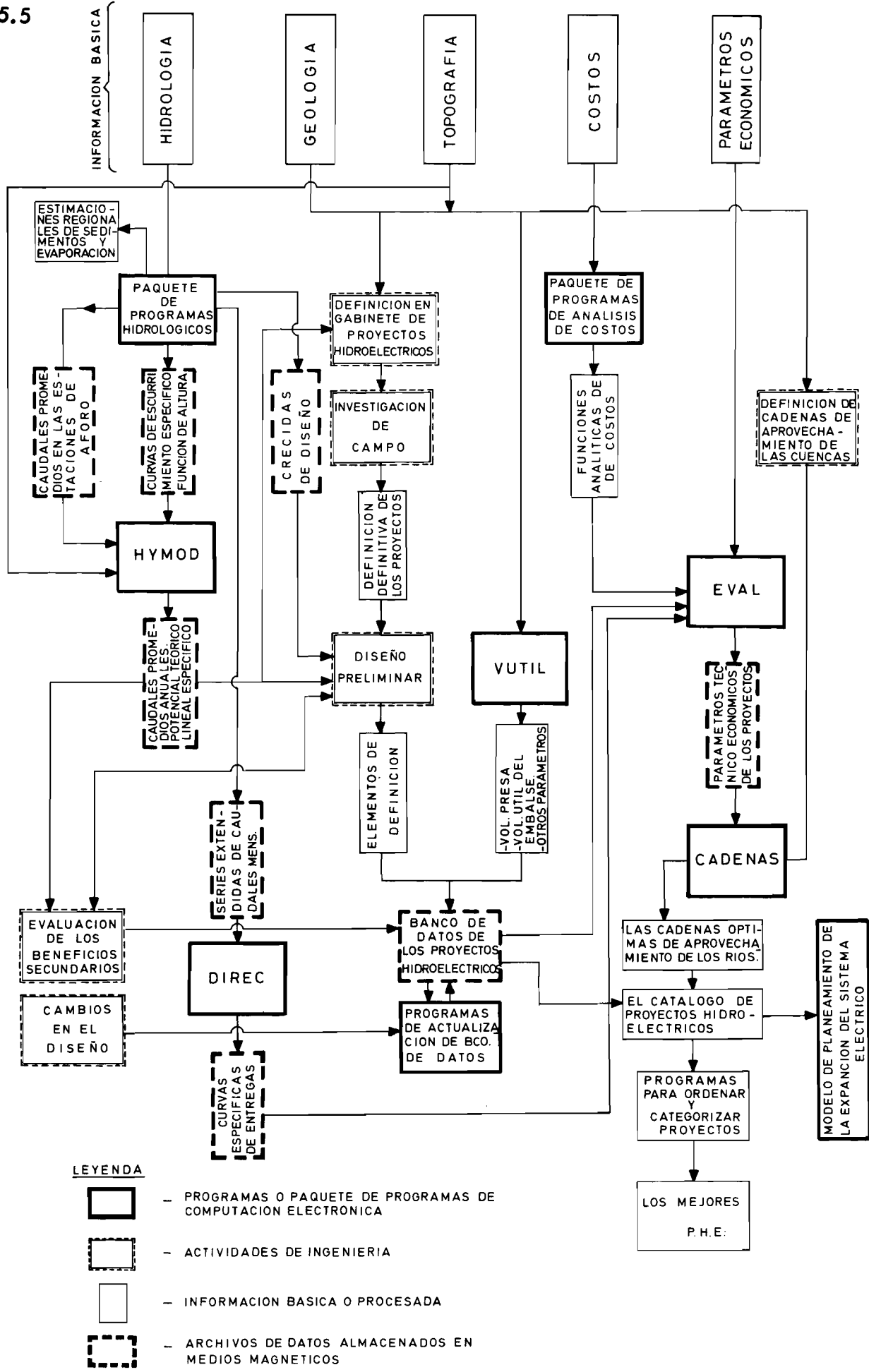
Los estudios hidrológicos realizados para determinar el potencial teórico (Sección 4) dan como resultado la siguiente información para la definición de proyectos:

- Potencial hidroeléctrico teórico lineal para cada río definido (programa HYMOD)
- Caudal medio multianual estimado en cada punto definido (programa HYMOD)
- Secuencias extendidas de caudales para todas las estaciones de aforo que tengan datos históricos de suficiente longitud y confiabilidad.

Se hizo análisis de todos los datos disponibles de caudales diarios para obtener series de valores máximos anuales en cada estación. Esta información fue analizada para producir curvas envolventes regionales con el objeto de predecir probables caudales de avenida para un intervalo de recurrencia dado. Fueron hechos también análisis regionales para establecer estimaciones de primer orden del volumen de sedimentos y las pérdidas por evaporación en superficies libres.

Se analizaron secuencias seleccionadas de caudales extendidos usando el programa de cómputo DIREC, el cual aplica análisis del periodo crítico y simulación múltiple para establecer curvas adimensionales de entrega de reservorios como una función del almacenamiento activo y de la capacidad máxima de entrega. Estas curvas son utilizadas por el programa de cómputo EVAL para estimar los parámetros de capacidad y energía de una determinada configuración de proyectos.

Fueron definidos en gabinete proyectos posibles, usando los datos básicos de topografía y geología, y la información hidrológica obtenida como resultado de la evaluación del potencial teórico dando como resultado planes esquemáticos. Se realizaron investigaciones de campo usando transporte terrestre y helicóptero con el objeto de evaluar las condiciones actuales de emplazamientos y también para identificar proyectos en aquellas regiones donde se disponía de insuficiente información topográfica. Basado en los resultados tanto del trabajo de gabinete y campo se hicieron diseños preliminares y éstos fueron codificados para su inclusión en el Banco de Datos de proyectos hidroeléctricos. Este banco de datos contiene toda la información necesaria para definir un determinado proyecto incluyendo los parámetros hidrológicos y los resultados codificados de la investigación geológica. Con el objeto de determinar el volumen de almacenamiento asociado con un perfil de valle determinado y una altura propuesta de presa se ha hecho uso del programa VUTIL.



EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL

FLUJO DE INFORMACION Y LOGICA DE EJECUCION DE LA DEFINICION Y EVALUACION DE PROYECTOS HIDROELECTRICO

Fig: 4.4

Fueron usados una serie de programas de regresión múltiple y polinómica para analizar datos de costos con el objeto de establecer curvas generales para cada componente individual de proyectos. Las relaciones resultantes entre costo, unidades y dimensiones se incorporaron en el programa EVAL.

El programa de cómputo EVAL se usó para el dimensionamiento y costeo de componentes de proyectos, estimación de los parámetros de energía y capacidad y el cálculo de los factores técnico-económico de comparación. Los datos de entrada son archivos que contienen todos los datos que definen un determinado proyecto y las curvas adicionales de entrega de reservorios obtenidas del programa DIREC.

Los datos de entrada para el programa CADENAS, consiste de todas las cadenas posibles de desarrollo que se excluyan mutuamente y los parámetros técnico-económicos para cada proyecto componente tal como fueron calculados en el programa EVAL. Después de la selección de la cadena óptima de desarrollo para cada cuenca o grupos de cuencas interconectadas se analizaron un rango de alternativas de capacidad instalada para cada proyecto incluido en la cadena, con el objeto de producir el catálogo final de desarrollo hidroeléctrico.

Estos proyectos y sus alternativas fueron ordenados y clasificados como una ayuda para la selección de aquellos 10 proyectos que serán sujetos a investigación más detallada.

5.2.2 Topografía

5.2.2.1 Uso de la Información Existente

La información topográfica que se dispone (Sección 3.2) se ha utilizado en las diferentes etapas del estudio de Evaluación. El análisis de las características morfométricas de todos los ríos del país se ha hecho sobre la base de cartas a escala de 1 : 100,000 del IGM y delineación planimétrica de el SLAR. La selección inicial de emplazamientos de presas en zonas de Costa, Sierra y Ceja de Selva se hizo en cartas a escalas 1 : 100,000 y 1 : 25,000 diseñándose esquemas hidroeléctricos que han servido de base en los trabajos de campo, utilizándose cuidadosamente esta cartografía en la ubicación de los esquemas preseleccionados, comprobando su validez, modificando y aún descartandolas por razones técnicas. Los programas para este trabajo de campo se determinaron en el mapa 1 : 1'000,000 complementándose con las cartas de delineación planimétrica, fotomapas, mosaicos de radar, cartas de 1 : 200,000.

Toda la información utilizada en la determinación de los esquemas hidroeléctricos fue uniformizada a escala 1 : 100,000 siendo presentada en los planos con un intervalo de curva cada 200 metros, obteniéndose detalles en su mayoría en base de las cartas 1 : 25,000.

5.2.2.2 Metodología Utilizada para Zonas sin Cartografía

En la Ceja de Selva se tiene exclusivamente cartas de SLAR a escalas 1 : 100,000 e impresiones verticales pancromáticas obtenidas del satélite ERTS-2.

Para fines de evaluación de los potenciales hidroeléctricos, en esta región no se cuenta con levantamientos fotogramétricos ni topográficos por lo que se ha desarrollado un método aproximado para obtener curvas de nivel.

El método consiste en localizar en las diferentes cartas, puntos para los cuales se ha recopilado y/o deducido cotas empleando para el efecto aéreo - perfilometría (Radar Vertical) Hunting Survey (1960); Nivelaciones Barométricas con ajustes de perfiles de valle levantados por INIE (Huallaga, Ene y Tambo); puntos de control y nivelaciones de la zona del oleoducto (Petróleos del Perú); Nivelaciones Barométricas en el Marañón y Santiago (INIE); Nivelaciones altimétricas realizadas por personal del Proyecto en las campañas de campo; y Bandas altimétricas de SLAR - localizables sólo en puntos reconocibles.

Las cotas obtenidas permiten obtener el perfil longitudinal y transversal del valle, cuya aproximación depende de la densidad de los puntos obtenidos. Luego se deduce por interpolación en las zonas de igual pendiente la ubicación de las curvas de nivel de acuerdo al intervalo deseado. A continuación visualmente se prolonga las curvas de acuerdo al relieve o configuración que se observa en las fotografías de SLAR.

Las curvas en el fondo del valle son ajustadas de acuerdo a los perfiles de valle tomados durante el trabajo de campo, realizado tanto en este Proyecto, como el hecho por personal de INIE para sus diversos proyectos. Este ajuste permitió mejorar la aproximación para el cálculo del volumen de embalse.

En el caso de zonas con sombras en las impresiones de SLAR, el trabajo se realiza en las hojas de ERTS.

Con este método se ha trabajado un total de 2,395 Kms. de longitud en los ríos con área aproximada de 23,950 Km². En la Tabla 5-1 y Fig. 5-2 se puede observar en detalle las zonas sustituidas mediante esta metodología.

5.2.3 Geología

5.2.3.1 Generalidades

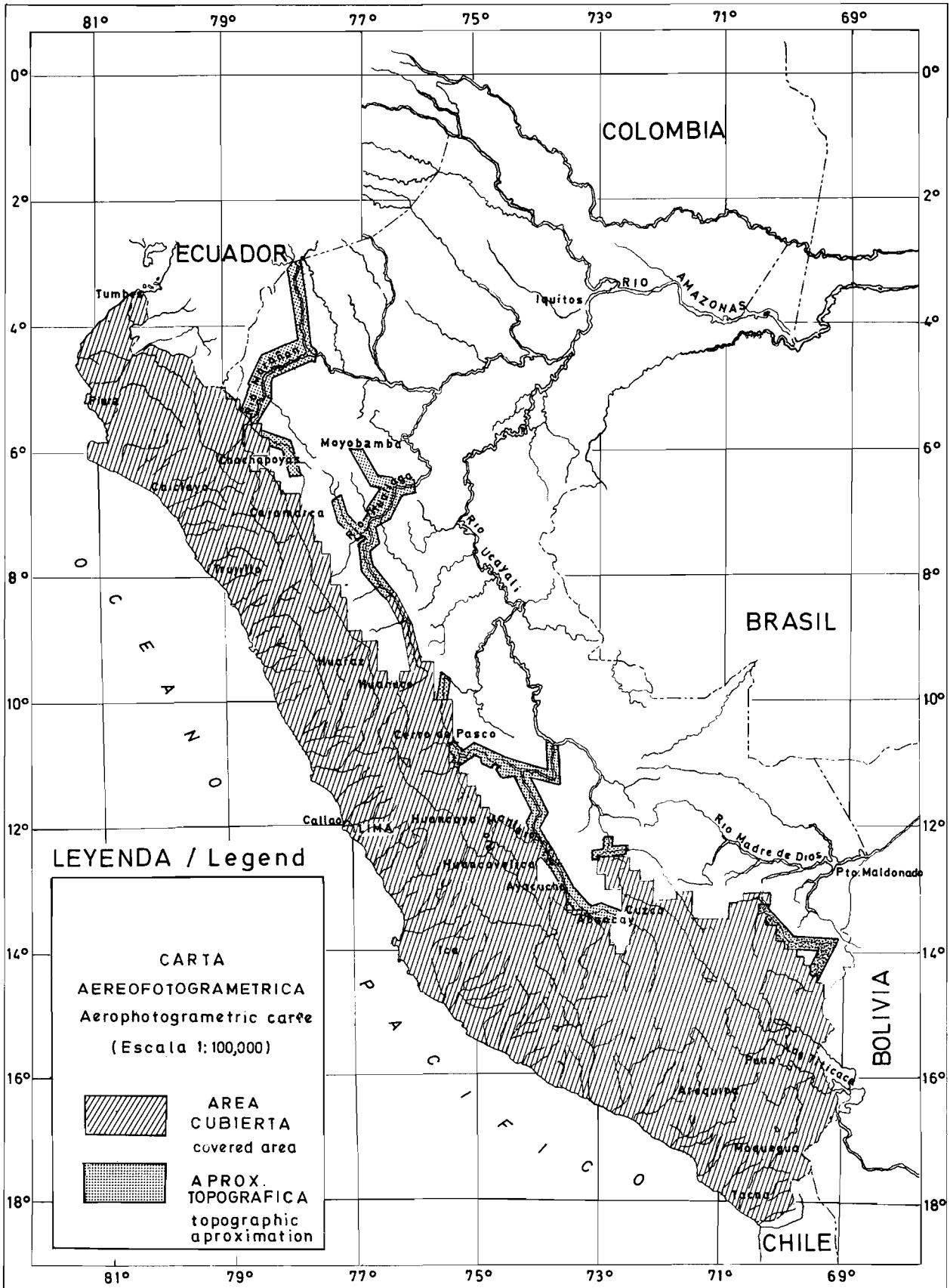
La metodología de los trabajos geológicos realizados en la definición técnica de proyectos hidroeléctricos fue desarrollada inicialmente en el Plan Maestro de Guatemala y posteriormente afinada para este estudio.

El procesamiento de los datos geotécnicos se realiza mediante el programa EVAL, desarrollado para un rápida evaluación de un gran número de proyectos hidroeléctricos y sus configuraciones alternativas. En el programa EVAL intervienen factores geológicos en ocho elementos de proyectos, de un total de quince incluidos. Estos 8 elementos son :

- a) Presas y Bocatomas
- b) Materiales de Construcción
- c) Vertederos
- d) Embalses

TABLA 5 - 1RELACION DE TRAMOS DE RIO TRABAJADOS CONAPROXIMACION TOPOGRAFICA

Inambari	200 Km.
Marcapata	40 Km.
Urubamba	205 Km.
Paucartambo	205 Km.
Apurímac	230 Km.
Utcubamba	85 Km.
Marañón	310 Km.
Santiago	220 Km.
Huallaga	270 Km.
Huallabamba	95 Km.
Mayo	120 Km.
Pozuzo	35 Km.
Perené	155 Km.
Ene	140 Km.
Tambo	140 Km.
Yanatili	70 Km.
TOTAL	2 520 Km.



EVALUACION DEL
 POTENCIAL
 HIDROELECTRICO
 NACIONAL

CARTOGRAFIA APROXIMADA
 Approximate Cartography

Fig. 5-2

- e) Obras Subterráneas (túnel de desvío, túnel de aducción, pozo blindado. Casa de máquinas en Caverna, Chimenea de equilibrio).
- f) Tuberías forzadas
- g) Canales
- h) Desarenadores

La evaluación geotécnica de proyectos hidroeléctricos basándose en un examen solamente visual de afloramientos será siempre un método problemático y susceptible de tener errores inevitables. Sin embargo, el objetivo de investigar un gran número de proyectos en un plazo fijo y muchos de ellos con dificultades de acceso, no permite normalmente exámenes más detallados.

Para esta tarea debió adoptarse una simplificación y esquematización del trabajo geológico, para que los resultados de las investigaciones, de campo y gabinete puedan ser cuantificadas y faciliten el análisis de datos por computadora.

Por esta razón la evaluación geotécnica de los ocho elementos citados para ser introducidos en el programa EVAL contempla una calificación en los siguientes rangos:

Muy Buena	1
Buena	2
Aceptable	3
No aceptable	4

Los tres primeros rangos indican emplazamiento donde es factible ejecutar un elemento y la nota 4 para aquellas ubicaciones que deben ser descartadas por razones geotécnicas.

El trabajo geológico consiste de tres fases:

- Recopilación de toda la información geológica existente de las zonas de proyectos y preparación de las campañas de campo.
- Inspección geológica de los diferentes esquemas de proyectos en el campo, por vía terrestre en zonas de buena accesibilidad o mediante un helicóptero en áreas inaccesibles.
- Evaluación de los resultados de campo en gabinete, elaboración de informes geológicos de las cuencas y descripción geotécnica a mayor detalle de los proyectos que conforman cadenas óptimas.

5.2.3.2 Formularios de Geología

Debido a la necesidad de esquematizar los trabajos de campo de tal manera que permita la transformación de las condiciones geotécnicas en resultados o notas utilizables para el procesamiento electrónico, surgió un problema de gran importancia: por razones de organización, normalmente participaron en las campañas cuatro geólogos con la posibilidad de emitir cuatro calificaciones individuales no comparables, por el carácter subjetivo de la evaluación. Para subsanar este inconveniente, hubo que estandarizar

darizar los métodos de trabajo lo más ampliamente posible y crear criterios uniformes, según los cuales deben describirse las características geotécnicas de los emplazamientos evaluados.

Con esta finalidad se han desarrollado formularios en los que se deben volcar las observaciones de campo. Estos formularios (hojas de campo) garantizan que los geólogos sigan un método uniforme adoptando los mismos criterios de evaluación para la calificación de situaciones geotécnicas similares. Los formularios son:

- Formulario A₁ En el que figura un cuadro para la calificación de los elementos presa o azud, embalse, obras subterráneas y tubería forzada, con sus respectivas características geotécnicas y porcentajes de influencia en los costos de dichos elementos. En la parte inferior de este cuadro hay un espacio libre para la "descripción" de toda la información posible sobre litología, tectónica, geomorfología y características geotécnicas. (Fig. 5 - 3)
- Formulario A₂ Similar al anterior, en el que se consideran los elementos vertedero, canal y desarenadores, con sus respectivos conceptos y porcentajes de influencia en los costos de dichos elementos. Igualmente en la parte inferior tiene un espacio utilizable para la descripción. (Fig. 5 - 4)
- Formulario B Está destinado a los materiales de construcción en canteras para el elemento presa o bocatoma. En él figura un cuadro con los diferentes tipos de materiales que se utilizan en las tres (3) clases de presas consideradas, con sus respectivos porcentajes de influencia en costos, y referencias a los volúmenes estimados y a la distancia de dichas canteras al lugar de la obra. (Fig. 5 - 5)

5.2.3.3 Trabajo de Campo

El método y la organización del trabajo de campo se adaptó a las características geográficas, condiciones climáticas, accesibilidad, y a los medios de transporte disponibles. En base a estos conocimientos se hizo un cronograma que permitiera concluir estos trabajos en un medio año aproximadamente. Para las labores de campo se conformó dos grupos de trabajo: el primero se encargó de la evaluación de las cuencas de la vertiente del Pacífico y algunos valles interandinos; el segundo tuvo por misión investigar las cuencas de la vertiente oriental y valles interandinos.

Cada grupo estuvo integrado por dos geólogos, dos ingenieros civiles y personal auxiliar.

Por razones climáticas, las operaciones de campo se efectuaron durante el invierno, aprovechando la ausencia de lluvias en esta época.

La mayor parte de los proyectos fueron investigados mediante el uso de un helicóptero, que prestó apoyo en forma ininterrumpida, para lo cual los dos grupos de trabajo alternaban sus operaciones de campo. Una excepción son algunas cuencas de la vertiente del Pacífico, la cuenca del Lago Titicaca y la cuenca del Río Pachachaca de la vertiente oriental que fueron estudiados por tierra.

FIGURA 5-3

CUENCA		PROYECTO												FECHA				5.12		
RESULTADOS	PRESA				EMBALSE				OBRAS SUBTERRANEAS				TUBERIA PRESION							
	PERMEABILIDAD	ESTABILIDAD EXCAVACION	MORFOLOGIA PRESA DE CONCRETO	MORFOLOGIA PRESA DE TIERRA	RESULTADO PRESA DE TIERRA	ESTABILIDAD PRESA ENROCADA	ESTABILIDAD PRESA	PERMEABILIDAD-TECTONICA	SEDIMENTACION	RESULTADO EMBALSE	ESTABILIDAD EMBALSE	RESISTENCIA	PERMEABILIDAD	PELIGRO DE INCHAMIENTO	DUREZA DE ROCA	RESULTADO TUB PRESION	EROSION OBR SUBT	ESTABILIDAD MORFOLOGIA	RESULTADOS TUB PRESION	
	50%	20%	20%	10%	100%	10%	20%	50%	20%	100%	20%	20%	30%	20%	10%	100%	20	20%	60%	100%
DESCRIPCION																				

FIGURA 5-4

CUENCA		PROYECTO												FECHA									
RESULTADOS	VERTEDERO				CANAL				DESAREN Librey Enterr				DESAREN Caverna										
	EXCAVACION	ESTABILIDAD EXCAVACION	MORFOLOGIA FLANCOS	MORFOLOGIA	RESULTADO VERTEDERO	MORFOLOGIA	EXCAVACION	ESTABILIDAD EXCAVACION	MORFOLOGIA	AGUA SUBTERRANEA	CANAL RESULTADO	EXCAVACION	ESTABILIDAD EXCAVACION	MORFOLOGIA	AGUA SUBTERRANEA	SEDIMENTACION	RESULTADOS	ESTABILIDAD	PERMEABILIDAD	DUREZA DE ROCA	SEDIMENTACION	RESULTADOS	
	30%	30%	20%	20%	100%	20%	30%	30%	20%	100%	30%	20%	100%	30%	20%	20%	30%	100%	40%	20%	10%	30%	100%
DESCRIPCION																							

FIGURA 5-5

MATERIALES DE CONSTRUCCION EN CANTERAS

CUENCA:

PROYECTO

FECHA DEL TRABAJO

COORDENADAS LAT..... LONG

TIPO DE ESTRUCTURAS		TIPO DE LOS MATERIALES	DIFERENTES YACIMIENTOS																		EVALUACION				
			I			II			III			IV			V			VI			PROMEDIO DE I-VI				
			Dist. 60%	Vol. 40%	RES.	Dist. 60%	Vol. 40%	RES.	Dist. 60%	Vol. 40%	RES.	Dist. 60%	Vol. 40%	RES.	Dist. 60%	Vol. 40%	RES.	Dist. 60%	Vol. 40%	RES.	RES. PROM.	%	RES.		
PRESA DE TIERRA	PRESA ENROCADA	1 Material Fluvial																							
		2 Roca para Triturar																							
		3 Roca P. Enrocamiento y Rip Rap																							
	4 Material para Filtros																								
	5 Material Semi-Impermeable																								
	6 Tierra para el Cuerpo																								

NOTA: RESULTADO FINAL:

PRESA DE CONCRETO:

PRESA DE ENROCAMIENTO:

PRESA DE TIERRA

El apoyo logístico fue realizado mediante dos camiones UNIMOG , tanto para el abastecimiento de combustible para el helicóptero, como para transportar equipos de trabajo, alimentos y otros.

En los sitios de presa , normalmente se aterrizó con la finalidad de tener mejores elementos de juicio para la calificación geotécnica, habiéndose prestado mayor atención en la configuración de los estribos y fondo del valle. Cuando el helicóptero no pudo descender, la apreciación y calificación geotécnica se hizo desde el aire en los aspectos de morfología y estabilidad de los flancos. Para el conocimiento de la litología de los estribos se apeló a la información de los mapas geológicos y a la experiencia regional del geólogo.

La evaluación de los materiales de construcción, cuando se encontraban próximos al eje de presa, se hizo directamente. En caso contrario fueron evaluados desde el aire. Los vertederos igualmente fueron evaluados ya sea directamente en el terreno o desde el aire.

Las investigaciones de las zonas de embalse se hicieron desde el aire, desde donde se podía apreciar suficientemente aspectos de morfología, sedimentación y estabilidad de los flancos.

Las obras subterráneas, por su propia naturaleza, han sido evaluadas normalmente en gabinete, mediante planos geológicos de diversos grados de confiabilidad. Se adoptó esta metodología teniendo en cuenta que un examen de los ejes de los túneles hubiera consumido un injustificable número de horas de vuelo, para tratar de evaluar condiciones geológicas subterráneas desde el aire. Además se tuvo en cuenta la variación que sufrirían estos ejes en la fase de afinamiento de los diseños en gabinete.

Las zonas de las tuberías forzadas fueron investigadas normalmente desde el aire, de donde fue factible observar las características de estabilidad y morfología, que son los aspectos de mayor peso en la definición de estas obras.

Por razones de tiempo, los alineamientos de los canales también fueron evaluados desde el aire y posteriormente complementados con la información de los planos geológicos.

Las zonas para la ubicación de los desarenadores fueron inspeccionadas ya sea directamente en el terreno o desde el aire, de acuerdo a sus condiciones de acceso.

5.2.3.4 Trabajo de Gabinete

Después de terminar los trabajos de campo, la información geológica ha sido ampliada. Primero se realizaron las calificaciones geotécnicas de todos los elementos del proyecto que no fueron elaborados en el campo. Para mejorar la información para las obras subterráneas se utilizó toda la información geológica existente como son los Boletines y Hojas de la Carta Geológica Nacional (escala 1: 100,000), planos departamentales (escala 1: 250,000), levantamientos de estudios especiales, y para zonas sin otra información, el mapa geológico del Perú (escala 1: 1'000,000). En la vertiente oriental se utilizaron imágenes de radar.

Además, para cada cuenca se ha preparado una descripción geológica general. Esta consiste en un resumen de las relaciones geomorfológicas relevantes y geología de la región, así como una tabla estratigráfica de las formaciones geológicas que afloran en las zonas de proyectos, con una breve descripción respecto a la litología y a las propiedades geotécnicas.

La determinación de las notas geotécnicas de todos los elementos de un proyecto es un proceso esquemático, y se realizaron en las dos fases de trabajo: en el campo y en gabinete. En el siguiente paso se explican los procedimientos de la evaluación geotécnica a base de los formularios de Campo antes mencionadas.

5.2.3.4.1 Presa y Azud

Las características evaluadas para presas son: (Ver Fig. 5.3)

- I Permeabilidad .- Se evalúa de acuerdo a la porosidad, al fracturamiento, fallamiento, grado de karstificación en las rocas del fondo y de los flancos, y al tipo y espesor de los sedimentos fluviales en el fondo del valle.
- II Excavación .- Consiste en el estimado del volumen de excavación en los flancos de acuerdo a la morfología, grado de alteración y espesor de los escombros. En el fondo del valle de acuerdo al tipo y espesor de sedimentación fluvial.
- III Estabilidad .- Según las condiciones tectónicas en términos de plegamientos y fallamientos, erosión, alteración, acumulación de escombros y grado de equilibrio del talud de los estribos.
- IV Morfología .- En relación al tipo de presa elegida, de acuerdo a la sección del valle (ancho del valle y ángulo de los flancos) y litología, se considera dos categorías, en la primera presas de concreto (de gravedad o arco) y en la segunda presas enrocadas o de tierra.

La influencia de cada una de las características geotécnicas es:

Permeabilidad	50 %
Excavación	20 %
Estabilidad de flancos	20 %
Morfología de presa de concreto o de tierra o enrocado	10 %

Para cada uno de los elementos individuales del proyecto se ha dado en la hoja un breve resumen de la litología y estratigrafía bajo el título "descripción". La calificación de la bocatoma (azud) se trata igual como para una presa pequeña de concreto.

5.2.3.4.2 Materiales de construcción. (Ver Fig. 5.5)

En el caso de los materiales de construcción de canteras, se califican seis

diferentes grupos de materiales, los cuales están relacionados al tipo de la presa elegida y al volumen y distancia de cada yacimiento.

Varios tipos de yacimientos se pueden emplear para una sola presa. La calidad de los materiales no ha sido considerada en forma especial porque se calificó solamente un material de suficiente calidad.

En el caso de la distancia de transporte las notas 1 a 4 significan:

- 1 = inmediatamente en la zona de construcción
- 2 = cerca a la zona de la obra y, a una distancia factible
- 3 = más lejos, al límite de factibilidad
- 4 = a una distancia seguramente infactible

Las notas de calificación significan, en el caso del volumen, las siguientes características:

- 1 = seguramente suficiente
- 2 = probablemente suficiente
- 3 = probablemente insuficiente
- 4 = seguramente insuficiente

Para los materiales de construcción una nota 4 naturalmente no conduce a la eliminación de un proyecto, pues una situación no favorable de materiales en este nivel de estudio no puede ser un criterio decisivo.

En la ponderación de distancia y volumen, la distancia con su costo de transporte es un factor de mayor peso y de mayor precisión que la estimación del volumen. Con la siguiente ponderación se forma la nota de calificación de un tipo de material de cantera:

Distancia del yacimiento a la obra	60 %
Volumen del yacimiento	40 %

El promedio de las notas para diferentes yacimientos de un tipo de material, se pone al final de la línea en el formulario "B" como una nota promedio. Luego estas notas promedio se ponderan nuevamente en relación de los respectivos materiales para cada tipo de presa:

PRESA DE CONCRETO (Gravedad/arco): No se hace distinción entre "gravedad" y "arco"

1. Material fluvial para agregados de concreto entra con 100% como nota de materiales para este tipo de presa.
2. Roca triturada como agregados, es una alternativa en caso de ausencia de material fluvial y la nota es aumentada al 120 % por efecto del mayor trabajo necesario.

PRESA ENROCADA (sin y con pantalla)

3. Roca para enrocamiento y Rip Rap 60%

- | | |
|----------------------------------|------|
| 4. Material para filtro | 10 % |
| 5. Material semi - o impermeable | 30 % |

PRESA DE TIERRA:

- | | |
|----------------------------------|------|
| 4. Material para filtro | 10 % |
| 5. Material semi - o impermeable | 30 % |
| 6. Tierra para el cuerpo | 60 % |

Los materiales 4 y 5 son para los dos últimos tipos de presas .

5.2.3.4.3 Vertedero (Ver Fig. 5-4)

En el programa EVAL son considerados tres tipos de vertederos:

1. Vertedero en Presa de Hormigon (sin canal de descarga)

Este tipo de obra no es afectada por la geología por lo que no es necesario dar una calificación geotécnica .

2. Vertedero con Perfil Libre (en la roca)

Este tipo de vertedero es usado en presas de enrocamiento o de tierra; requiere la calificación geotécnica de acuerdo a las condiciones de excavación, estabilidad de flancos, morfología y agua subterránea. Esto se expresa por una ponderación de criterios individuales como sigue:

Excavación	30%
Estabilidad flancos	30%
Morfología	20%
Aguas Subterráneas	20%

3. Tunel Vertedero (como obras subterráneas)

En el caso de túnel vertedero se usa la nota correspondiente al túnel de desvío

5.2.3.4.4 Embalse (Ver Fig. 5.3)

En la calificación se ha adoptado los siguientes criterios:

- I Estabilidad-Erosión .- Se refiere a los flancos erosionables que pueden causar la reducción del volumen del embalse .
- II Estabilidad tectónica .- Ciertos tipos y grados de plegamientos . Fallas o cataclasis pueden causar deslizamientos y derrumbes reduciendo el volumen del embalse .
- III Permeabilidad .- Se chequearon las posibilidades de filtración hacia otras cuencas por razón de presencia de zonas de fallamientos, Karstificación o por capas permeables .
- IV Sedimentación .- Evaluación del volumen de sedimentos que transporta el río princi

pal y sus afluentes aguas arriba del embalse previsto.

5.2.3.4.5 Obras subterráneas (Ver Fig. 5.3)

Dentro de obras subterráneas se consideran el túnel de aducción, túnel de desvío, chimenea de equilibrio, pozo blindado y la casa de máquinas en caverna.

La calificación se ha hecho adoptando criterios promedios y no por tramos

Los criterios de evaluación geotécnica son los siguientes:

- I Estabilidad .- En relación a las condiciones tectónicas (plegamiento y fallamiento) y la litología (tipo de roca y grado de alteración)
- II Resistencia .- Se refiere a la compresibilidad de las rocas y se califica de acuerdo a la litología
- III Permeabilidad .- Se evalúa de acuerdo a la porosidad de la roca, el fracturamiento y fallamiento y a la posible presencia de fenómenos de Karst.
- IV Peligro de hinchamiento .- Se refiere a la litología e incluye el peligro de expansión de la roca.
- V Dureza de roca .- Se refiere a la mayor o menor dificultad en la perforación y está en relación a la litología y al grado de alteración de las rocas.

Con la siguiente ponderación de las características geotécnicas se forma la nota geológica de uno de los elementos de las obras subterráneas:

Estabilidad	20%
Resistencia	20%
Permeabilidad	30%
Peligro de hinchamiento	20%
Dureza de roca	10%

La nota geológica para el "túnel de desvío" se estima según las condiciones geotécnicas correspondientes al estribo de la presa.

Para el "pozo blindado", la "chimenea de equilibrio" y la "casa de máquinas en caverna" se da la misma nota geológica como para el caso del túnel de aducción, pero bajo la consideración del último tramo de éste.

5.2.3.4.6 Tubería Forzada (Ver Fig. 5.3)

La calificación para la tubería forzada se refiere a dos tipos: al clásico con la tubería superficial con anclajes y al enterrado. La calificación para los dos tipos es igual y contempla las siguientes características:

- I Erosión .- Se refiere al grado de alteración de la roca, a la oculación, al espesor

y al ángulo de los escombros del talud.

- II Estabilidad tectónica .- Se califica de acuerdo al grado de fallamiento, fisuramiento y el ángulo de buzamiento de las capas de la roca.
- III Morfología .- Se califica de acuerdo al grado de inclinación y a la irregularidad de la pendiente de las laderas.

La ponderación de las características geotécnicas para este elemento del proyecto es la siguiente:

Erosión	20%
Estabilidad	20%
Morfología	60%

5.2.3.4.7 Canal de Aducción (Ver Fig. 5.4)

Las características geotécnicas para la calificación de los canales son las siguientes:

- I Morfología .- Se refiere a la pendiente de la ladera y al relieve del terreno
- II Excavación .- Se refiere al volumen del corte para el cajón del canal y el flanco de la ladera.
- III Estabilidad del talud .- En relación a la litología y a la posible alteración del subsuelo.
- IV Agua subterránea .- Depende de la existencia de flujo de agua subterránea o presencia de zonas pantanosas.

Las características ponderadas que intervienen en esta calificación son:

Morfología	20%
Excavación	30%
Estabilidad del talud	30%
Aguas subterráneas	20%

Se tiene en cuenta que los canales de conducción son siempre revestidos y son calificados por criterios promedios y no por tramos.

5.2.3.4.8 Desarenador (Ver Fig. 5.4)

Para el desarenador se contempla tres (3) tipos: al aire libre, enterrado o en caverna. La magnitud del desarenador depende de la sedimentación proveniente del río.

DESARENADOR AL AIRE LIBRE: Las características de calificación para estas obras son

parecidos a las del canal. Se refiere a criterios como volumen de excavación, estabilidad del terreno durante la construcción y a la presencia del agua subterránea. Esto se expresa por una ponderación que contempla los siguientes porcentajes:

Excavación	30%
Estabilidad	20%
Sedimentación	30%
Agua subterránea	20%

DESARENADOR ENTERRADO: La calificación geotécnica para este tipo de desarenador es similar al caso anterior (aire libre). La diferencia se basa en los costos asumidos por la parte de ingeniería civil.

DESARENADOR EN CAVERNA: La calificación se ha hecho adoptando criterios similares a las obras subterráneas como son: la estabilidad de roca, dificultades por agua subterránea y diferentes durezas de rocas. Se usó la ponderación que se indica a continuación:

Estabilidad	40%
Permeabilidad	20%
Dureza de roca	10%
Sedimentación	30%

La selección del tipo de desarenador será de acuerdo al espacio disponible.

Al final de la tercera fase de los trabajos geológicos se realiza la descripción detallada de los proyectos. Estos entran en los informes finales como cadenas recomendadas.

5.2.3.5 Conversión de Notas Geológicas a Factores Geológicos de corrección para uso en la Evaluación de Costos.

Las notas (FG) y (FM) para la calidad geotécnica de los elementos individuales de proyectos evaluados de la manera descrita, entran a la computadora y se almacenan con los datos específicos de las obras civiles. El programa EVAL los requiere para utilizarlos en la estimación de los costos.

Luego del cálculo de volúmenes se determinan los precios unitarios, para luego obtener los costos totales del respectivo elemento del proyecto. Estos costos totales de los elementos individuales se multiplican por el factor geológico de corrección (CG) - denominado solamente "Corrector" -, deducido a partir de la nota geológica a factor geológico (FG)

Este corrector ha sido fijado para cada uno de los elementos del proyecto, tanto para el caso más favorable como para el caso más desfavorable y aumenta o disminuye el costo de ellos.

Ejemplo: Para el caso de un canal los costos se calculan de la siguiente manera:

$$C_{\text{can}} = CG \times PU \times CL$$

(CG = Corrector Geológico; PU = Costos por metro; CL= longitud del Canal)

El corrector geológico (CG) se calcula con la siguiente ecuación:

$$CG = G4 \left[\frac{(G6 - G4) \times (FG - 1)}{2} \right]$$

En esta fórmula para el caso de un canal rectangular G4 toma el valor 0.9 y G6 el valor 1.1 El corrector geológico tendrá valores extremos de 0.9 y 1.1 para las notas geológicas de 1.0 y 3.0, respectivamente. Para valores de FG mayores de 3.0, el valor de CG se extrapolará. En el ejemplo, una nota FG = 1 reduce los costos del canal en 10% y la nota FG = 3 los aumenta a un 10%.

La relación matemática entre el factor geológico de corrección (CG) y la nota geológica (FG) en este caso es lineal; pero para otros elementos de los proyectos se ha supuesto una relación no lineal con sus ecuaciones correspondientes.

Para las presas el procedimiento es diferente. En este caso los costos son influenciados en una parte por la nota geológica (FG) y en otra por la nota de materiales de construcción (FM).

Para la presa se convierte la nota geológica de campo (FG) en el corrector (CG) mediante la misma ecuación del ejemplo anterior con los valores adecuados de G4 y G6. Este corrector (CG) se multiplica con los costos para la pantalla de inyección, que representa la primera parte de los costos de una presa.

El resultado se suma a los costos de la misma presa en relación a los materiales de construcción necesarios para la obra, que se calculan en base a precios unitarios.

La conversión de la nota de materiales de construcción (FM) en el corrector de materiales (CM) se hacen de la misma forma que para las otras notas geológicas del ejemplo.

Se multiplica la otra parte de los costos de construcción con el corrector de materiales de Canteras (CM) lo cual entra en el cálculo de costos para las presas de enrocamiento y de tierra sin otra modificación. Se supone, por razón de simplificación, que estos tipos de presas consisten de un 100% de materiales naturales de canteras y de este modo es aplicable a la totalidad.

Por otra parte, en el caso de las presas de hormigón los materiales de cantera constituyen solamente una parte del total de materiales de construcción que se emplean y el corrector (CM) se aplica sólo parcialmente. Esto se realiza utilizando la siguiente simplificación:

- Para presas de gravedad la proporción en los costos de los agregados para concreto es la mitad de los costos totales, por lo tanto el corrector de materiales (CM) se reduce a un 50%

- Para presas de arco, así como para azudes la proporción en los costos de los agregados es de un tercio de los costos totales. El corrector de materiales (CM) es reducido al 33%

El cálculo del corrector geológico de los otros elementos de proyectos y de talles de la estimación de costos se encuentran expresados en el programa EVAL.

5.2.4 Hidrología

A fin de evaluar el potencial hidroeléctrico técnico de un sistema fluvial dado es necesario determinar valores estimados de aquellos parámetros hidrológicos que se requieren para el diseño y dimensionamiento de las estructuras asociadas con posibles proyectos de aprovechamiento.

Con referencia a las condiciones del caudal que puede esperarse en una derivación dada o en un emplazamiento de embalse, se ha incidido en el caudal medio a largo plazo, en la variación del caudal con el tiempo y en la ocurrencia de caudales muy altos. De éstos, las dos primeras determinan directamente el potencial de un proyecto propuesto en términos de la capacidad y producción de energía, en tanto, la tercera define el tamaño necesario de vertederos para la protección de estructuras durante y después de la construcción.

El volumen y tipo de sedimentos arrastrados por un río tiene una considerable implicancia en términos de la vida útil de un proyecto y sus componentes. Si la carga de sedimentos es muy elevada la disminución en el volumen útil tendrá un efecto negativo en la viabilidad económica; además deben hacerse las prevenciones adecuadas para asegurar que la mayoría de partículas se extraigan antes que el agua ingrese a las turbinas.

En casos donde se haga uso de reservorios naturales o artificiales de gran área superficial las pérdidas por evaporación pueden llegar a niveles considerables. El efecto en desarrollos potenciales es especialmente importante donde sea preciso mantener el balance de aguas existentes por razones ecológicas o comerciales.

En las siguientes secciones se describe el trabajo de hidrología llevado a cabo para la presente evaluación del potencial técnico del Perú. Como se subraya en las secciones del informe que tratan la estimación del potencial teórico, la extrema escasez de datos hidrológicos básicos y la gran variedad de condiciones climáticas y físicas encontradas en el país hicieron necesario el uso de análisis regionales. De este modo el objetivo general de los estudios es el análisis de todos los datos disponibles y la identificación de patrones y tendencias regionales. Las muy grandes áreas a considerarse y el gran número de proyectos potenciales imposibilitaría la investigación detallada de emplazamientos individuales durante el curso del tiempo disponible. Sin embargo, las relaciones deducidas podrán utilizarse en estudios más detallados que se desarrollen posteriormente.

El proceso de definir regiones y relaciones características siempre requerirá

cierto grado de juicio subjetivo. Sin embargo, en el curso de estos estudios se hizo un uso intensivo de programas de correlación con enlace automático al banco de datos hidrológico. Además de ayudar grandemente en la ejecución y precisión del análisis estadístico, su implementación significa que cualquier revisión posterior, al disponerse de mejores datos, pueda llevarse a cabo con la mejor eficiencia.

5.2.4.1 Estimación de Caudales Medios en Emplazamientos de Proyectos.

El parámetro hidrológico de mayor importancia al determinar la viabilidad económica de un proyecto de energía hidroeléctrica es el caudal disponible para descarga a las turbinas. Este caudal puede ser el que ocurra naturalmente en el emplazamiento del proyecto, el obtenido por proyectos de derivación o una combinación de ambos.

Con el objeto de identificar inicialmente los emplazamientos de desarrollos potenciales, el valor del caudal medio en un punto de un río dado se basó en los resultados obtenidos de los modelos de cuencas. La metodología, construcción y aplicación de estos modelos se ha explicado en detalle en las Secciones 4.2.3, y los resultados para cada cuenca se dan en el Vol. VII. Estos resultados indican el caudal medio (a largo plazo) en puntos seleccionados de cada río y afluente significativo, estando normalmente estos puntos a 10 Kms. de separación. Cuando un embalse potencial o emplazamiento de derivación se ubicare entre tales puntos, el caudal medio correspondiente se estimará por interpolación lineal entre los valores disponibles aguas arriba y aguas abajo.

El caudal medio o caudales asociados con cada proyecto ingresan al correspondiente archivo de datos del proyecto para su evaluación posterior utilizando el programa EVAL. Como una primera aproximación el potencial bruto de energía de un proyecto puede estimarse sobre la base del caudal medio, asumiendo de esta manera, que es posible aprovechar todos los caudales para la producción de energía. Sin embargo este es el caso límite y en la práctica, el grado de utilización que puede obtenerse del volumen de agua que representa el caudal medio depende de muchos factores, tales como el régimen hidrológico, la capacidad de regulación del sistema hidráulico y el modo de operación. La manera en la cual tales aspectos se han considerado se describe en la Sección 5.2.5

5.2.4.2 Estimación de Avenidas de diseño

El objetivo del trabajo llevado a cabo en el análisis de caudales máximos anuales y la predicción de valores extremos de avenidas, fue proporcionar datos para el dimensionamiento de vertederos y canales de derivación en emplazamientos de proyectos. Siguiendo la práctica establecida, se estimaron valores de avenidas para periodos de recurrencia de 10 y 1000 años respectivamente. En estudios más detallados, la determinación del periodo de retorno de diseño más económico implica la consideración atenta de los riesgos de sobrepaso y el daño consiguiente a las estructuras y al equipo en el emplazamiento del proyecto y aguas abajo. Tal análisis requiere de abundantes y confiables datos hidrológicos y económicos, pudiendo aún surgir dificultades donde está en juego la pérdida potencial de vidas humanas.

Los datos limitados de avenidas que se disponen en el Perú, requieren la

deducción de relaciones regionales y la construcción de curvas envolventes. La confiabilidad que puede atribuirse a cada una de estas relaciones es proporcional a los datos utilizados en su determinación, y generalmente sólo deberán considerarse como estimaciones de primer orden. Sin embargo, debe recalarse que su aplicación en este estudio es principalmente para la comparación de proyectos potenciales alternativos en competencia más bien que para fines de diseño en detalle.

5.2.4.2.1 Recopilación de información disponible

Los datos de descargas máximas fueron recopiladas, completados y verificados en las oficinas de los organismos siguientes:

SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología
ONERN	Oficina Nacional de Evaluación de los Recursos Naturales
INIE	Instituto de Investigaciones Energéticas y Servicios de Ingeniería Eléctrica.
MA	Ministerio de Agricultura y Alimentación
CENTROMIN	Empresa Minera del Centro del Perú
ELECTROPERU	Empresa Pública "Electricidad del Perú"
ELECTROLIMA	Empresa de servicio público de electricidad de Lima .

Se encontraron un total de 360 estaciones que tenían datos de descargas diarias y para cada una de estas estaciones se determinó el máximo valor del caudal medio diario registrado en cada año. Mediante una evaluación de estos datos y la correspondiente ubicación de estaciones, se eliminaron los registros de las estaciones que presentaban las siguientes características:

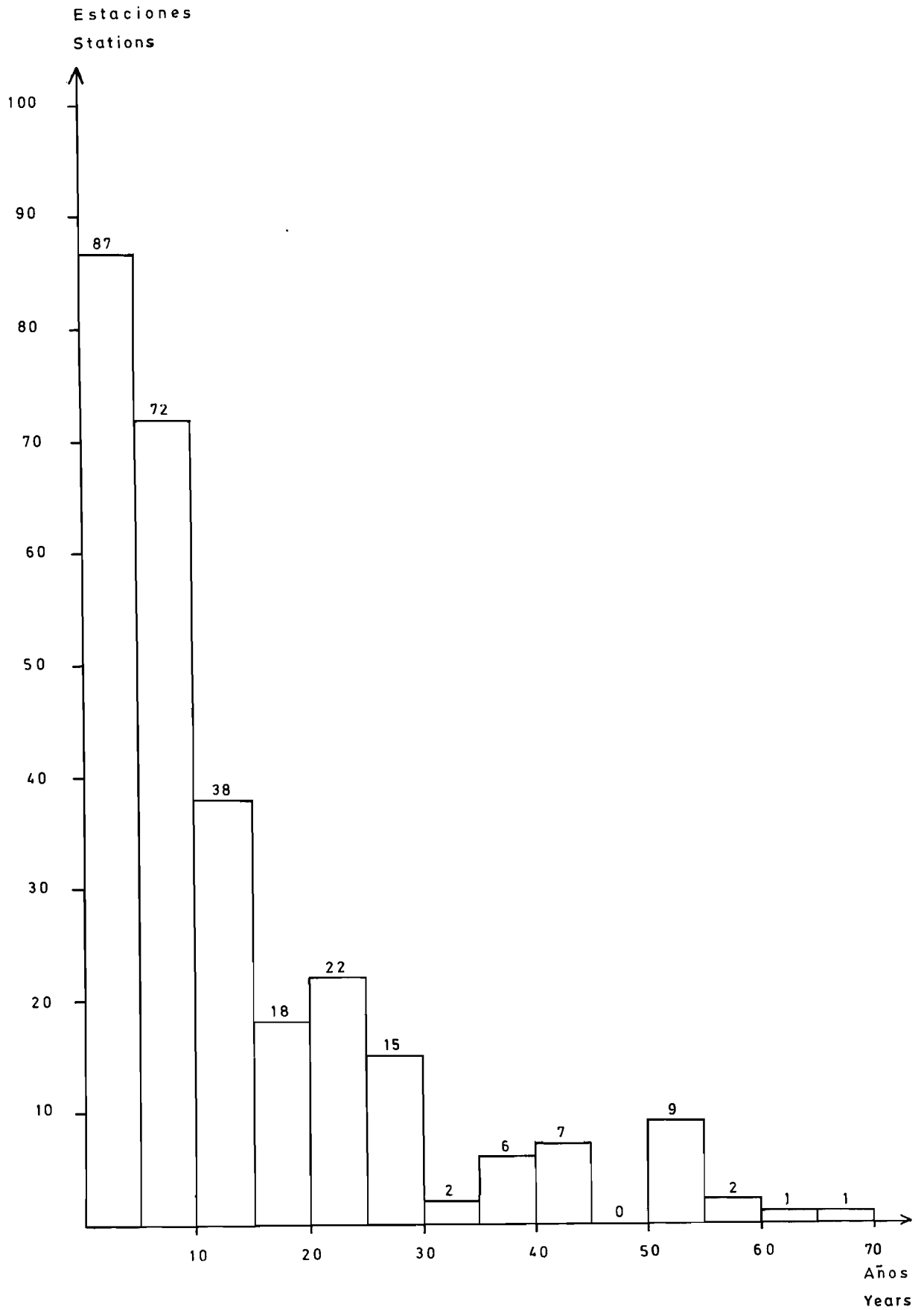
- Estaciones afectadas por regulación artificial aguas arriba
- Estaciones con datos conocidos como no confiables
- Estaciones con menos de cinco (5) años de observaciones

Mediante esta selección, los registros de 200 estaciones restantes se consideraron en el análisis posterior. La relación entre el número de estaciones y la longitud de registro disponible se muestra en un histograma (Fig. 5.6)

Las series correspondientes de valores máximos anuales se trasladaron al banco de datos hidrológicos como se muestran en la Fig. 5 - 7

5.2.4.2.2 Análisis estadístico

Los siguientes parámetros estadísticos se calcularon para cada serie de datos usando el programa de cómputo GUMBLP; valor medio (\bar{x}), desviación standard (σ) y el coeficiente de sesgo (CS). Asimismo con este programa se calcularon las avenidas teóricas para una serie de intervalos de retorno en base a la distribución de valores extremos.



<p>EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL</p>	<p>ESTACIONES CON REGISTROS DE AVENIDAS Stations with flood records</p>	<p>Fig. 5-6</p>
	<p>NUMERO DE ESTACIONES Y AÑOS DE REGISTRO Number of stations and years of record</p>	