

LEYENDA

VIAJES POR TIERRA —○—○—○—
 Trips by surface

VIAJES POR HELICOPTERO + + + + +
 Trips by helicopter

- Ejes, alturas límites y tipos de presas (El tipo de presas se establece en función del perfil del valle y geomorfología.
- Ejes y tipos de vertederos.
- Trazados de túneles, canales y tuberías forzadas.
- Ubicación y tipo de casas de máquinas
- Zona de embalse
- Bocatomas, etc.

Para cada elemento del proyecto se analiza la factibilidad geológica y topográfica. Es responsabilidad del geólogo la inspección visual de las condiciones geológicas, determinar la ubicación de los depósitos de materiales de construcción y juzgar la factibilidad geológica de construcción de los diversos elementos. Siempre se ha tratado de aterrizar en los sitios de investigación para la toma de muestras, salvo que las condiciones atmosféricas o topográficas lo impidieran. Más detalles sobre la metodología de evaluación geológica están descritas en la Sección 5.2.3.

Para las zonas sin información topográfica a nivel de cartas con curvas de nivel se ha efectuado en el campo el proceso de definición de proyectos y se han visualizado en las fotografías de satélite o de radar los elementos de definición.

En base de la investigación de campo en las regiones sin cartas y la identificación de esquemas de Proyectos Hidroeléctrico se ha podido decidir exactamente las zonas en las cuales ha sido necesaria la restitución aerofotogramétrica aproximada, que se ha explicado en detalle en la sección 5.2.2.2

Han ocurrido a veces paralización de los trabajos debido a condiciones meteorológicas adversas, fallas en el funcionamiento del helicóptero y descoordinaciones en el abastecimiento de combustible.

Especialmente en la Selva de Madre de Dios se han tenido problemas de navegación por la inexactitud de la carta nacional 1:1'000.000 utilizada para este propósito. Esas dificultades se han evitado utilizando para la navegación las fotografías de satélites ERTS-2 ampliados hasta una escala de 1:250.000

Debido a los altos costos de alquiler de helicóptero se considera que hubiera sido más económico la compra de un aparato, el cual en el futuro se podría utilizar intensamente en los estudios de profundización de los mejores Proyectos Hidroeléctricos.

5.2.8 Diseño Preliminar

Básicamente se han utilizado los mismos criterios que en la fase de identificación en gabinete de los esquemas, con la diferencia que se acumuló mucha más información de la que se disponían en aquella etapa preliminar. Además se disponía de información cartográfica aproximada aún para las zonas que no disponían de restitución. Un especial énfasis se le ha dado en esta etapa a la determinación de las características del proyecto dependientes de la obra de retención. En base de la carta topográfica a es

cala 1:25.000, & 1: 100.000 según sea el caso se leen los valores horizontales correspondientes al perfil del valle y se planimetrizan las superficies de las curvas de nivel afectadas por el supuesto embalse de retención. Con el programa auxiliar VUTIL se obtienen, a través de un método de integración numérico, las curvas de volumen y área del espejo de agua en función de la altura de embalsamiento. Para cada tipo de presa analizada se obtiene además el volumen de presa, el volumen útil del embalse, la longitud del canal de desvío y vertedero y los valores del almacenaje específico (metros cúbicos de agua almacenadas con un metro cúbico de presa).

Especial énfasis se ha dado a los trazados de túneles y ubicación de ventanas de ejecución.

Se ha efectuado un cuidadoso análisis de la ubicación del resto de elementos como son: bocatomas, vertederos, tubería forzadas, chimeneas de equilibrio y casas de máquinas.

La metodología implementada y los programas de computación electrónica facilitan una minimización del trabajo rutinario, permitiendo a los ingenieros concentrar sus esfuerzos en trabajos de concepción y diseño lógico.

La entrada de datos se efectúa con el programa INPUT de manera interactiva. Esto significa que la entrada se efectuó de modo diálogo hombre-máquina de una manera que el programa pide por pantalla cierta información que el usuario ingresa. Si la información es ilógica o errónea el programa puede pedirla de nuevo, dentro de ciertos límites. Este tipo de programas son autodocumentados y requieren un mínimo de preparación para uso.

Además del programa VUTIL, se utiliza en esta etapa una serie de otros programas auxiliares que agilizan el proceso de prediseño e ingreso de datos. Todo el conjunto de programas está descrito en el volumen XI "Bancos de Datos y Descripción de Programas. La totalidad de parámetros de entrada para definición de proyectos hidroeléctricos está descrito en el mismo volumen.

Con la ayuda del programa EVAL a través de un proceso de pre selección se han reducido al máximo el número de alternativas que entran en el proceso de decisión de la cadena de desarrollo óptimo.

Un caso típico de predecisión que se puede efectuar, antes de entrar a nivel de comparación de cadenas de desarrollo alternativo, es decidir el tipo de presa que se va a utilizar. En esta etapa de la planificación se han utilizado tres tipos de presas: de tierra, de enrocamiento y de hormigón de gravedad. En la selección óptima juegan un papel los volúmenes de la presa, el volumen de embalse, el vertedero y el túnel de desvío con sus respectivos factores geológicos y de material. La decisión con respecto al tipo de presa no influye en el desarrollo de las cadenas así que esta decisión se puede tomar antes del respectivo análisis.

5.2.9 Costos

En la presente sección se indica la metodología de las funciones de costos incluidas en el programa EVAL. Una descripción detallada acerca del programa y del catálogo de funciones de costos se puede encontrar en el volumen XI "Bancos de Datos y Descripción de Programas" del presente informe.

5.2.9.1 Metodología

La metodología general para determinar las funciones de costos, varía dependiendo del tipo de elemento a evaluarse, esto es:

Para obras tales como presas, túneles, canales, etc.; en las que además de sus dimensiones físicas intervienen otras variables como la topografía específica, la geología específica, etc, las funciones de costos se han determinado generalmente en base a información estadística de costos, tanto de experiencias internacionales como de estudios recientes dentro del país. Normalmente de esta información estadística se obtienen puntos, los cuales van a ser correlacionados en función de la variable más importante, a través del programa de correlación Polinomial POLYNO. Este programa analiza funciones de hasta 5º grado, incluyendo funciones logarítmicas con lo cual hace un total de 20 curvas analizadas, que facilita una adecuada selección de la función de costos.

Si se trata de elementos o equipos electromecánicos, en los cuales las variables determinan un costo único, se recurre a deducciones matemáticas. Estas deducciones son fundamentalmente aplicadas a equipo mecánico como turbinas, puente grúa, equipo auxiliar, etc. En los casos de equipo eléctrico se ha recurrido a fabricantes o estudios realizados últimamente.

Finalmente en costos de tierras de expropiación para presas o construcción de carreteras se recurre a las tasas arancelarias vigentes para cada una de las regiones del país.

Las funciones de costos que se han deducido están actualizadas a enero de 1978 y están dadas en US\$, con una tasa de cambio de 1 US\$ a S/130.00; posteriormente el programa EVAL, eleva los costos totales en un 4% para actualizarlos a enero de 1979.

5.2.9.2 Fuentes de Costos

Las fuentes de costos utilizadas son las siguientes:

- Informe CEPAL.- El informe Cepal se ha utilizado en la determinación de los costos de presas y túneles.
- Proyectos Puyango - Tumbes.- Este informe se ha utilizado en la determinación de los costos de presas, túneles y canales.
- Lahmeyer International.- Contiene las formulaciones matemáticas para el cálculo del equipo mecánico como turbinas, puente grúa, equipo auxiliar;

así como de tuberías forzadas, pozos blindados, etc.

- Borrador de Informe .- Estudios de Factibilidad del Aprovechamiento del Garabi (AYE - ELECTROBRAS) para determinar funciones de costos de generadores y transformadores.
- Criterios para estudios de inventario y pre-factibilidad de proyectos hidroeléctricos. (INECEL), para determinar las funciones de costos de obras civiles de las casas de máquinas.
- Manual de costos para la Evaluación de Proyectos Hidroeléctricos (MEM). Se utilizó para evaluar funciones de costos de presas, túneles, subestaciones (parte electromecánica y parte civil), transformadores, túneles y canales.
- Manual de Costos para la Evaluación de Proyectos Hidroeléctricos TSUGUO NOSAKI .- Para la determinación de funciones de costos de túneles, casas de máquinas (parte civil y electromecánica), patio de llaves y transformadores.
- BROWN BOVERI del Perú .- Proporcionó información para determinar costos de transformadores.
- Arancel de Predios Rústicos y Urbanos del Perú, Ministerio de Agricultura, Dirección de Reforma Agraria .- Ha servido fundamentalmente para determinar los costos de tierras de expropiación y carreteras.

5.2.9.3 El Catálogo de Funciones de Costos

En esta parte solamente figuran los costos expresados como funciones; para más detalles ver volumen XI, Sección 3.5

Costos de Presas:

- Presas de tierra.

$$\text{COSTO} = \text{VP} * 10.8105 * \left(\frac{\text{VP}}{1000} \right)^{(0.0224 * \text{LOG} \left(\frac{\text{VP}}{1000} \right) - 0.219)} * \text{CM}$$

- Presas de enrocamiento:

$$\text{COSTO} = \text{VP} * 12.674 / \left(\frac{\text{VP}}{1000} \right)^{0.1149} * \text{CM}$$

- Presas de enrocamiento con pantalla de hormigón:

$$\text{COSTO} = \text{VP} * \left\{ 20.28 - 9.2 * \left[\text{LOG} \left(\frac{\text{VP}}{1000} \right) \right] + 2.0 * \left[\text{LOG} \left(\frac{\text{VP}}{1000} \right) \right]^2 - 0.15 * \left[\text{LOG} \left(\frac{\text{VP}}{1000} \right) \right]^3 \right\} * \text{CM}$$

- Presas de concreto de gravedad

$$\text{COSTO} = \text{VP} * 129.72 / \left(\frac{\text{VP}}{1000} \right)^{0.106} * \text{CM}$$

VP = Volumen de presa en (m³)

CM = Coeficiente del material (1 - 4)

COSTO = Costo de la presa en US \$

- Presa pequeña (azud)

$$\text{COSTO} = f(\text{volumen, excavación, compuertas})$$

Considerando también:

- el ancho de una bocatoma
 - precios unitarios para excavación y hormigón
- Inyecciones para todos los tipos de presas debido a la geología

$$\text{COSTO} = f(\text{geología, longitud de la pantalla, profundidad y distancia de perforaciones})$$

Costos de Tierras:

En 1000 US \$/Km ² de Tierra	REGION		
	COSTA	SIERRA	SELVA
Poblada	12.500		
Agrícola buena	47.852	20.252	9.573
Agrícola media	40.387	14.740	4.770
Agrícola regular	18.148	12.620	3.858
No cultivable	1.000	3.400	1.000

Costo de Túneles:

Túnel bruto con plantilla revestida

$$\text{COSTO} = 322.7 * \text{DA}^{1.1284} * \text{CG} * \text{PENAL} * \text{LONG} (\text{US\$})$$

Túnel revestido

$$\text{COSTO} = 872.0 * \text{DA}^{1.1476} * \text{CG} * \text{PENAL} * \text{LONG} \text{ (US\$)}$$

DA = Diámetro del túnel (m)

LONG = Longitud del túnel (m)

PENAL = Factor de corrección por falta de ventanas.

CG = Coeficiente geológico (1 - 4)

Costo de Canales:

- Canal trapezoidal

$$\text{COSTO} = 291.5 * \text{QC}^{(0.0984 + 0.15 * \text{LOG} (\text{QC}))} * \text{LC} * \text{CG}$$

- Canal rectangular

$$\text{COSTO} = 240 * \text{QC}^{(0.1061 + 0.1316 * \text{LOG} (\text{QC}))} * \text{LC} * \text{CG}$$

donde:

COSTO = Costo del canal en US\$

QC = Caudal de diseño (m³/s)

LC = Longitud de canal (m)

CG = Coeficiente geológico

Costo de Tuberías:

$$\text{COSTO} = 8360.0 * \text{GFAC}^{0.9} \text{N}^{0.9} .\text{CG}$$

N = Número de Tuberías (-)

CG = Coeficiente de la geología (1 - 4)

= f (tipo de tubería, enterrada o clásica)

GFAC = Factor considerando la parte alta y baja de la tubería, depende del tipo de la turbina Kaplan Francis o Pelton.

Se considera también costos de válvulas de seguridad para turbinas Francis y Kaplan, en caso que la caída bruta es más grande que 150 m. y la longitud de la tubería es más de 4000 m.

Costo de Pozos Blindados:

Estos costos se componen de costos de tuberías con una geología buena (GEO = 1), de costos de excavación de túneles revestidos y eventualmente con válvulas de seguridad, y el resto es similar al de tuberías forzadas.

Costos de Casa de Máquinas:

Costos civiles para una casa de máquinas son:

$$\text{COSTO} = (\text{QT}^{0.667} * \text{HN}^{0.25} * \text{NU}^{0.3333})^{1.4683} * \text{FAC} * \text{CG}$$

QT	=	Caudal turbinable (m ³ /s)
HN	=	Caída neta (m)
NU	=	Número de unidades instaladas (-)
FAC	=	Factor específico (ver tabla)
CG	=	Coefficiente de la geología (ver tabla)
FG	=	Factor de la geología (1 - 4)

Casa de Máquinas	FAC	CG
Al aire libre	4925.0	1.0
En caverna	7710.0	0.1 (FG - 1) + 1
Enterrada	6318.0	1.0
En la presa	4432.5	1.0
Planta Fluvial	5910.0	1.0

Equipo Electromecánico:

- Transformadores:

$$\text{COSTO} = 45000 * \text{PUN}^{0.6622} * \text{NU} \text{ (US \$)}$$

PUN = Potencia aparente en MVA

NU = Número de unidades

- Costo del equipo de control y mando, y costo de patio de llaves

$$\text{COSTO} = 0.914745 * (240000 * \text{PUN}^{0.4633} - 45000 * \text{PUN}^{0.6622}) * 1.12176^{**} \text{ NU (US \$)}$$

PUN = Potencia aparente en MVA

NU = Número de unidades ó módulos

- Costo de generadores

$$\text{COSTO} = 4147030 * \text{NU} * \text{SQRT} (\text{PUN}/\text{RNR}) \text{ (US \$)}$$

PUN = Potencia aparente en MVA

RNR = Velocidad de rotación en RPM

NU = Número de unidades

Costos Vertederos:

Vertedero + compuertas radiales

$$\text{COSTO} = 3.768 * \text{QV} * \text{VL} + \text{COMPU} \text{ (US \$)}$$

$$\text{COMPU} = 1300 * \text{AV}^{1.24} * \text{INUMV}^{0.9} \text{ (US \$)}$$

- Vertedero en túnel

$$\text{COSTO} = 872.0 * \text{CG} * \text{DA}^{1.1476} * \text{VL} * \text{ICOREC} + \text{COMPU} \text{ (US \$)}$$

QV = Caudal de crecida en (m³/s)

HV = Altura del vertedero en (m)

AV = Ancho del vertedero en (m)

DA = Diámetro del túnel en (m)

INUMV = Número de vertederos

INCOREC = Número de túneles

CG = Coeficiente geológico

Costo de Carreteras:

En la siguiente tabla se ha dado costos de carreteras en US \$/m; depende del ancho y del tipo del terreno.

Terreno	Ancho (m)	6	8	10	12
Muy accidentado		36.0	123.07	138.46	192.3
Accidentado		27.0	93.3	115.38	176.92
Plano		18.0	61.54	107.69	138.46

Costo de Chimeneas:

COSTOS = Excavación y Concreto (US \$)

Excavación = $32.2 * (DIA + 1)^2 * ACHI * FC$ (US \$)

Concreto = $298.30 * (DIA + 1) * HVU$ (US \$)

DIA = Diámetro teórico de la chimenea de equilibrio considerando pérdidas por fricción en el túnel correspondiente.

LONG = Longitud del túnel correspondiente

ACHI = $0.0015 * LONG + HVU$

HVU = Altura del volumen útil (m)

FC = Factor específico para considerar la parte de la excavación para
 Subterránea 1.0
 Enterrada 0.5
 Al aire libre 0.0

Costos de Bocatomas:

Los costos se calculan en tres partes:

COSTOS = Obra civil + compuertas + rejilla

Obra civil = $3675.0 * SQRT (AREA * PRESION)$ (US \$)

AREA = Area de la entrada del agua (m²)

PRESION = Presión del agua en la solera (m)

$$\text{Compuertas Vagón} : 1000 * Q^{0.787} * HM^{0.61} \quad (\text{US } \$)$$

$$\text{Compuertas de revisión} : FC * DIA^{1.22} * (1.5 * HM)^{0.61} + 4900 * Q^{0.43} \\ (\text{US } \$)$$

Q = Caudal que entra en la bocatoma (m³/s)

HM = Presión en el centro de la compuerta (m)

DIA = Diámetro del túnel correspondiente

FC = para DIA ≤ 9 m 1000
para DIA > 9 m 760

$$\text{Rejilla: } 2000 * Q^{0.9} \quad (\text{US } \$)$$

Costos de Desarenadores:

$$\text{COSTO} = \text{FAC} * (11304 * QT^{1.15} + \text{CG} * QT^{1.41}) \quad (\text{US } \$)$$

QT = Caudal turbinable

CG = Coeficiente de la geología

FAC = Factor específico

Al aire libre = 1.0

Enterrado = 1.5

En caverna = 2.0

Costos de Puentes:

$$\text{COSTO} = \text{FAC} * (2600 * \text{LONG} + 70 \text{ ALTURA}) \quad (\text{US } \$)$$

LONG = Longitud del puente (m)

ALTURA = Altura del puente (m)

FAC = Factor específico para considerar tipo y ancho del puente. Ver Ta
bla.

Costos Totales de Inversión:

$$\text{CT} = (\sum \text{Costos}_j) * \text{IMPR} * (1 + \text{IDC} + \text{INAD}) \quad (\text{US } \$)$$

- ΣC_i = Costos directos, determinados a través de las funciones analíticas de costos de los parámetros técnicos de los proyectos
- IMPR = Coeficiente de imprevistos
- C_{IDC} = Coeficiente de intereses durante la construcción, incluidos como una fracción de los costos directos más imprevistos y determinados en función de los años de construcción, los desembolsos anuales y la tasa de interés.
- C_{INAD} = Coeficiente de costos de ingeniería y administración, incluidos como un porcentaje de los costos directos más imprevistos.

Los factores usados para el cálculo actualmente son para:

$$IMPR = 1 \cdot 1$$

$$IDC = DUR * TI/2.0$$

$$INAD = 0.15$$

donde DUR es la duración de construcción en años y TI la tasa de interés usada.

Los costos anuales se calculan de la siguiente manera:

$$K_a = a + m - b \quad (10^6 \cdot \text{US\$/año})$$

a = Anualidad de la inversión total C_T

m = Costos anuales de operación y mantenimiento (porcentaje de la inversión total)

b = Beneficios secundarios anuales

La anualidad es igual a:

$$a = C_T * Fa$$

Donde Fa es igual a:

$$Fa = \frac{TI * (1 + TI)^{\text{vida}}}{(1 + TI)^{\text{vida}} - 1}$$

El programa permite el cálculo de los costos totales para varias combinaciones:

- Con o sin la consideración de líneas de transmisión
- Con o sin intereses durante la construcción
- Con o sin la consideración de los beneficios secundarios.

5.2.10 Beneficios Secundarios

5.2.10.1 Beneficios Secundarios por Agricultura

Los beneficios secundarios que se generan por efecto de una mayor disponibilidad de agua son el resultado de una ampliación en la frontera agrícola y/o el mejoramiento del riego de las tierras ubicadas en los niveles inferiores a las entregas de agua de las centrales hidroeléctricas.

Dichos beneficios se traducen en un mayor ingreso anual en el sector agrícola, y se han analizado teniendo en cuenta dos posibilidades:

- La mayor área cultivada que es posible obtener de las tierras actualmente bajo riego, por el hecho de disponer de un mayor volumen de agua anual, y
- La posibilidad de ganar nuevas tierras para su cultivo, por la misma razón anterior.

El parámetro que ha de servir para el análisis de ambas posibilidades es el caudal mínimo garantizado que equivale al 80% del caudal promedio.

Dicho análisis se ha hecho partiendo de las siguientes premisas:

- Los caudales mínimos garantizados por la ejecución de los Proyectos de generación de energía hidroeléctrica, serán utilizados primeramente en el mejoramiento del riego del área física actualmente bajo riego de los valles que van a disponer de estos caudales mínimos, de manera de llegar a un racional uso intensivo de la tierra. Si hay sobrantes de agua ésta sería utilizada en la ampliación de la frontera agrícola.
- Desde el punto de vista de disponibilidad de agua, se han establecido dos situaciones: la actual, denominada "SIN PROYECTO" y la futura, con posibilidad de disponer de un caudal mínimo garantizado, denominada "CON PROYECTO"

Para las demandas de agua por unidad de superficie y por cultivo empleados en la elaboración de las cédulas de cultivo, consideradas tanto para el mejoramiento de riego como para la ganancia de nuevas tierras factibles de regar, se ha tenido en cuenta una eficiencia de riego, determinada por la Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales y que en el caso de áreas nuevas es de 55%.

Para determinar la cédula de cultivo y el área cultivada de un valle para la situación "SIN PROYECTO" se ha considerado:

- La actual disponibilidad de agua dada por el pronóstico de la Dirección General de Aguas para la formulación de los respectivos planes de cultivo y Riego (Análisis de la Campaña Agrícola 1975 - 1976 de la Costa Peruana).
- Que la cédula de cultivo elaborada para los valles analizados, podría coincidir con la obtenida en los estudios efectuados por la Oficina Nacional de Evaluación de los Recursos Naturales para los mismos, siempre y cuando las demandas de agua obtenidas mes a mes sean satisfechas por las disponibilidades de agua o que el déficit no sea muy significativo, en caso contrario se han reducido las áreas de cultivo ha

ta cumplir con las demandas o hasta haber superado los déficits.

Que para determinar la cédula de cultivo y el área cultivada de un valle para la situación " CON PROYECTO " se ha tenido en cuenta:

- El área física actualmente bajo riego de cada valle obtenido de la Oficina General de Catastro Rural.
- Que en la cédula se han considerado los cultivos que actualmente se dan en el valle y se tiende a llegar a un racional uso intensivo de la tierra, procurando que no se presenten déficits de agua con respecto a las disponibilidades que han sido fijados por la masa que corresponde al caudal mínimo garantizado.
- Que debe haber sobrantes de agua se determinará en función de ellos, las áreas de las tierras eriazas factibles de regar, con una cédula de cultivo que considere un uso intensivo de la tierra con los cultivos que se desarrollan en los valles vecinos.

Para el cálculo de los beneficios secundarios anuales en el riego de tierras eriazas factible de regar, se ha tenido en cuenta los siguientes costos y plazos indicados en el cuadro para la amortización de inversiones e interés del capital.

TABLA 5.7

INDICES DE COSTOS DE OBRAS AGRICOLAS

DESCRIPCION	Costo por Ha. (Mar. 1977) S/.	Plazo de Amortización Años	Interés anual del Capital %
Obras de Infraestructura de Riego	150 000	40	12
Obras de Infraestructura de Drenaje	32 000	40	12
Desarrollo Agrícola	55 000	20	10

Para el cálculo del objetivo anterior, se ha considerado, tanto para las áreas con mejoramiento de riego como para las áreas nuevas a regarse, que el costo por los servicios de Operación y Mantenimiento de los sistemas de Riego y Drenaje es de S/2,730.00 que corresponde al 1.5% del costo estimado por hectárea de la construcción de estos sistemas.

Los costos y precios de la producción agrícola, en chacra, utilizados para los cálculos de los beneficios secundarios están referidos a Marzo de 1977.

En los Proyectos analizados se puede conseguir Beneficios secundarios anuales por un total de 13,391.60 Millones de Soles, en un área total de aproximadamente

470,000 ha. De este total 231,000 ha. corresponden a áreas mejoradas y cerca de 239,000 ha. a áreas nuevas. Los nombres de los Proyectos así como sus áreas y Beneficios respectivos se encuentran en la Tabla N° 5-8. Una información más detallada puede obtenerse de los cuadros elaborados para cada Proyecto, los cuales forman parte del Vol. X - Beneficios Secundarios - .

5.2.10.2 Otros Beneficios Secundarios

Por otra parte se tiene que además de los beneficios secundarios por concepto de irrigación existen también beneficios secundarios por concepto de Agua Potable, debido al transvase de las aguas del Río Mantaro al Río Rímac contemplado en el Proyecto Hidroeléctrico SHEQUE.

Estos beneficios representan, un total de 90.54 Millones de Soles, considerando el m³ de agua potable a 2.62 soles, según información proporcionada por ESAL.

5.2.10.3 Utilización de los beneficios secundarios en la evaluación de proyectos.

Los beneficios secundarios se han hecho intervenir en la evaluación de los proyectos hidroeléctricos repartiendo las cantidades indicadas en el cuadro 5-8 proporcionalmente a los volúmenes útiles de todos los embalses que figuran en las diferentes cadenas de proyectos hidroeléctricos que se han elaborado para cada cuenca.

Debido a que las cantidades repartidas se convirtieron a dólares con cotización a Marzo de 1977, fue necesario posteriormente actualizarlas calculando las a Enero de 1978 para lo cual se les afectó con un factor igual a 1.8446.

Por otro lado cabe resaltar que los Beneficios Secundarios de algunas cuencas tales como Olmos, Jequetepeque, Chicama, Rímac, Pisco, Ica, Grande y Majes no se ha tenido en cuenta debido a que algunas de las estructuras tales como presas (caso Gallito Ciego en Jequetepeque, Limón en Olmos, etc.) y las obras de transvase (caso de Chicama, Pisco, Ica, Majes, etc.) han sido concebidas con anterioridad con fines únicamente de Irrigación siendo la generación eléctrica una posibilidad secundaria de aprovechar dichas estructuras. En el respectivo volumen de descripción de cuencas se dan detalles adicionales para cada caso.

5.2.11 Evaluación Técnico Económica

El objetivo de la planificación en la fase de evaluación del potencial hidroeléctrico nacional no es definir el orden de puesta en marcha, ni la potencia instalada de los diferentes proyectos, sino más bien es determinar la totalidad de las posibilidades de ejecutar obras hidroeléctricas de modo tal que se obtenga una explotación óptima de los ríos del punto de vista hidroeléctrico tomando en consideración los beneficios secundarios que se pueden obtener.

La definición de los proyectos a utilizarse para el cubrimiento de la demanda futura, la fecha de puesta en marcha y la potencia instalada de los mismos es el objetivo de la fase de optimización, subsiguiente a la fase actual. Esta fase no se en

TABLA N° 5-8

BENEFICIOS SECUNDARIOS ANUALES DE AGRICULTURA
(Millones de Soles)

Valle	Extensión (Ha.)		Beneficio Neto
	Mejorada (1)	Ampliación	
Olmos	20,000 (2)	20,600	1,200.9
Jequetepeque	36,000	6,700	1,044.8
Chicama	55,400	27,950	3,932.9
Moche	14,100	1,230	516.9
Chao/Virú	15,300	13,820	976.4
Casma	10,353	1,635	275.2
Fortaleza	1,160	4,710	214.8
Mala	5,000	- -	58.3
Cañete	- -	21,070	856.0
Pisco	16,250	15,800	378.7
Ica	31,100	11,000	478.2
Grande	8,120	- -	77.0
Acarí	4,660	4,770	177.5
Yauca	1,140	1,265	43.6
Majes/Sihuas	- -	49,720	1,357.2
Quilca	- -	29,130	915.7
Tambo	8,315	2,500	192.8
Locumba	1,860	- -	37.6
Sama	2,450	27,400	657.1
T O T A L	231,208	239,300	13,391.6

(1) Area física bajo riego

(2) Según documento N° 80 del Ministerio de Agricultura (1977)

cuenta dentro de los alcances del Proyecto.

La evaluación técnico-económica se ha efectuado utilizándose parámetros técnico-económicos cuantitativos que se van a describir en detalle en el siguiente acápite.

Para la evaluación técnico-económica, se ha utilizado el programa EVAL bajo la premisa que para todas las alternativas analizadas se considera como caudal turbinado el caudal promedio multianual. Este programa tiene como datos de entrada parámetros económicos generales, curvas de energía y potencia, las características de los elementos de definición de los proyectos y de la composición de las alternativas. Después del análisis lógico de los datos de entrada y la validación de los mismos se efectúa:

- El dimensionamiento hidráulico, estructural y funcional de los elementos de definición.
- El cálculo de los costos para cada elementos de definición
- El cálculo de los costos de cada alternativa
- El cálculo de los valores de potencial instalada, potencia garantizada, energía secundaria.
- La determinación de los factores económicos de comparación técnico-económica.

Además el programa EVAL efectúa la salida de los resultados por impresora y escribe, de manera opcional, archivos especiales en disco magnético con los valores que se utilizan ulteriormente como datos de entrada para otros programas como CADENAS (programa de optimización de cadenas) o SEQSI (programa de generación automática de secuencias de cubrimiento de la demanda). Este último programa se utilizaría en la fase posterior, optimización de la expansión del sistema eléctrico Nacional.

5.2.11.1 Parámetros Técnico-Económicos

La evaluación de los Proyectos Hidroeléctricos se efectúa utilizando tres parámetros de comparación técnico-económica.

Como parámetro principal en la evaluación se ha utilizado el así llamado FACTOR ECONOMICO DE COMPARACION (FEC) que corresponde a los costos específicos teóricos de producción de energía

$$FEC = \frac{a + m - b}{EP + \alpha \cdot ES} \quad (\$/MWh)$$

donde:

- a = anualidad de la inversión (\$/año)
- m = costos anuales de operación y mantenimiento (\$/año)
- b = beneficios secundarios (\$/año)
- EP = energía primaria (GWh/año)
- ES = energía secundaria (GWh/año)

Los valores EP y ES se determinan con la ayuda de las curvas de energía obtenidas a través del programa DIREC (Véase 5.2.5.5)
 α = coeficiente de ponderación de la energía secundaria en comparación con la energía primaria ($\alpha = 0.5$)

El parámetro adicional que se utilizó ha sido el factor costo beneficio FEC 1. A través de este parámetro se ha concretado lo económico de un proyecto hidroeléctrico en comparación con una planta térmica equivalente.

$$FEC\ 1 = \frac{a + m - b}{p(PF) \cdot PI + c(PF) \cdot (EP + \alpha \cdot ES)}$$

$p(PF)$ = Costo específico anualizado de inversión para la potencia instalada térmica correspondiente. Es una función del factor de planta PF (\$/MW/año)

PI = Potencia instalada (MW)

$c(PF)$ = Costo de producción de energía de la planta térmica correspondiente (\$/MWh)

Además de los dos parámetros arriba enumerados se utilizó el costo específico de la potencia instalada (\$/kW) como valor informativo.

5.2.11.2 Preselección

Para todos los proyectos investigados fue ejecutado un proceso de preselección para la determinación de cadenas, de la siguiente manera. En base al programa EVAL para cada alternativa de los proyectos se determinó el dimensionamiento técnico incluyendo la estimación de los costos y la suma total de la inversión de cada alternativa, tomando en consideración costos para los intereses durante la construcción, ingeniería, administración e imprevistos, e igualmente se calculó la producción de energía anual tanto primaria como secundaria en base al grado de regulación dado por el volumen útil de un embalse.

Cotejando los factores FEC para alternativas comparables, es decir alternativas con la misma caída bruta y la misma producción anual de energía, se puede decidir cual de las alternativas, la más económica, debe entrar al proceso de la determinación de la cadena óptima del aprovechamiento hidroeléctrico de un río o un sistema de ríos. A través de esta preselección la cantidad de alternativas de proyectos que entraban al programa CADENAS fue reducida considerablemente.

Las alternativas eliminadas se representan en los diagramas fluviales (diagramas lógicos) mediante un símbolo especial.

Como resumen de la preselección se puede constatar lo siguiente: En casi todos los proyectos donde la geología y topografía permiten considerar tanto presas de tierra, como de enrocamiento o de concreto de gravedad, las alternativas correspondientes con presas de concreto de gravedad resultaron menos económicas por los costos altos de la presa y por estas razones fueron eliminadas.

5.2.11.3 Determinación de Cadenas Óptimas de Desarrollo Hidroeléctrico

La decisión respecto a que alternativas de proyectos que interesan para las futuras investigaciones se tomó mediante el análisis de cadenas de desarrollo alternativa de las cuencas.

El criterio utilizado para la determinación de las cadenas óptimas de desarrollo hidroeléctrico ha sido la minimización del costo específico de producción de energía ponderado con respecto a la producción de energía.

Este criterio se puede expresar matemáticamente a través de la minimización de la siguiente función objetivo:

$$\text{OBJ} = \frac{\sum_{i=1}^{\text{IE}} \text{FEC}(i) \cdot (\text{EP}(i) + \alpha \cdot \text{ES}(i))}{\sum_{i=1}^{\text{IE}} (\text{EP}(i) + \alpha \cdot \text{ES}(i))} \rightarrow \min$$

donde:

- i = El número corriente del elemento de cadena
- IE = El número total de elementos de la cadena analizada
- $\text{FEC}(i)$ = El costo específico teórico de generación de energía (véase 5.2.11.1)
- $\text{EP}(i)$ = La energía primaria del elemento i de la cadena (Véase 5.2.5.2)
- $\text{ES}(i)$ = La energía secundaria del elemento i de la cadena. (Véase 5.2.5.2)
- α = Es el mismo factor de ponderación de la energía secundaria en comparación con la energía primaria que se utiliza para el cálculo de FEC ($\alpha = 0.5$)

El programa de cómputo que se utiliza para la terminación de las cadenas óptimas de una cuenca es CADENAS y toma en consideración tanto la influencia de los desarrollos hidroeléctricos en los afluentes como en los del río colector.

La determinación de la red ramificada de cadenas óptimas correspondiente a un sistema hidroeléctrico se efectúa tras aplicaciones sucesivos del modelo CADENAS respetando el orden jerárquico que resulte de la composición de las cuencas. Este orden jerárquico se establece empezando con los afluentes más aguas arriba que presentan interés hidroeléctrico y terminan con el último colector principal que todavía se toma en consideración para el desarrollo hidroeléctrico.

El proceso de determinación de la red ramificada de cadenas óptimas consiste de dos etapas:

- Determinación de las cadenas óptimas parciales para todas las cuencas que pueden formar parte de la cadena de la cuenca colectora principal. Esto es válido para algunos casos donde el afluente puede integrarse al río colector de varias maneras.
- Se determina luego la cadena óptima de la cuenca colectora principal, seleccionando una cadena de las cuencas secundarias y eliminando las restantes cadenas que no forman parte de la Cadena Principal.

Un especial énfasis se ha dado a la posibilidad de transvase de aguas desde la vertiente Atlántico hacia la del Pacífico, en la determinación de la red ramificada de cadenas óptimas.

El algoritmo de optimización utilizado, la entrada de datos, la salida y otros detalles de utilización del programa de optimización de CADENAS se pueden observar en el Vol. XI "Bancos de Datos y Descripción de Programas".

5.2.12 Definición de Grupos de Proyectos en Función de la Confiabilidad de la Información Básica

Debido al hecho que la existencia y confiabilidad de la información básica es muy distinta para los diferentes proyectos, fue necesario definir grupos que contuvieran proyectos al mismo nivel dado el punto de vista de la información.

La función de estos grupos ha sido básicamente evitar la comparación directa entre proyectos con distinto nivel de confiabilidad de la información básica.

Se ha definido cuatro grupos en función de la disponibilidad y confiabilidad de información topográfica e hidrológica. En la Tabla Nº 5-9 se pueden observar los criterios de definición de los grupos y el número de proyectos que pertenecen a cada grupo.

5.2.13 El Apoyo de Cómputo Electrónico en la Definición y Evaluación de Proyectos Hidroeléctricos

En el trabajo de definición y evaluación de proyectos hidroeléctricos se ha utilizado de manera intensiva una computadora DATA GENERAL ECLIPSE S/200.

Disponiéndose de un sistema de cómputo moderno interactivo se ha tratado de utilizar al máximo las ventajas del mismo desarrollándose programas a través de los cuales se facilite el trabajo en diálogo con la computadora.

El método interactivo en general y el procedimiento agrupado (batch) automatizado con la ayuda de programas monitores que no se requiere supervisar, ha permitido llegar a un grado muy elevado de automatización que se refleja directamente en la eficiencia de la metodología.

De esta manera se ha logrado que los ingenieros se concentren en el trabajo

TABLA 5 - 9

CATEGORIAS DE PROYECTOS

* CATEGORIAS *	* TOPOGRAFIA *	* HIDROLOGIA *	* NUMERO DE PROYECTOS POR CATEGORIA (%) *	* POTENCIA INSTALADA (MW) (%) *	* ENERGI A TOTAL (GWH/A) (%) *
* 1 *	* CON *	* CON *	* 223 (68.0%) *	* 25321.3 (43.0%) *	* 162445.0 (41.1%) *
* 2 *	* SIN *	* CON *	* 0 (0.0%) *	* 0.0 (0.0%) *	* 0.0 (0.0%) *
* 3 *	* CON *	* SIN *	* 64 (19.5%) *	* 17934.0 (30.4%) *	* 124332.0 (31.5%) *
* 4 *	* SIN *	* SIN *	* 41 (12.5%) *	* 15682.1 (26.6%) *	* 108345.0 (27.4%) *
* TOTAL *	* * *	* * *	* 328 *	* 58937. * *	* 395122.0 *

de concepción y dejar a la computadora el trabajo rutinario.

Es necesario recalcar que al igual que en el caso de la hidrología, la computadora ha sido la herramienta de trabajo sin la cual, dentro del tiempo previsto y considerando la extensión del territorio, no se hubiera podido evaluar la gran cantidad de proyectos hidroeléctricos potenciales considerados.

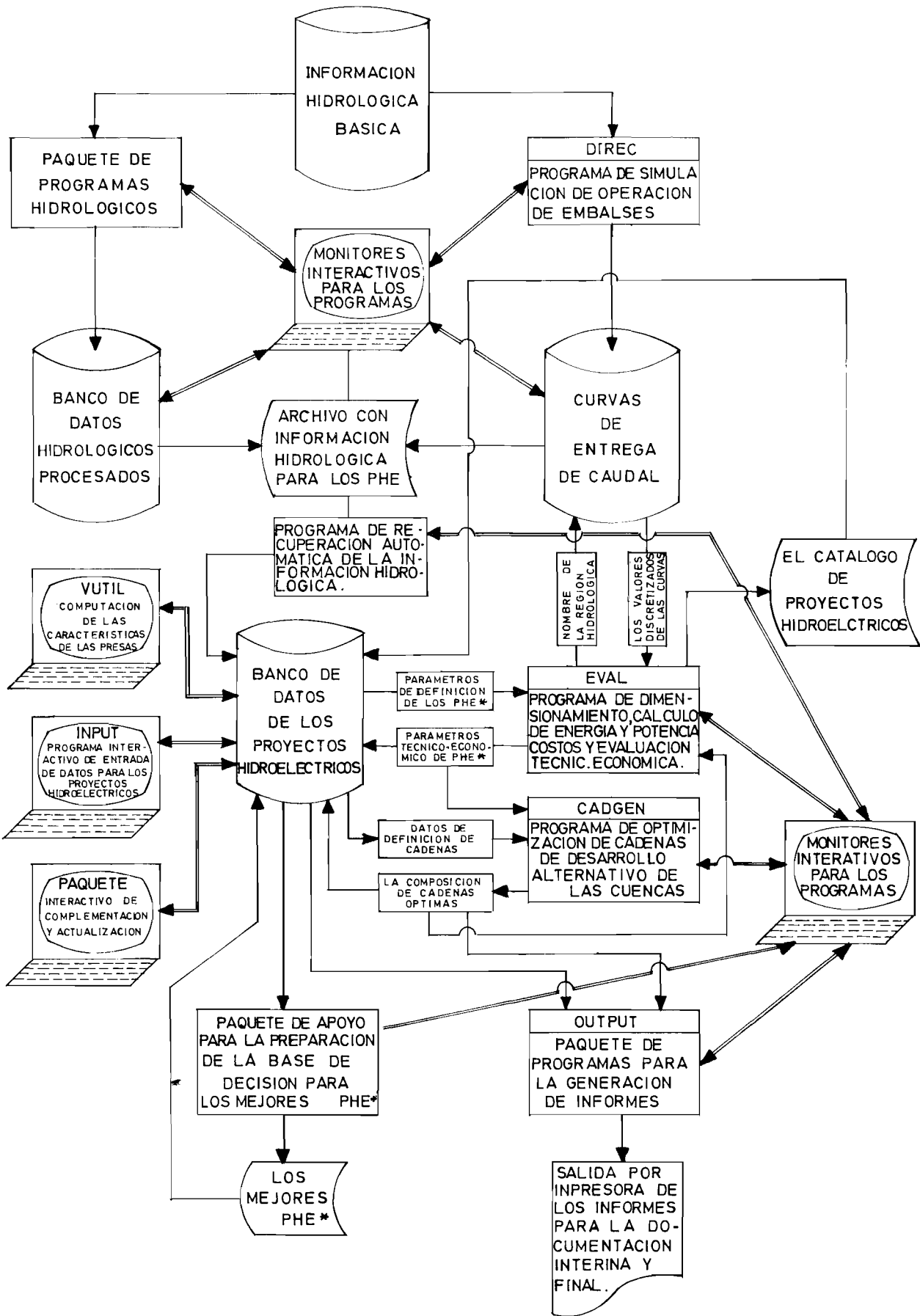
Se debe también mencionar que aún dadas las limitaciones del equipo de cómputo, ya que en la mayor parte del tiempo se dispuso solo de 112 KB de memoria, las facilidades de programación y las ventajas del sistema operativo para la creación, mantenimiento y actualización de archivos han permitido la implementación de una gran variedad de programas para la evaluación de proyectos. Detalles específicos del sistema de cómputo instalado se pueden encontrar en el Vol. XI "Banco de Datos y Descripción de Programas" del presente Informe. En las siguientes secciones se hace una breve mención a los programas y al Banco de Datos. Una descripción mas amplia se puede encontrar en el referido Vol. XI del Informe.

5.2.13.1 Procedimientos de Cómputo Implementado

En la Fig. 5.1 se puede observar el procedimiento general implementado y en la Fig. 5-30 el procedimiento de cómputo detallado.

Desde el punto de vista de cómputo electrónico se puede definir las siguientes etapas de trabajo:

- a) 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. El usuario tiene que ingresar los datos pedidos por el programa a través de la pantalla de video y a continuación el programa se encarga de escribir los datos en disco respetando los formatos de listado pedidos por el programa EVAL. En el proceso de definición de esquemas y de preparación de los datos de definición de los proyectos hidroeléctricos se utiliza intensivamente el programa VUTIL que calcula en base de la información topográfica todos los parámetros de definición para las obras de retención y el embalse correspondiente.
- b) Recuperación de información hidrológica e ingeniería de recursos hidráulicos, necesario para la definición, prediseño y evaluación de los proyectos hidroeléctricos. Mediante un programa interactivo (PDI) que tiene como entrada de datos el nombre de los proyectos hidroeléctricos y las coordenadas geográficas se establece, utilizando los bancos de datos hidrológicos procesados y de curvas de entrega de caudal, un archivo que contiene la siguiente información para cada proyecto hidroeléctrico definido: Caudal promedio, Caudales de crecida de período de recurrencia de 10 y 100 años y el nombre de la curva de energía correspondiente. En base del archivo arriba descrito se efectúa la complementación del banco de datos de los proyectos hidroeléctricos con la información hidrológica y de ingeniería de recursos hidráulicos utilizándose un programa de recuperación (SETQ) de manera interactiva por la pantalla.



- c) Complementación y actualización del banco de datos de los proyectos hidroeléctricos. Esta actividad se ha llevado a cabo mediante una serie de programas interactivos como:

FACTUN	: Efectúa el cálculo del factor de corrección de costos de túneles en función de las longitudes sin ventanas de acceso.
COTA	: Reactualiza las cotas de descarga de las casas de máquinas.
TIERRAS	: Especifica la ubicación de las tierras de inundación.
GEOCHANGE	: Especifica factores geológicos y de materiales de construcción
COSBEN	: Especifica costos especiales y beneficios secundarios.
RESUMEN	: Saca resúmen parcial o total del número de proyectos y número de alternativas.
LINEAS	: Reactualiza los datos de líneas de transmisión
MULTEM	: Incluye datos de Reservorios múltiples de regulación.

- d) Dimensionamiento, cálculo de la energía y potencia, cálculo de los costos y evaluación técnico-económico.

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, las siguientes combinaciones opcionales:

- Todos los proyectos definidos para todo el país
- Los proyectos de un sistema hidroeléctrico
- Los proyectos de una cuenca
- Los proyectos de un afluente
- Un sólo proyecto

En función del nivel elegido el proceso puede demorar desde 1 minuto hasta 12 horas.

- e) 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 con las siguientes alternativas:

- Las cadenas para todo el país
- Para un sistema hidroeléctrico
- Para una cuenca, y
- Para un afluente

En función del nivel elegido el proceso del programa CADENAS se puede demorar entre 20 segundos para un afluente y una hora para todo el país.

- f) Preparación de la base de decisión para la selección de los 10 mejores proyectos.