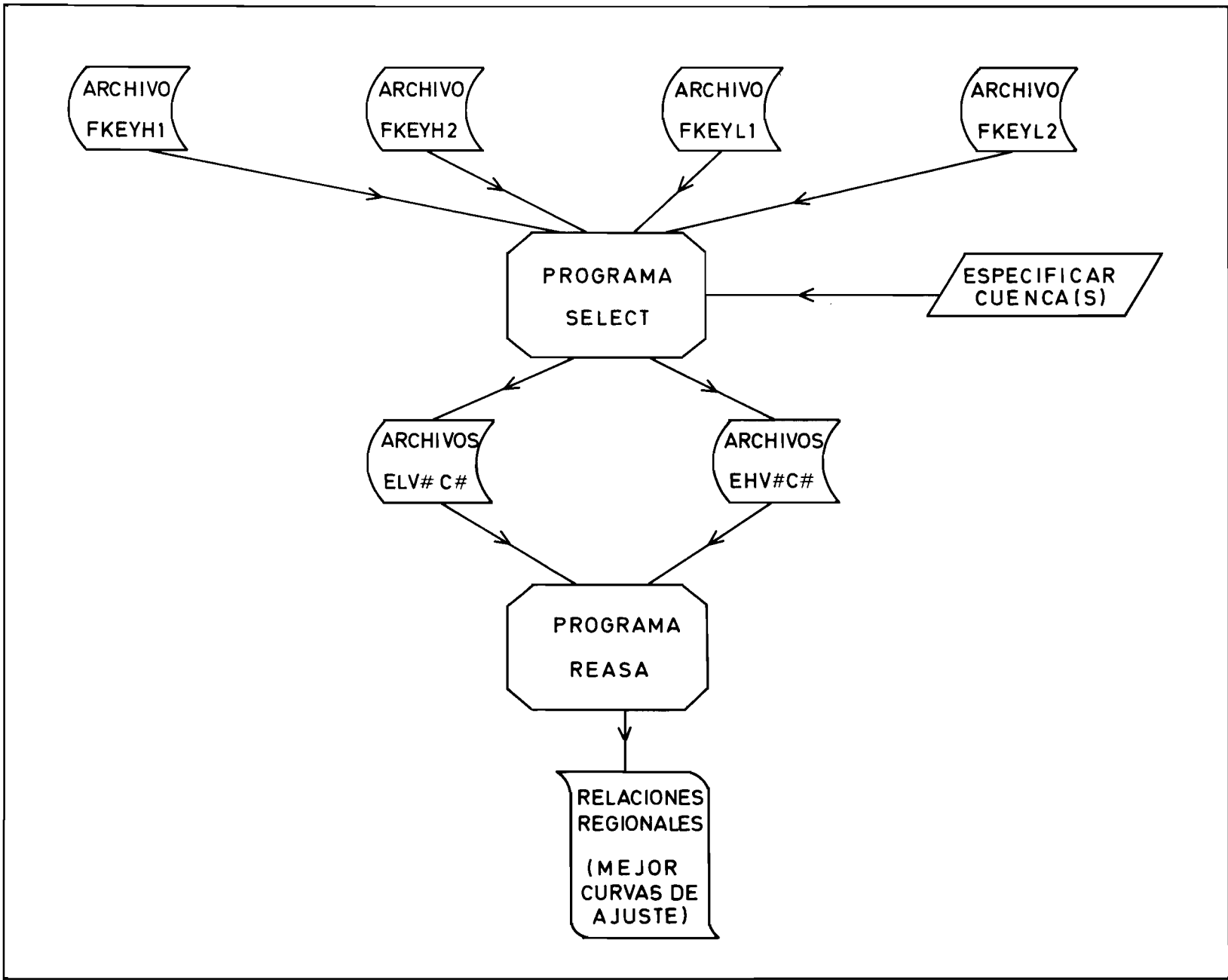


ARCHIVO LS6P1 HOJA DE ACTIVIDADES 6/1: DEDUCCION DE RELACIONES REGIONALES HIDROLOGICAS Fig.4-8



ARCHIVO LS6P2 HOJAS DE ACTIVIDADES 6/2 : DEDUCCION DE RELACIONES REGIONALES HIDROLOGICAS Fig.4-9

se ciertas condiciones bio-físicas. Ubicando límites en estas variables es posible construir el nomograma hexagonal mostrado en la Figura 4-10. Importa observar que de las 103 zonas de vida globales, 84 se han identificado en el Perú. En colaboración con el personal de ONERN se desarrolló una metodología para utilizar la información contenida en el nomograma de Holdridge y el Mapa Ecológico del Perú, con el objeto de estimar relaciones de escorrentía y precipitación para áreas no aforadas. Los análisis preliminares indicaban que el criterio preponderante para determinar el coeficiente de escorrentía es la llamada provincia de humedad asociada con una zona de vida dada, siendo éstas identificadas en el eje inferior del nomograma. Para determinar los valores de K para cada provincia de humedad se siguió el procedimiento que a continuación se describe.

Para una zona de vida dada se leyeron los siguientes parámetros del nomograma: la precipitación media P en mm por año; la bio-temperatura media anual \bar{T} en $^{\circ}C$, y la evapotranspiración potencial E_p en mm por año. El parámetro R , definido por la relación E_p/P , se empleó entonces para entrar en el diagrama mostrado en la Figura 4-11, a fin de obtener la evapotranspiración real E_A , como un porcentaje del valor potencial. El coeficiente de escorrentía puede entonces ser calculado ya que $K = 1 - E_A/P$.

Este procedimiento fue llevado a cabo para todas las zonas de vida existentes y para una diversidad de puntos extremos para cada hexágono. Un ejemplo completo se incluye en la Figura 4-12 y los resultados de los cálculos realizados están ploteados en la Figura 4-13. Esta última muestra la distribución de los valores de K obtenidos para cada provincia de humedad. Analizando la distribución de las zonas de vegetación en cada cuenca en términos de la cobertura y altura se elaboraron las relaciones requeridas para el modelo HYMOD entre escorrentía específica, precipitación y elevación.

Evidentemente, la metodología descrita anteriormente sólo puede brindar resultados muy aproximados debido al gran rango asociado con cada uno de los parámetros bio-físicos y la zona de vida correspondiente.

Se puede asignar un mayor grado de confianza si los chequeos se hacen sobre la base de datos medidos como medio de calibración. Para este fin se elaboraron una serie de relaciones matemáticas, y se utilizaron métodos algorítmicos y manuales para obtener valores de las variables desconocidas. Si se asume que para una zona de vida dada se pueden asignar valores constantes para los coeficientes de escorrentía y precipitación media anual - a largo plazo -, se pueden elaborar una serie de ecuaciones del tipo mostrado en la Figura 4-14. Para resolver dichos grupos de ecuaciones simultáneas es necesario tener el mismo número de ecuaciones como de incógnitas, y así se dedujeron grupos de ecuaciones que satisfacían este criterio. Empleando un programa de cómputo para resolver ecuaciones lineales simultáneas (programa (SI SECU)) se obtuvieron valores para los coeficientes de escorrentía. Sin embargo los valores obtenidos se encontraban bastante fuera de los límites teóricos $0.0 \leq K_i \leq 1.0$.

Para resolver el problema planteado se investigaron 2 métodos; programación lineal (algoritmo Simplex) y programación no-lineal (algoritmo Box). De éstos dos se descartó el primero debido a las dificultades para definir una función objetivo

EVALUACION DEL
POTENCIAL
HIDROELECTRICO
NACIONAL

CLASIFICACION DE LAS ZONAS DE VIDA
Life zone classification
DIAGRAMA BIOCLIMATICO
Bioclimatic Diagram

Regiones Altitudinales
Latitudinal Regions

- P Polar
- SP Subpolar
- B Boreal
- TF Templada Fria
- TC Templada Cálida
- ST Subtropical
- T Tropical

Pisos Altitudinales
Altitudinal Divisions

- N Nival
- A Alpino
- SA Subalpino
- M Montano
- MB Montano Bajo
- PM Premontano
- PB Piso Basal

Zonas de Vida
Life Zones

- TS Tundra Seca
- TH Tundra Húmeda
- TmH Tundra muy Húmeda
- TP Tundra Pluvial
- D Desierto
- MD Matorral Desertico
- PH Páramo Húmedo
- PmH Páramo muy Húmedo
- PP Páramo Pluvial
- E Estepa
- BH Bosque Húmedo
- BmH Bosque muy Húmedo
- BP Bosque Pluvial
- EE Estepa Espinoso
- BS Bosque Seco
- ME Monte Espinoso
- BmS Bosque muy Seco

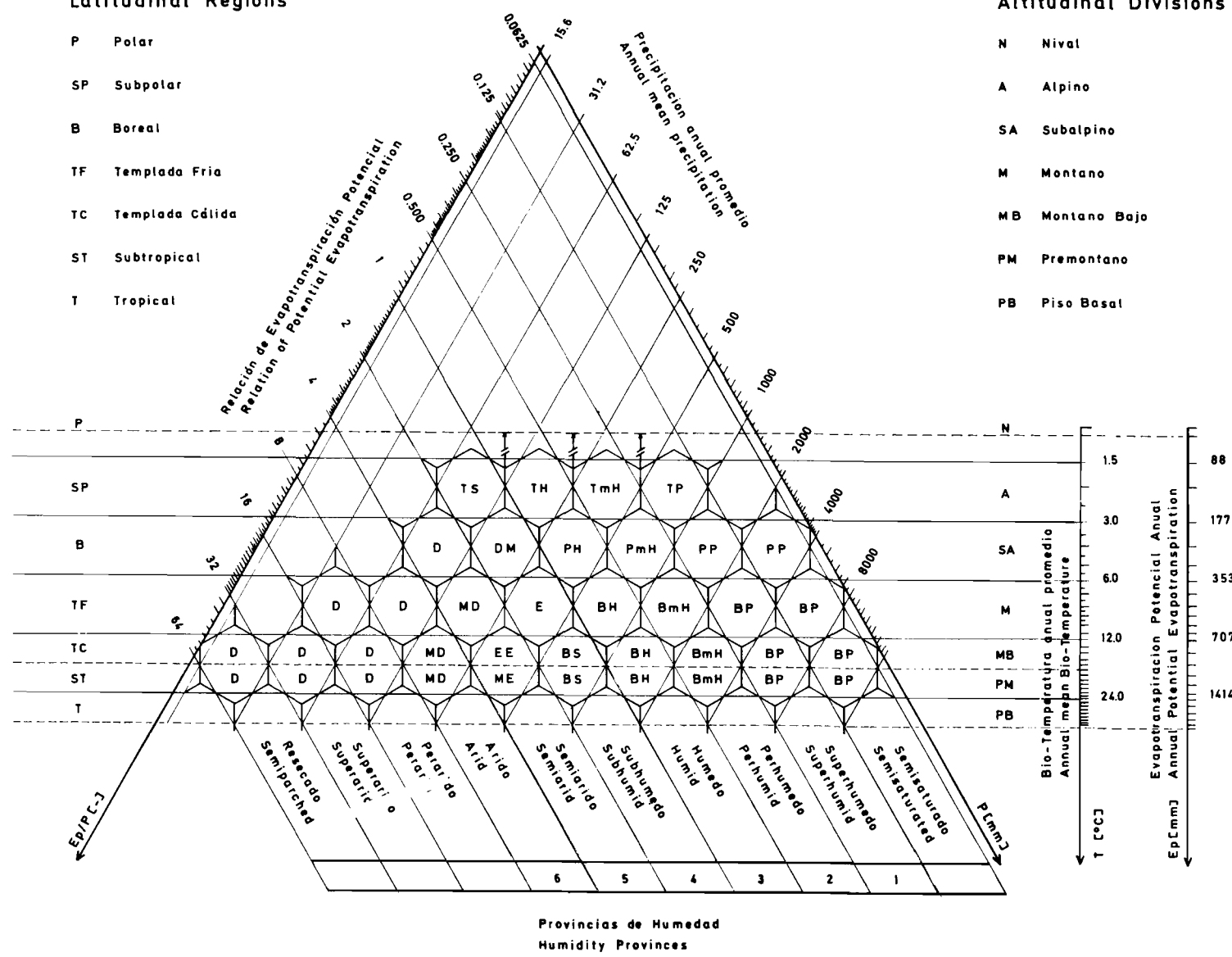
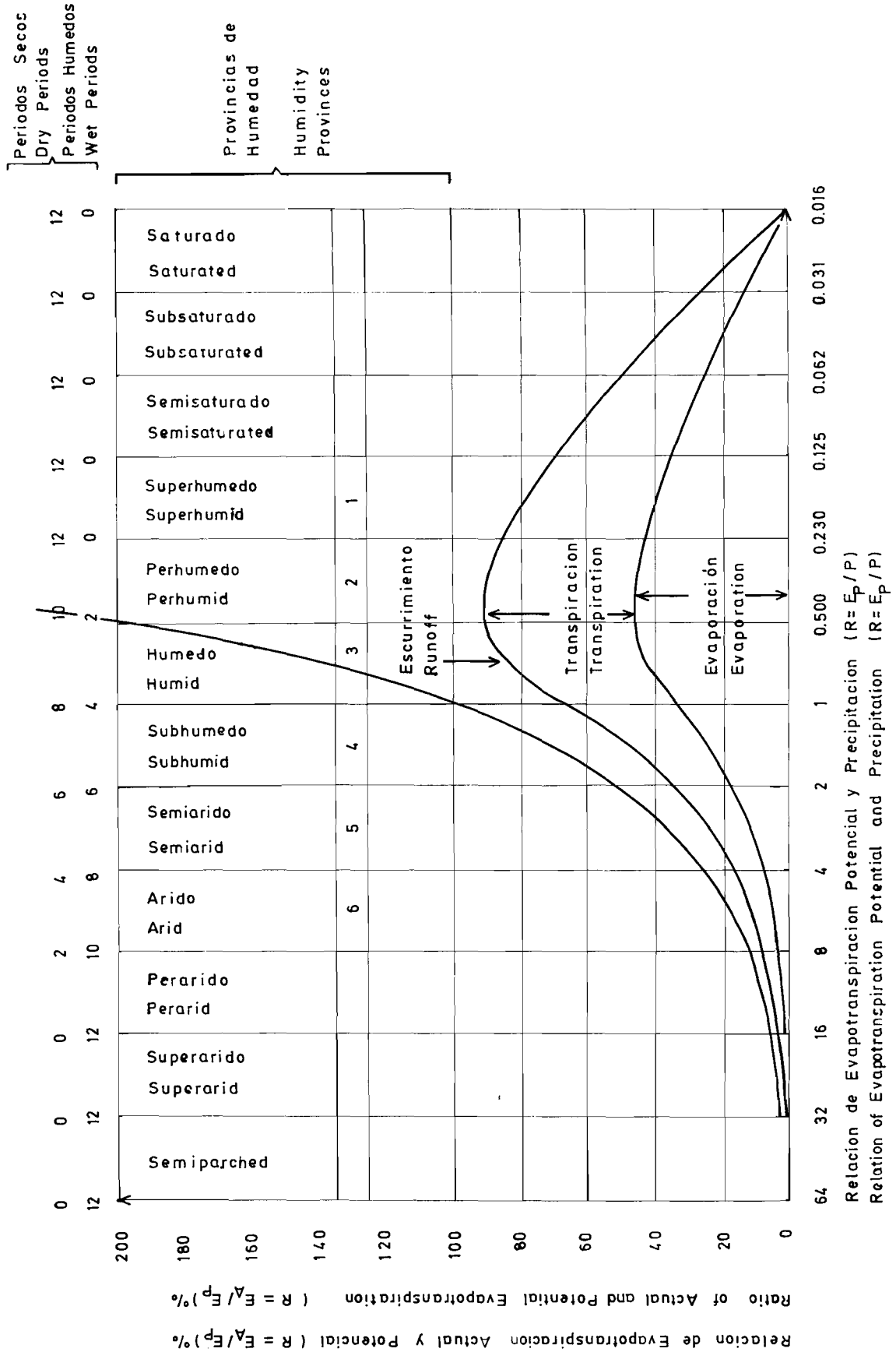


Fig. 4-10



EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL	CLASIFICACION DE LAS ZONAS DE VIDA Life zone classification	Fig. 4 - 11
	MOVIMIENTOS DE AGUA EN ASOCIACIONES CLIMATOLOGICAS Water movements in climatic associations	

PASO 1: ZONA DE VIDA
Step 1: Life Zone

MAPA ECOLOGICO
Ecological map

Pmh - Sas

PARAMO MUY HUMEDO SUBALPINO SUBTROPICAL

PASO 2: PRECIPITACION (P)
Step 2: Rainfall (p)

$$P = 700 \text{ [mm]}$$

PASO 3: Bio - TEMPERATURA MEDIA - ANUAL
Step 3: Bio - Temperature Mean - Annual

$$T = 43 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

PASO 4: RELACION DE EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (R)
Step 4: Ratio of Potential evapotranspiration to Rainfall (R)

$$R = E_p / P$$

$$R = 0.36$$

PASO 5: EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (E_p)
Step 5: Potential evapotranspiration

$$E_p = R \cdot P$$

$$= (0.36)(700) = 250 \text{ [mm]}$$

PASO 6: RELACION DE EVAPOTRANSPIRACION ACTUAL Y POTENCIAL
Step 6: Ratio of actual to potential evapotranspiration

$$R_A = E_A / E_p$$

$$= 0.90$$

PASO 7: EVAPOTRANSPIRACION ACTUAL (E_A)
Step 7: Actual evapotranspiration

$$E_A = R_A \cdot E_p$$

$$= (0.90)(250) = 225 \text{ [mm]}$$

PASO 8: COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (K)
Step 8: Runoff coefficient

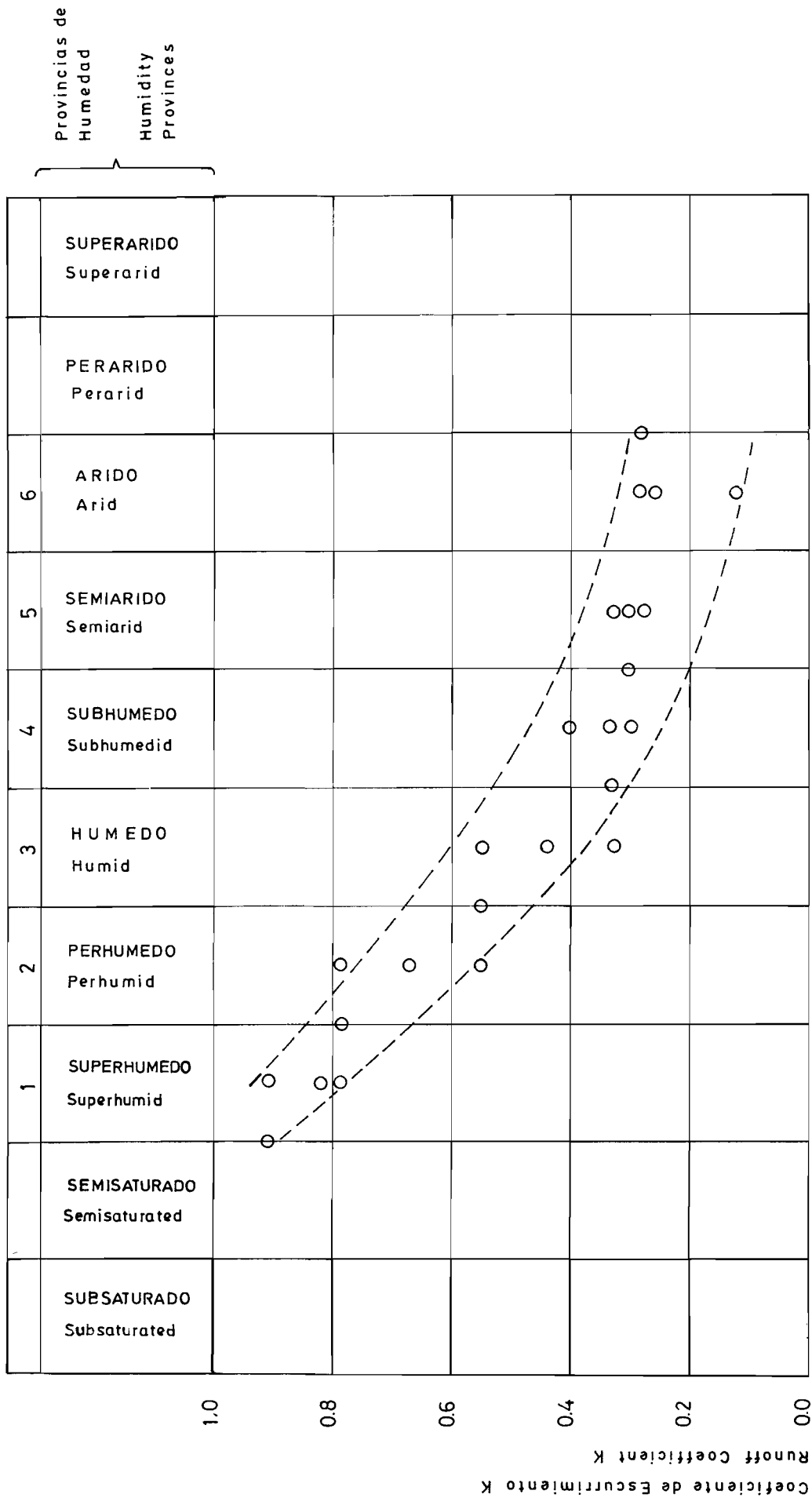
$$K = 1 - E_A / P$$

$$= 1 - 0.32 = 0.68$$

FIGURA 4-10
DIAGRAMA DE ZONAS DE VIDA
Life Zone Diagram

FIGURA 4-11
DIAGRAMA DE PROV. DE HUMEDAD
Diagram of humidity Provinces

FIGURA 4-13

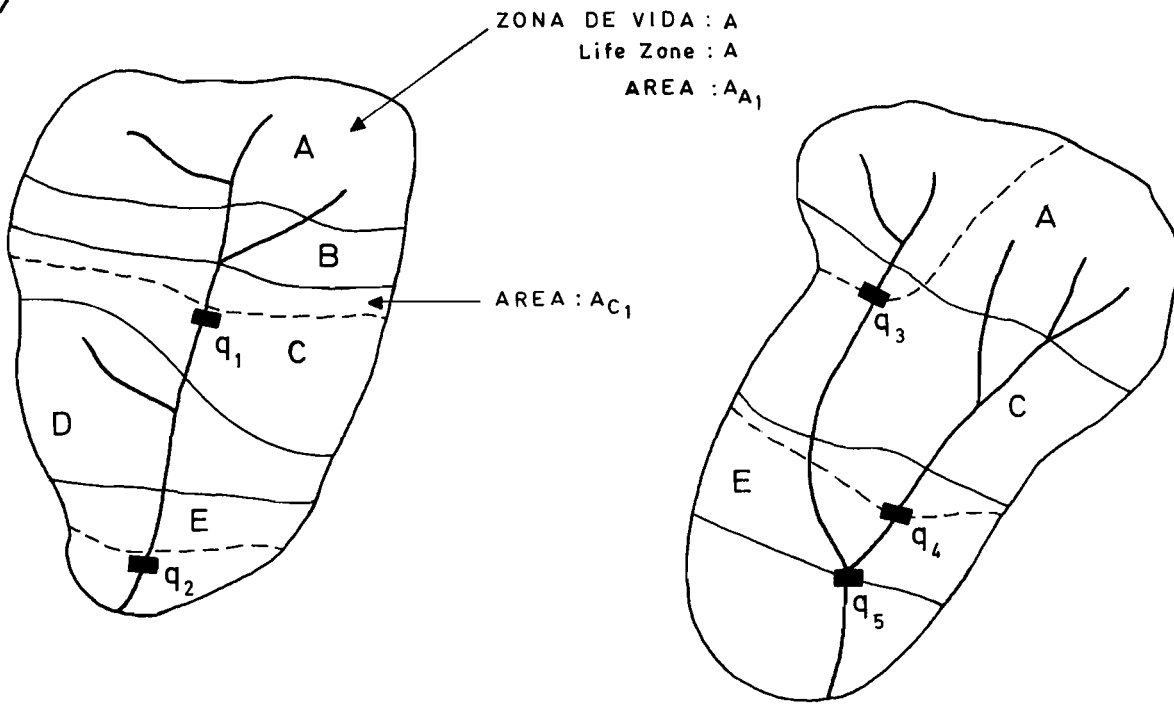


EVALUACION DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO NACIONAL

CLASIFICACION DE LAS ZONAS DE VIDA / Life zone classification

COEFICIENTES DE ESCURRIMIENTO / Runoff Coefficients

Fig. 4-13



~ = DIVISION DE LAS ZONAS DE VIDA
Life zone divide

- - - = DIVISION DEL AREA DE CUENCAS
Catchment area divide

PARA LA ESTACION 1 :
For gauging station 1 :

$$A_{A_1} \cdot R_A \cdot K_A + A_{B_1} \cdot R_B \cdot K_B + A_{C_1} \cdot R_C \cdot K_C = q_2$$

PARA LA ESTACION 2 :
For gauging station 2 :

$$A_{A_1} \cdot R_A \cdot K_A + A_{B_1} \cdot R_B \cdot K_B + A_{C_2} \cdot R_C \cdot K_C + A_{D_2} \cdot R_D \cdot K_D + A_{E_2} \cdot R_E \cdot K_E = q_2$$

PARA LA ESTACION 3 :
For gauging station 3 :

$$A_{A_3} \cdot R_A \cdot K_A + A_{C_3} \cdot R_C \cdot K_C = q_3$$

PARA LA ESTACION 4 :
For gauging station 4 :

$$A_{A_4} \cdot R_A \cdot K_A + A_{C_4} \cdot R_C \cdot K_C + A_{E_4} \cdot R_E \cdot K_E = q_4$$

RESUELVASE TAL QUE PARA VALORES DADOS
Solve such that for given values

DE : R_i , $i = A, B, \dots, E$
of :

$$0.0 \leq K_i \leq 1.0, \quad i = A, B, \dots, E$$

lineal adecuada. El segundo se empleó en los 6 grupos de ecuaciones preparados por ONERN, siendo la función objetivo a minimizar la suma de los cuadrados de los caudales registrados y pronosticados en las respectivas estaciones de control.

Los resultados de la aplicación de técnicas de programación matemáticas no son concluyentes, no obstante que se obtuvo convergencia. Los valores del coeficiente de escorrentía estaban algunas veces en desacuerdo con aquello que normalmente se hubiera esperado. En términos matemáticos, la solución hubiera convergido normalmente en los valores extremos de una o más de las variables. Independientemente ONERN realizó una aproximación manual, usando valores tentativos para cada K , sujetos a relaciones empíricas, obteniendo resultados razonables.

Aunque este trabajo no es definitivo, las ideas subyacentes se podrán utilizar en el futuro. Debe tenerse en mente que muchos de los valores históricos de caudales empleados no reflejan las condiciones naturales y que los rangos de precipitación asociados con la clasificación de Hodridge son relativamente grandes y que requieren una comparación adicional con los valores controlados a fin de restringir el espacio de optimización.

4.2.6 Desarrollo de los Modelos de Cuencas (Figuras 4-15, 4-16 y 4-17)

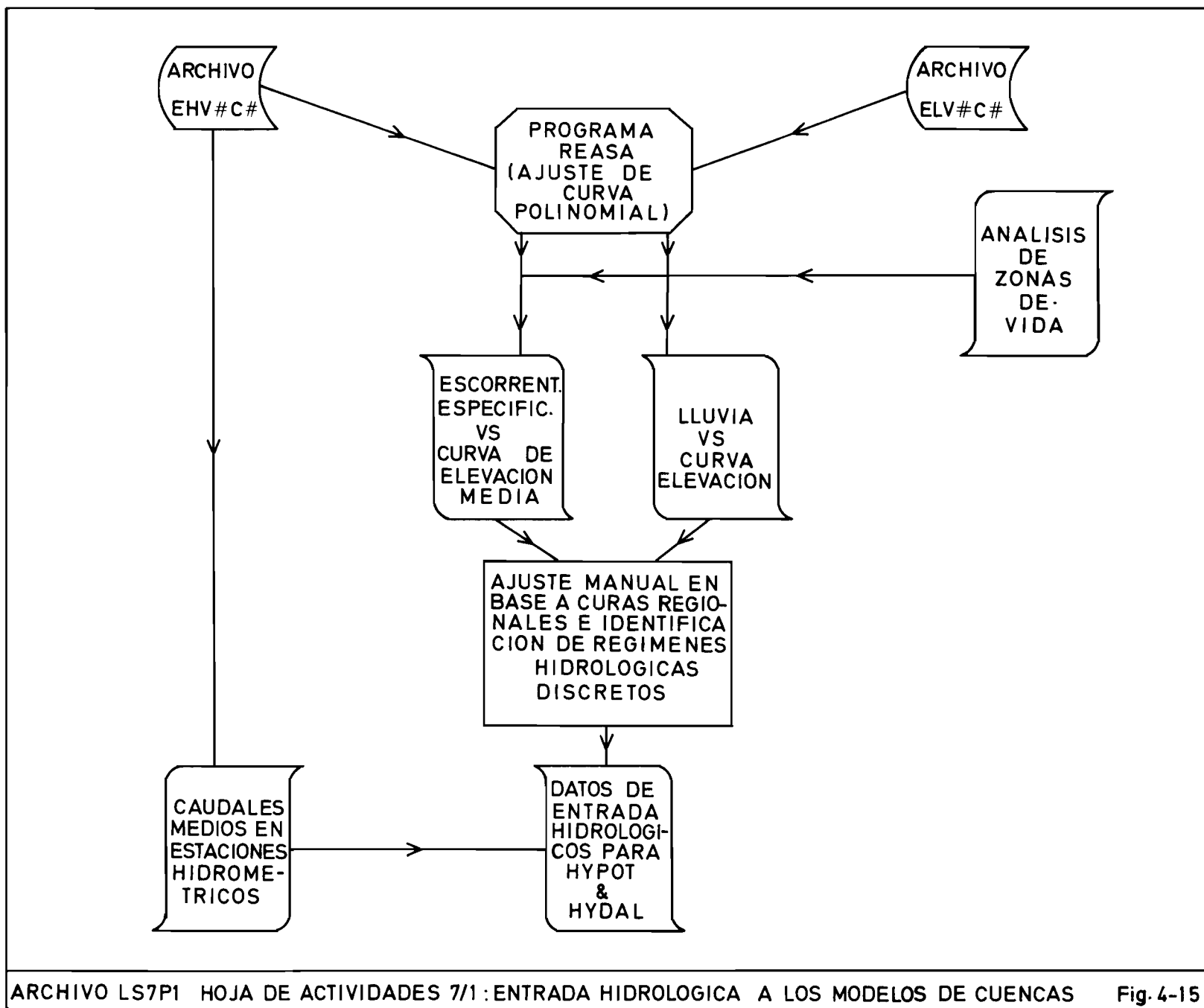
El modelo matemático de los sistemas fluviales obtenido del análisis topográfico que se describe en la Sección 4.2.2 se visualiza en las representaciones esquemáticas, dadas en el Volumen VI. Estas muestran las relaciones entre los ríos principales y los afluentes de orden más alto, y el sistema de numeración empleado. Las estaciones de control se identifican por sus números de código, y los caudales estimados en $m^3/seg.$ se presenta entre corchetes. Los tramos de ríos individuales se identifican en las tablas adjuntas con sus parámetros topográficos.

En el programa HYMOD, los aportes de cada río se calculan en base a la relación de escorrentía específica/elevación. Se suman luego y se comparan con el caudal atribuido a cualquier estación de control. En el caso de existir discrepancias entre el caudal medido y el calculado, se hace un ajuste porcentual a todos los caudales incrementales controlados por la estación, (esto es, puntos aguas arriba de la estación pero aguas abajo de cualquier otra estación) de tal modo que se igualen los caudales medidos y los calculados. Ese procedimiento se realiza automáticamente, pero en muchos casos las discrepancias son de magnitud muy grande para resolverse satisfactoriamente de esta manera y es preciso así dar explicaciones hidrológicas y/o físicas a este fenómeno.

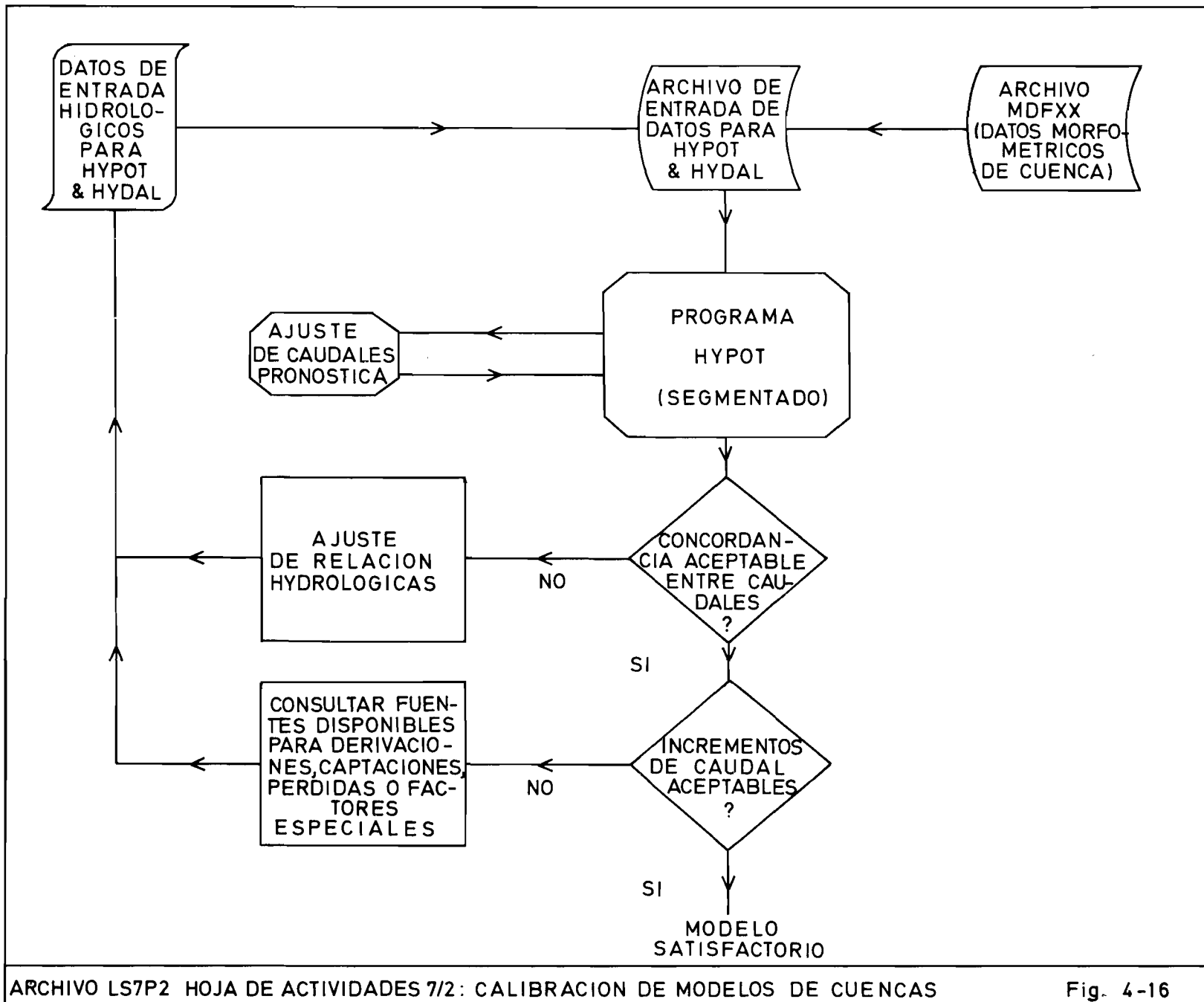
A continuación se describe el trabajo realizado en la calibración de los modelos a fin de explicar los incrementos irregulares de caudal.

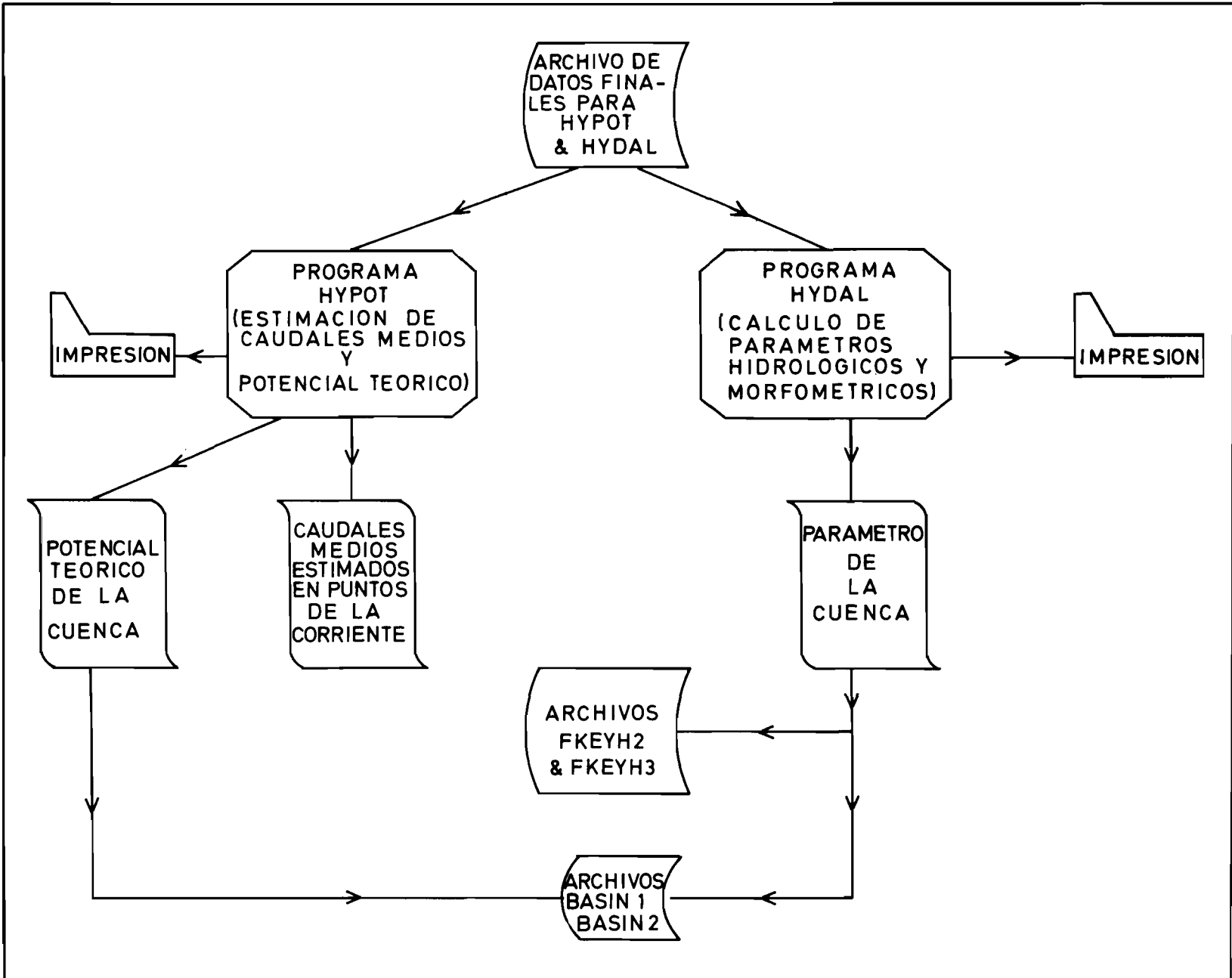
4.2.6.1 Calibración de Modelos

La calibración de los modelos de cuenca consistió en el ajuste de las relaciones hidrológicas de entrada y/o la implantación de puntos de entrada o de salida para tomar en cuenta las pérdidas o ganancias no medidas. Es necesario compensar el ajuste de la curva de entrada de escorrentía específica/elevación debido a la forma en que se emplea en el programa.



ARCHIVO LS7P1 HOJA DE ACTIVIDADES 7/1 : ENTRADA HIDROLOGICA A LOS MODELOS DE CUENCAS Fig. 4-15





ARCHIVO LS7P3 HOJA DE ACTIVIDADES 7/3: ALMACENAMIENTO DE RESULTADOS DE MODELOS DE CUENCAS Fig.4-17

Para elaborar la curva, se ha tomado la elevación promedio del área de cuenca hasta la estación, sin embargo, en el programa se han empleado divisiones más finas del área de cuenca y sus elevaciones.

Los puntos de extracción o adición de caudales se utilizan cuando el modelo indica incrementos de caudal demasiado grandes. Esto ocurre, por ejemplo, con las derivaciones no controladas, uso consuntivo, evaporación en superficies libres o infiltración. La mayoría de estos ajustes hubieron de hacerse en las cuencas de la costa debido al gran número de proyectos de irrigación existentes y sus canales de derivación correspondientes.

Como se describe en la Sección 4.2.3.1 se recopiló una cantidad considerable de información concerniente a tomas controladas y éstas se incluyeron en el proceso de calibración, y aparecen como flechas enteras en los diagramas fluviales. Sin embargo, en muchos casos existe poca información en relación a los consumos reales de irrigación, y no es extraño que las cantidades de agua captadas varíen considerablemente en relación a las demandas pronosticadas y/o las capacidades de los canales.

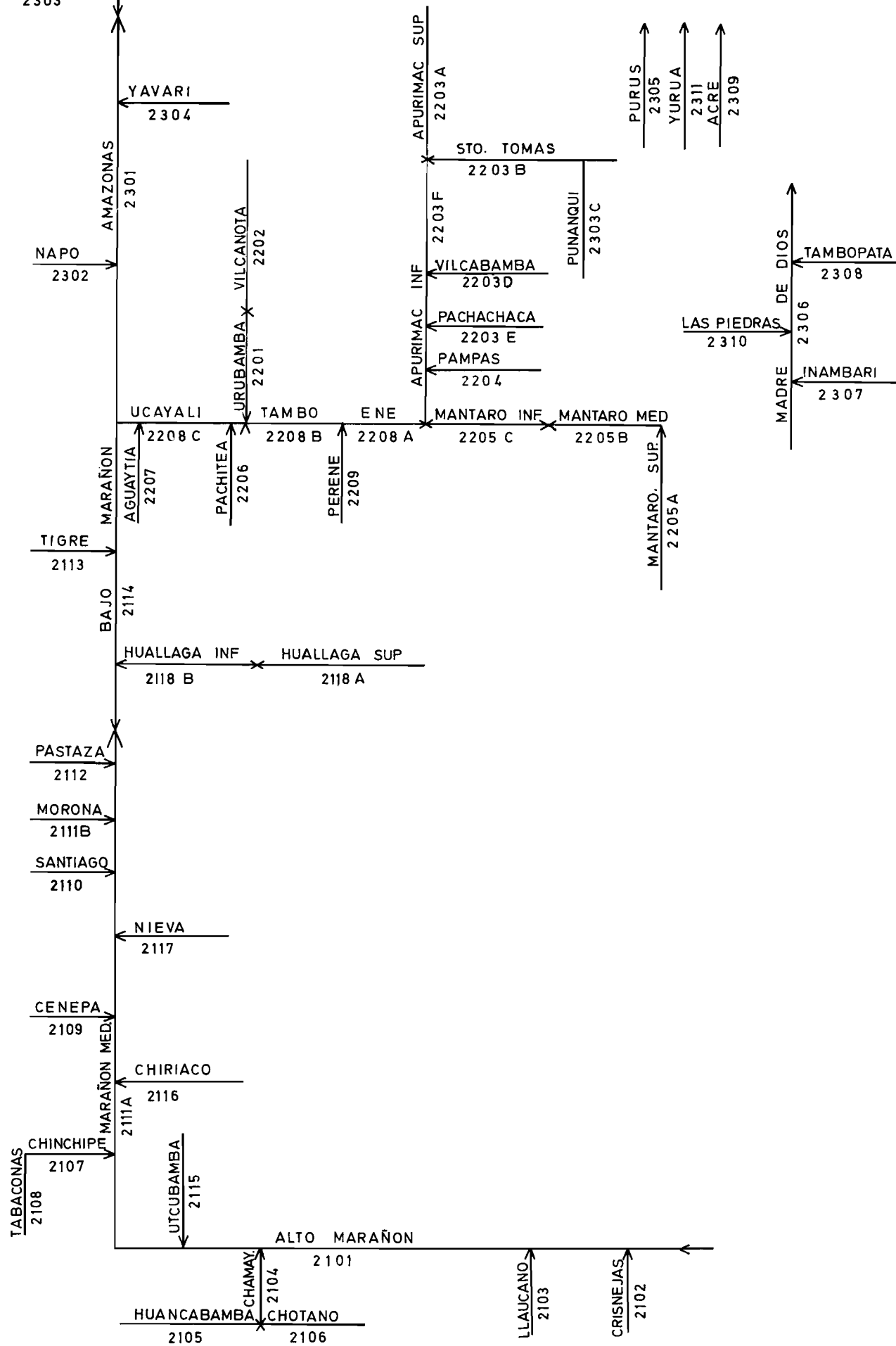
A fin de estimar, para los propósitos de este estudio, las cantidades promedio - a largo plazo - , se hizo uso de las notas suplementarias efectuadas en la fase de recopilación de información (Sección 3.4.2.4), los mapas de uso de agua preparados por la ONERN como parte de sus útiles estudios de cuencas, y la comunicación personal con ingenieros que tenían conocimiento de la zona. Estas cantidades estimadas se indican en los diagramas fluviales con flechas interrumpidas, teniendo cuidado de asegurar que cualquier toma podría, teóricamente generarse en el área de captación aguas arriba.

Las cantidades estimadas de la manera descrita anteriormente son tan sólo una primera aproximación, ya que no se disponía de recursos suficientes para investigar con mayor detalle sobre la base de experiencia de campo. Sin embargo se estima que los modelos así calibrados representan una herramienta valiosa para la futura cuantificación del uso del agua. Se espera que los modelos actuales constituyan la base para investigaciones más detalladas y que estos alentarán a los organismos pertinentes para que se determine estimaciones representativas de las cantidades involucradas.

Un ejemplo de un diagrama fluvial mostrando los resultados del proceso de calibración se muestra en la Figura 4-1

4.2.6.2 Organización de las Corridas

Debido a las interacciones entre cuencas individuales fue necesario llevar a cabo las corridas del modelo en un estricto orden a fin de hacer estimaciones consistentes de los transvases entre cuencas. Los límites impuestos por la capacidad de almacenamiento de la computadora hicieron que en las regiones de la sierra y selva algunos sistemas fluviales grandes tuvieran que segmentarse. En estos casos el caudal final estimado en el punto más bajo de un curso principal se traslada al punto inicial de la sección de unión en forma de una entrada puntual. Las interacciones realizadas para las corridas en la vertiente del Atlántico se muestran esquemáticamente en la Figura 4-18.



EVALUACION DEL
POTENCIAL
HIDROELECTRICO
NACIONAL

REPRESENTACION ESQUEMATICA DE LA
VERTIENTE DEL ATLANTICO
Schematic Representation
of Atlantic Watershed

Fig. 4-18

Después de la calibración de modelos se analizó el archivo final de datos de entrada utilizando el programa HYDAL a fin de calcular los parámetros hidrológicos y topográficos asociados con cada tramo de río, estación de control y la cuenca en general. Los valores obtenidos fueron entonces almacenados en los archivos FKE YH2, FKEYH3, y BASIN1, BASIN2 respectivamente.

4.2.7 Determinación del Potencial Hidroeléctrico Teórico

El potencial hidroeléctrico teórico o bruto de una cuenca o sistema fluvial es una medida de los recursos naturales totales disponibles para producción de energía, sin tomar en cuenta cualquier cambio proveniente de obras que pudieran ser construídas a fin de obtener dicha energía. De acuerdo con este concepto, se considera que toda el agua es capaz de generar electricidad en razón de su elevación natural y con 100 % de eficiencia.

En contraste con el potencial teórico existe el concepto del potencial técnico explotable o potencial práctico. Este es una medida de los recursos que podrían ser explotados por medio de desarrollos existentes o posibles, sujetos a las correspondientes limitaciones técnicas y de costo. Una forma particular del potencial técnico, llamada el potencial económico, es aquella que se considera factible de realizar a corto o mediano plazo dentro de las limitaciones de la economía nacional.

De aquí se desprende que el potencial teórico representa el límite superior del potencial técnico, y que sólo eventualmente éste podrá aproximarse al primero. En países en desarrollo el potencial técnico probablemente sólo representa un 30% del potencial teórico, bajo las condiciones actuales y es ésta la medida de la posible contribución de hidroelectricidad, que se recomienda para los fines de planeamiento de energía.

A fin de evaluar el potencial hidroeléctrico técnico de cualquier río es necesario estimar el volumen y las características del caudal en cualquier localización de proyectos. De igual modo, para determinar el potencial teórico es necesario averiguar el caudal medio a largo plazo en todos los puntos del río. Las secciones siguientes describen la metodología utilizada para estimar los caudales medios en todos los ríos importantes del Perú y que se basa en un modelo matemático simple para todas las cuencas. El programa de cómputo incorporado al modelo fue empleado también para estimar el potencial hidroeléctrico teórico.

4.2.7.1 Definiciones

El potencial hidroeléctrico teórico lineal de un tramo de río se puede calcular con la fórmula

$$PL = 9.81 * \bar{Q} * \Delta H$$

donde

PL = potencial bruto lineal, en kW.

\bar{Q} = caudal medio en el tramo de río, en m³/seg.

ΔH = diferencia en elevación (m.s.n.m.) entre los niveles de la superficie del agua en los límites del tramo del río, en metros.

Aplicando esta fórmula a todos los tramos de un río y sus afluentes, se puede obtener el potencial bruto lineal de toda la cuenca, sumando los potenciales de las secciones individuales.

A fin de aplicar la ecuación anterior es necesario definir los límites de cada tramo de río y de establecer las elevaciones de los puntos correspondientes. La manera en la cual se llevó a cabo estos requerimientos se ha descrito en la Sección 4.2.2.

4.2.7.2 Evaluación

La evaluación del potencial teórico lineal se realizó mediante el programa de cómputo HYMOD. Los datos de topografía utilizados por el programa incluyen los datos de la diferencia de nivel entre puntos consecutivos, y, como se explica en las secciones precedentes, los caudales medios en cada punto se estimaron con el mismo programa.

El potencial teórico lineal se calcula a su vez para cada tramo de río y se acumula al de toda la cuenca, teniendo en cuenta los afluentes. Para cada tramo de río, definido por 2 puntos se dan: la longitud del tramo, la diferencia de elevación, la pendiente, el caudal medio, el potencial lineal, el potencial lineal específico por Km., y el potencial lineal acumulado sumado de aguas arriba a aguas abajo. Además se calculan los potenciales teóricos basados en la precipitación total y escorrentía de las correspondientes áreas de cuenca.

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Recopilación de Datos y Extensión de Registros

Los datos físicos relativos a las estaciones de medida, los registros históricos y los registros extendidos, junto con toda la información relativa a los resultados analíticos intermedios están almacenados en el banco de datos hidrológico de la computadora del Proyecto. El volumen de estos datos es tal que no es factible incluirlos en este Informe pero debe señalarse que la amplia serie de programas de tabulación instalados permite, si fuera necesario, la extracción de datos en una forma adecuada para su publicación, si esto es requerido. En las hojas de actividades y en las tablas que muestran la estructura del banco de datos, se dan descripciones totales de los archivos de disco magnéticos.

El atlas hidrológico (Volumen IV) contiene mapas de cada cuenca mostrando la ubicación de todas las estaciones hidrológicas de control y tablas que contienen parámetros físicos y estadísticos básicos de los registros disponibles de cada estación se encuentran en el Volumen V.

4.3.2 Salidas de los Modelos de Cuencas

Las salidas de los programas HYMOD y HYDAL están incluídas en los Volúmenes VI, VII y VIII, los cuales contienen la siguiente información para cada cuenca:

- i) El diagrama fluvial correspondiente que muestra la representación matemática del sistema y las entradas y salidas puntuales resultantes de la calibración.
- ii) Las relaciones hidrológicas empleadas para pronósticos de caudal
- iii) Una tabla consignando cada tramo de río por su nombre e incluyendo los parámetros hidrológicos y topográficos correspondientes.
- iv) Una tabla con las características físicas incluyendo el caudal medio estimado en cada punto.
- v) La evaluación del potencial teórico lineal.

4.3.3 El Potencial Teórico

Los resultados del potencial teórico como se ha evaluado en cada cuenca del Perú se resumen en las Tablas 4-2, 4-3 y 4-4. Estos cuadros incluyen para cada cuenca, el área superficial total, la elevación media, la precipitación media, la longitud total de cauce, según está determinada en los programas HYMOD y HYDAL, y el potencial hidroeléctrico lineal correspondiente. Este último está subdividido en el potencial total (esto es, calculado en base al modelo como se ha definido), el potencial que sale de los límites del Perú, el potencial de los ríos fronterizos y el potencial total del que sale de los límites y del 50% del aquel proveniente de ríos internacionales que definen fronteras.

La Tabla 4-1 siguiente da un resumen del potencial lineal por vertiente:

TABLA 4-1

Vertiente	Area Km ²	Longitud de ríos Km.	Potencial Teórico Lineal MW	Potencial Específico MW/KM.
Pacífico	229 060	19 267	29 257	1.52
Lago Titicaca	45 953	4 023	564	0.14
Atlántico	1 023 268	58065	176 287	3.04
TOTAL	1 298 281	81 355	206 108	2.53

TABLA 4-2

*CODIGO	NV	NC	NOMBRE	AREA	ALT	LLUV	LONG	NS	PTT	PTE	PTX	PTD	PTN *
101	1	1	ZARUMILLA	817.0	279	369	129	1	17	0.13	0	14E	10.0
102	1	2	TUMBES	2729.0	362	422	236	2	278	1.18	56E	83E	180.5
103	1	3	CHIRA	11564.0	960	550	1033	5	722	0.70	0	252E	596.0
104	1	4	PIURA	10476.0	539	377	720	12	209	0.29	0	0	209.0
105	1	5	CASCAJAL	4147.0	228	219	288	0	21	0.07	0	0	21.0
106	1	6	OLMOS	965.0	730	365	91	0	22	0.24	0	0	22.0
107	1	7	MOTUPE	1951.0	665	279	237	2	61	0.26	0	0	61.0
108	1	8	LA LECHE	1578.0	1255	584	150	1	107	0.71	0	0	107.0
109	1	9	CHANCAY-LAMBAYEQUE	4906.0	1509	669	396	2	531	1.34	0	0	531.0
110	1	10	ZANA	2080.0	1069	514	169	5	125	0.74	0	0	125.0
111	1	11	CHAMAN	1248.0	671	370	99	0	19	0.19	0	0	19.0
112	1	12	JEQUETEPEQUE	4257.0	2220	731	408	4	695	1.70	0	0	695.0
113	1	13	CHICAMA	4454.0	1772	558	451	1	443	0.98	0	0	443.0
114	1	14	MOCHE	2161.0	2221	496	304	1	278	0.91	0	0	278.0
115	1	15	VIRU	1967.0	2015	429	225	1	151	0.67	0	0	151.0
116	1	16	CHAO	1443.0	1433	324	161	0	82	0.51	0	0	82.0
117	1	17	SANTA	12479.0	3403	650	1140	15	4953	4.34	0	0	4953.0
118	1	18	LACRAMARCA	685.0	1560	161	71	0	9	0.13	0	0	9.0
119	1	19	NEPENA	1885.0	2034	266	266	1	87	0.33	0	0	87.0
120	1	20	CASMA	3064.0	2309	315	305	3	207	0.68	0	0	207.0
121	1	21	CULEBRAS	671.0	1615	191	105	0	16	0.15	0	0	16.0
122	1	22	HUARMEY	2354.0	2477	353	191	1	169	0.88	0	0	169.0
123	1	23	FORTALEZA	2342.0	2434	330	280	1	114	0.41	0	0	114.0
124	1	24	PATIVILCA	4908.0	3078	480	514	1	1675	3.26	0	0	1675.0
125	1	25	SUPE	1078.0	2165	302	114	1	78	0.68	0	0	78.0
126	1	26	HUAURA	4483.0	3061	592	360	6	1062	2.95	0	0	1062.0
127	1	27	CHANCAY-HUARAL	3382.0	2665	410	243	1	576	2.37	0	0	576.0
128	1	28	CHILLON	2321.0	2485	364	211	3	332	1.57	0	0	332.0
129	1	29	RIMAC	3134.0	3157	520	298	6	887	2.98	0	0	887.0
130	1	30	LURIN	1600.0	2456	326	166	3	176	1.06	0	0	176.0
131	1	31	CHILCA	798.0	1589	170	96	0	29	0.30	0	0	29.0
132	1	32	MALA	2522.0	2999	427	236	1	527	2.23	0	0	527.0
133	1	33	OMAS	1741.0	1702	188	101	0	82	0.81	0	0	82.0
134	1	34	CANETE	5981.0	3645	541	563	1	1927	3.42	0	0	1927.0
135	1	35	TOPARA	489.0	1993	216	60	0	24	0.40	0	0	24.0
136	1	36	SAN JUAN	5333.0	2567	354	310	1	774	2.50	0	0	774.0
137	1	37	PISCO	4054.0	3049	468	349	1	872	2.50	0	0	872.0
138	1	38	ICA	7366.0	1756	183	339	1	458	1.35	0	0	458.0
139	1	39	GRANDE	10522.0	2138	285	1129	11	424	0.38	0	0	424.0
140	1	40	ACARI	4082.0	3013	438	339	3	660	1.95	0	0	660.0
141	1	41	YAUCA	4589.0	2757	380	357	2	298	0.83	0	0	298.0
142	1	42	CHALA	1284.0	2072	234	161	0	42	0.26	0	0	42.0
143	1	43	CHAPARRA	1387.0	2776	332	141	0	67	0.48	0	0	67.0
144	1	44	ATICO	1425.0	2239	226	151	0	32	0.21	0	0	32.0
145	1	45	CARAVELI	2009.0	2516	286	196	0	75	0.38	0	0	75.0
146	1	46	OCONA	15908.0	3719	768	1430	2	3248	2.27	0	0	3248.0
147	1	47	MAJES-CAMANA	17141.0	3509	552	1039	9	2910	2.80	0	0	2910.0
148	1	48	QUILCA O CHILI	13254.0	3422	343	881	6	1030	1.17	0	0	1030.0
149	1	49	TAMBO	12697.0	3472	351	919	2	1508	1.64	0	0	1508.0
150	1	50	OSMORE	3595.0	1971	108	321	3	164	0.51	0	0	164.0
151	1	51	LOCUMBA	5316.0	2599	176	384	8	97	0.25	0	0	97.0
152	1	52	SAMA	4809.0	2260	107	278	3	83	0.30	0	0	83.0
153	1	53	CAPLINA	1629.0	3095	167	126	2	54	0.43	0	0	54.0

 * SUB-TOTAL VERTIENTE PACIFICO : POTENCIAL TEORICO = 29256.5 M.W. *

TABLA 4 - 3

*CODIGO	NV	NC	NOMBRE	AREA	ALT	LLUV	LONG	NS	PTT	PTE	PTX	PTD	PTN *
2101	21	1	ALTO MARANON	28500.0	3009	815	1932	2	8636	4.47	0	0	8636.0
2102	21	2	CRISNEJAS	4660.0	3150	762	700	6	606	0.87	0	0	606.0
2103	21	3	LLAUCANO	2823.0	2574	1058	303	10	856	2.83	0	0	856.0
2104	21	4	CHAMAYA	3380.0	1682	1036	197	5	729	3.70	0	0	729.0
2105	21	5	HUANCABAMBA	3448.0	2122	688	301	6	310	1.03	0	0	310.0
2106	21	6	CHOTANO	1694.0	2298	1068	183	7	334	1.83	0	0	334.0
2107	21	7	CHINCHIPE	7157.0	1434	1074	375	0	814	2.17	231E	168E	499.0
2108	21	8	TABACONAS	3792.0	1941	1234	225	3	888	3.95	0	0	888.0
2109	21	9	CENEPA	7360.0	732	940	434	0	313	0.72	0	0	313.0
2110	21	10	SANTIAGO	33000.0	692	2655	2091	0	5684	2.72	2232E	0	3452.0
2111 A	21	11	MARANON MEDIO	24225.0	368	1177	1884	0	6252	3.32	0	0	6252.0
2111 B	21	11	MORONA	16070.0	526	2534	830	0	2585	3.11	832E	0	1753.0
2112	21	12	PASTAZA	40997.0	1077	2389	2692	0	10955	4.07	9304E	0	1651.0
2113	21	13	TIGRE	34120.0	386	2964	1914	0	4817	2.52	0	0	4817.0
2114	21	14	BAJO MARANON	44730.0	176	2376	1867	0	2731	1.46	0	0	2731.0
2115	21	15	UTCUBAMBA	7507.0	1903	840	384	3	1232	3.21	0	0	1232.0
2116	21	16	CHIRIACO	4125.0	1755	803	247	1	832	3.37	0	0	832.0
2117	21	17	NIEVA	4330.0	711	603	335	0	258	0.77	0	0	258.0
2118 A	21	18	HUALLAGA SUP	75130.0	1496	1344	4324	5	26362	6.10	0	0	26362.0
2118 B	21	18	HUALLAGA INF	17433.0	255	1430	1158	0	917	0.79	0	0	917.0
2201	22	1	URUBAMBA	52041.0	1577	1253	3536	1	10591	3.00	0	0	10591.0
2202	22	2	VILCANOTA	7272.0	4366	753	682	1	1265	1.85	0	0	1265.0
2203 A	22	3	APURIMAC SUP	13538.0	4237	732	1522	0	1884	1.24	0	0	1884.0
2203 B	22	3	SANTO TOMAS	3072.0	4196	909	372	0	593	1.99	0	0	593.0
2203 C	22	3	PUNANQUI	793.0	4103	903	79	0	99	1.25	0	0	99.0
2203 D	22	3	VILCABAMBA	2575.0	4356	932	227	0	568	2.50	0	0	568.0
2203 E	22	3	PACHACHACA	5608.0	4157	994	427	0	1347	3.15	0	0	1347.0
2203 F	22	3	APURIMAC INF	15357.0	2960	948	1057	0	12645	11.96	0	0	12645.0
2204	22	4	PAMPAS	23742.0	3821	853	1446	3	4403	3.04	0	0	4403.0
2205 A	22	5	MANTARO SUP	9190.0	4333	810	917	17	683	0.74	0	0	683.0
2205 B	22	5	MANTARO MED	18580.0	3958	782	1207	11	4469	3.70	0	0	4469.0
2205 C	22	5	MANTARO INF	6823.0	3078	763	555	1	5026	9.06	0	0	5026.0
2206	22	6	PACHITEA	26980.0	857	2303	1355	0	6146	4.54	0	0	6146.0
2207	22	7	AGUAYTIA	11540.0	600	2392	652	0	1085	1.66	0	0	1085.0
2208 A	22	8	ENE	7576.0	945	1691	451	0	2015	4.47	0	0	2015.0
2208 B	22	8	TAMBO	5171.0	700	1780	293	0	2127	7.26	0	0	2127.0
2208 C	22	8	UCAYALI	111928.0	289	2081	4667	0	14203	3.04	0	0	14203.0
2209	22	9	PERENE	20552.0	2229	1170	1146	3	6760	5.90	0	0	6760.0
2301	23	1	AMAZONAS	57461.0	112	2734	3068	0	5795	1.89	0	0	5795.0
2302	23	2	NAPO	44822.0	228	2769	2918	0	3142	1.08	0	0	3142.0
2303	23	3	PUTUMAYO	40138.0	160	2747	2130	0	742	0.35	0	638C	423.0
2304	23	4	YAVARI	59170.0	370	2811	1875	0	7077	3.77	772BS	0	6305.0
2305	23	5	PURUS	16900.0	414	1888	825	0	269	0.33	0	0	269.0
2306	23	6	MADRE DE DIOS	37600.0	948	3490	1005	0	8837	8.79	0	0	8837.0
2307	23	7	INAMBARI	17376.0	2658	2683	1552	0	10110	6.51	0	0	10110.0
2308	23	8	TAMBOPATA	14710.0	990	1624	470	0	1187	2.53	0	0	1187.0
2309	23	9	ACRE	3230.0	454	1859	170	0	36	0.21	0	36BS	18.0
2310	23	10	LAS PIEDRAS	15550.0	396	1895	520	0	609	1.17	0	0	609.0
2311	23	11	YURUA	9492.0	329	1935	565	0	264	0.47	0	19BS	254.5

* SUB-TOTAL VERTIENTE ATLANTICO : POTENCIAL TEORICO = 176286.5 M.W. *													

TABLA 4-4

```

*****
*CODIGO  NV NC      NOMBRE      AREA  ALT  LLUV  LONG  NS   PTT  PTE  PTX   PTD   PTN *
*****
301    3  1  SUCHES      1453.0  4656  604   168  0    33  0.20  0    18BV  24.0
302    3  2  HUANCANE    3557.0  4259  692   437  1    64  0.15  0     0    64.0
303    3  3  RAMIS      14444.0  4307  676  1426  1   228  0.16  0     0   228.0
304    3  4  COATA      4757.0  4338  854   557  3   152  0.27  0     0   152.0
305    3  5  ILLPA      1165.0  4133  737   181  0    14  0.08  0     0    14.0
306    3  6  ILAVE      7977.0  4333  468   767  3    62  0.08  0     0    62.0
307    3  7  MAURE      1687.0  4542  403   227  4    12  0.05  0     0    12.0
308    3  8  ZAPATILLA   474.0  4011  598    80  0     2  0.02  0     0     2.0
309    3  9  CCALLACCANE 1299.0  4121  536   180  0     6  0.03  0     0     6.0
300    3  0  LAGO TITICACA 9140.0    0     0     0  0     0  0.00  0     0     0.0
*****
*                SUB-TOTAL VERTIENTE DEL LAGO TITICACA : POTENCIAL TEORICO =      564.0  M.W.      *
*****

*****
*                POTENCIAL TEORICO DE TODO EL PERU =  206107.0  M.W.      *
*****

```

CLAVE : KEY

NV = NUMERO DE VERTIENTE : WATERSHED NUMBER

NC = NUMERO DE CUENCA : RIVER BASIN NUMBER

AREA = AREA DE CAPTACION : CATCHMENT AREA (KM*KM)

ALT = ALTURA PROMEDIO DE LA CUENCA (M.S.N.M.) : MEAN ELEVATION OF CATCHMENT (M.A.S.L.)

LLUV = LLUVIA PROMEDIO (MM/ANO) : MEAN RAINFALL (MM/YEAR)

LONG = LONGITUD TOTAL DE LOS RIOS Y AFLUENTES CONSIDERADOS : TOTAL STREAMLENGTH OF MAIN RIVERS
AND TRIBUTARIES CONSIDERED (KM)

NS = NUMERO DE ESTACIONES HIDROMETRICAS CONSIDERADAS : NUMBER OF STREAMFLOW STATIONS WITH ADEQUATE DATA

PTT = POTENCIAL TEORICO TOTAL DE LA CUENCA : TOTAL THEORETICAL POTENTIAL OF THE BASIN (MW)

PTE = POTENCIAL ESPECIFICO : SPECIFIC POTENTIAL (MW/KM)

PTX = POTENCIAL REALIZADO EN PARTES EXTRANJERAS DE LA CUENCA : POTENTIAL ARISING IN NON-PERUVIAN PARTS
OF THE BASIN (MW)

PTD = POTENCIAL TEORICO REALIZADO EN RIOS INTERNACIONALES : THEORETICAL POTENTIAL ARISING IN
INTERNATIONAL RIVERS (MW)

PTN = POTENCIAL TEORICO NETO DE LA PARTE PERUANA : NET THEORETICAL POTENTIAL ATTRIBUTABLE TO PERU (MW)

(PTN = PTT - PTX - 0.5 * PTD)

E = ECUADOR BS = BRASIL BV = BOLIVIA C = COLOMBIA

Las cifras presentadas pueden compararse con evaluaciones previas del potencial hidroeléctrico teórico del Perú pero es importante señalar las bases en las cuales se efectuaron.

4.3.4 Desarrollos Futuros

En las secciones que tratan de las actividades hidrológicas llevadas a cabo para la estimación de los caudales medios de los ríos se dan varias recomendaciones para futuras ampliaciones y desarrollos. Un aspecto central del presente trabajo es que el banco de datos hidrológico está basado en una computadora y que, en conjunción con los programas de cómputo instalados, cualquier fase del análisis hidrológico puede repetirse cuando se disponga de información adicional. La natural flexibilidad de los archivos de computadora facilita la rápida puesta al día de aquellos archivos que contienen los registros básicos de precipitación y escorrentía.

Existen mayores oportunidades para el desarrollo de los modelos del sistema fluvial, especialmente lo considerable a aquellas cantidades asignadas como pérdidas o ganancias netas en la fase de calibración. Probablemente se puedan efectuar mejoras adicionales para deducir las relaciones hidrológicas empleadas, en términos del número de parámetros considerados; y en investigaciones adicionales de la teoría de las zonas de vida aplicadas a áreas no controladas.

Finalmente, debe recalarse que los métodos analíticos más sofisticados nunca podrán compensar los errores sistemáticos en los datos básicos. Debido a la limitación de personal y tiempo disponibles en este estudio no fue posible revisar, por ejemplo las curvas de calibración en estaciones individuales, y parece evidente que queda mucho trabajo por hacer en el campo de homogeneizar los limitados datos hidrológicos que se disponen en el Perú.

5. EL POTENCIAL HIDROELECTRICO TECNICO

5.1 INTRODUCCION

El potencial hidroeléctrico teórico de un país o región proporciona una medida de los recursos naturales de agua totales disponibles para producción de energía. Como se describe en la Sección 4 de este Volumen, se ha estimado que para el Perú esta cifra es algo más de 200,000 MW. En términos muy generales, la proporción de esta cantidad teórica que puede ser desarrollada dentro de las actuales restricciones técnicas y económicas es normalmente del orden del 30 - 50%.

A fin de obtener una medida confiable de este porcentaje, es necesario establecer un catálogo de proyectos potenciales que podrían ser construidos con el objeto de aprovechar los recursos disponibles. Llevando a cabo un proceso selectivo para identificar aquellos proyectos mutuamente excluyentes, incompatibles con el desarrollo final de un determinado sistema fluvial para aprovechamiento de energía, el catálogo resultante contiene detalles de aquellas centrales hidroeléctricas que pueden ser consideradas en la selección de programas de expansión del sistema de generación en relación al crecimiento de la demanda de energía eléctrica.

El presente capítulo describe el tratamiento del problema y las técnicas aplicadas en la definición, evaluación y selección de los proyectos hidroeléctricos potenciales elaborados a fin de estimar el potencial técnico y establecer el catálogo de desarrollos hidroeléctricos.

El criterio básico adoptado en la definición de proyectos fue que dichos desarrollos deberían permitir, en cuanto fuese posible, el aprovechamiento de todos los caudales disponibles y las caídas potenciales dentro de una cuenca. (Sección 5.2.6). Los proyectos potenciales se identificaron inicialmente en base a la información topográfica, geológica e hidrológica disponible. (Secciones 5.2.2; 5.2.3 y 5.2.4). Los emplazamientos correspondientes fueron entonces sujetos a una inspección visual en el campo para apoyar o descontar su factibilidad sobre bases técnicas. (Sección 5.2.7). Se elaboraron diseños básicos para todos los proyectos juzgados técnicamente factibles, junto con sus posibles alternativas en términos de captaciones derivadas, altura de presa, ubicación de casa de máquinas y eje de túneles. (Sección 5.2.8).

La evaluación económica de desarrollos hidroeléctricos potenciales requiere el cálculo del costo de las estructuras y del equipo correspondientes y la evaluación de parámetros de desempeño tales como la capacidad garantizada y energía promedio. Dado el gran número de proyectos y alternativas de proyectos a evaluarse, se aplicaron curvas generales de costos para la estimación de desembolsos de capital atribuibles a cada elemento de proyectos (Sección 5.2.9). Estas curvas se dedujeron en base a parámetros de dimensionamiento y a análisis de la información más reciente de precios, y se incorporaron al programa EVAL. Este programa también realiza el dimensionamiento de elementos estandares empleando un diseño general y los valores hidrológicos deducidos en la fase de identificación de proyectos, y principios fundamentales de ingeniería. Se incluye también la influencia de las condiciones geológicas en los costos de construcción, que se basan en una clasificación

numérica de las propiedades geofísicas atribuidas a las formaciones existentes en cada emplazamiento para la construcción de obras o perforado de túneles.

La comparación de proyectos hidroeléctricos potenciales se hizo en base al costo unitario por kilovatio-hora de energía producida (Sección 5.2.11). En la comparación de posibles centrales hidroeléctricas es deseable diferenciar entre energía primaria y secundaria, asignándose a la primera un alto grado de confiabilidad en tanto la segunda está sujeta a variaciones anuales y estacionales. Dichos estimados se obtuvieron tomando en consideración el régimen hidrológico esperado de caudales de entrada, el almacenamiento proporcionado en un determinado emplazamiento de proyecto, la máxima descarga de turbina, la caída neta, y una regla de operación que aseguran la minimización del rebose (Sección 5.2.5). Se llevaron a cabo estudios hidrológicos adicionales para proporcionar estimaciones de primer orden de valores esperados de avenidas transporte de sedimentos y pérdidas por evaporación (Sección 5.2.4). En el costo anual total de proyectos se tomó en consideración los beneficios secundarios potenciales que podrían asignarse a un desarrollo particular, en el caso en que el caudal regulado pudiera ser usado con fines de irrigación (Sección 5.2.10).

Donde se dispusieron de estudios previos de aprovechamiento, dichos proyectos fueron sujetos a los mismos procedimientos e investigaciones que para aquellos recién definidos. Se fijó un límite inferior para los proyectos nuevos a investigar de 30 MW en base al caudal medio estimado disponible para generación de energía y los requerimientos probables del sistema de generación integrado (Sección 5.2).

La identificación de todos los proyectos hidroeléctricos potenciales produjo necesariamente un gran número de alternativas y desarrollos mutuamente excluyentes. A fin de obtener el potencial técnico fue necesario, por consiguiente, efectuar un proceso selectivo preliminar por el cual se identificaron las cadenas óptimas de desarrollo en base al costo mínimo ponderado de producción de energía (Sección 5.2.11). Para este propósito se asumió una capacidad instalada de turbina correspondiente al caudal medio de entrada. El potencial técnico se calculó sumando las energías potenciales indicadas para cada cadena de desarrollo óptima. Los proyectos individualmente considerados en dichas cadenas conforman el catálogo de proyectos hidroeléctricos para la selección del programa óptimo de desarrollo (Capítulo 6).

La capacidad instalada óptima de una determinada planta será una función compleja de parámetros que sólo pueden ser debidamente considerados en el marco de un estudio general de la expansión del sistema de generación. De aquí se concluye que los proyectos potenciales deberán ser evaluados estableciéndose un rango de capacidades sin asignarlos sumariamente a una de las categorías normalmente distinguidas como carga base, media o punta. En el programa EVAL, por consiguiente, una determinada alternativa de proyecto se evaluó para cada una de 15 capacidades instaladas, siendo éstas definidas en términos de la descarga máxima de turbina.

Todos los proyectos en el catálogo de proyectos hidroeléctricos fueron ordenados de acuerdo a varios criterios técnico / económicos y clasificados con relación al rango de capacidad instalada y de disponibilidad de información bá-

sica (Sección 5.2.12). Tomando en cuenta consideraciones adicionales, se hizo un análisis más detallado de 10 proyectos considerados suficientemente atractivos para merecer un análisis serio para el planeamiento a mediano y largo plazo.

5.2 METODOLOGIA PARA LA DEFINICION Y EVALUACION DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS

Dada la gran cantidad de posibles desarrollos y las complejidades que surgen de proyectos mutuamente excluyentes, la definición y evaluación de Planes Potenciales de Hidroelectricidad se realizó con los siguientes pasos:

- Definición sistemática de todas las posibilidades de desarrollo técnicamente atractivas incluyendo proyectos previamente estudiados y ampliaciones factibles de plantas existentes.
- Basados en información topográfica disponible y caudales medios estimados obtenidos del modelo matemático para cada cuenca se eliminaron aquellos proyectos que no pudieron satisfacer el criterio mínimo para la capacidad instalada. El criterio adoptado fue : *
 - 100 MW Para centrales a filo de agua, es decir con almacenamiento despreciable para regulación.
 - 50 MW Para centrales con embalse mensual
 - 30 MW Para centrales con embalses multianuales.
- Pre-selección de aquellos elementos de proyectos que son independientes de la selección de la cadena óptima de desarrollo. Corresponde a la selección de tipo de presa, etc.
- Prediseño de proyectos y configuración de alternativas. Su evaluación técnica y económica se hizo con el programa de cómputo EVAL, asumiendo una capacidad instalada correspondiente al caudal medio de entrada.
- Comparación de todas las posibles cadenas alternativas de desarrollo de un determinado sistema de ríos o cuencas interconectadas. Selección de aquella que indica la combinación óptima de desarrollo total en términos del costo por kWh.
- Dimensionamiento y estimación de costos de 15 variantes de capacidad instalada para cada uno de los elementos de un proyecto para la cadena de desarrollo seleccionada, usando el programa de cómputo EVAL.

* Se dió también consideración a la identificación de proyectos potenciales con una capacidad instalada de 20 MW, para dar suministro a sistemas aislados de generación. Sin embargo, un análisis de la ubicación geográfica y la demanda futura probable de tales centros de carga, y su relación con los sistemas interconectados existentes y futuros mostró que es muy improbable que los sistemas aislados justifiquen plantas del orden de 20 MW antes del año 2000.