

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

CUENCA PILOTIO DEL RIO ARMA

ISA

1987



INTERCONEXION
ELECTRICA S.A.

358
(358-360)

CUENCA PILOTO DEL RIO ARMA

INFORME GENERAL

INVENTARIO DE PROYECTOS
HIDROELECTRICOS
ENTRE 10 Y 100MW

OCTUBRE, 1987



INTERCONEXION
ELECTRICA S. A.

CUENCA PILOTO DEL RIO ARMA

INFORME GENERAL

INVENTARIO DE PROYECTOS
HIDROELECTRICOS
ENTRE 10 Y 100 MW

OCTUBRE, 1987

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PREFACIO	
1. INTRODUCCION	1
2. METODOLOGIA Y RESULTADOS	2
2.1 PRIMERA FASE	2
2.2 SEGUNDA FASE	4
3. ANALISIS Y PLANEAMIENTO DEL APROVECHAMIENTO HIDRO- ELECTRICO - RESULTADO DE LOS ESTUDIOS	11
3.1 ESQUEMA DE APROVECHAMIENTO	11
3.2 HIDROLOGIA	12
3.3 GEOLOGIA	14
3.4 CRITERIOS BASICOS Y MARCO DE REFERENCIA PARA EL ESTUDIO	16
3.5 DESCRIPCION DE LOS PROYECTOS	18
3.5.1 Proyecto Encimadas	18
3.5.2 Proyecto Cañaveral	20
3.5.3 Proyecto Sonsón	21
3.5.4 Proyecto Aures	22
3.5.5 Proyecto El Cairo	23
3.5.6 Proyecto El Guaico	25
3.5.7 Proyecto El Carmelo	26
4. ASPECTOS SOCIO ECONOMICOS Y AMBIENTALES	32

5.	EVALUACION DE PRESUPUESTOS	35
5.1	NIVEL DE PRECIOS	35
5.2	IMPREVISTOS, INGENIERIA Y ADMINISTRACION	35
5.3	COMPONENTES EN MONEDA LOCAL Y EXTRANJERA	36
5.4	COSTOS INCLUIDOS EN LOS PRESUPUESTOS	36
5.5	DISTRIBUCION DE INVERSIONES	37
5.6	INFORMACION BASICA DE COSTOS	37
5.7	COMPONENTES DE COSTO	38
5.7.1	Obras Civiles	38
5.7.2	Presa y Obras Anexas	39
5.7.3	Obras Civiles de Generación	40
5.7.4	Equipo de Generación	41
5.7.5	Transmisión	42
6.	ORGANIZACION Y EJECUCION DE LOS TRABAJOS	50
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
7.1	CONCLUSIONES	
7.1.1	En cuanto a la organización y orientación del inventario propiamente dicho	51
7.1.2	En cuanto al desarrollo hidroeléctrico	52
7.2	RECOMENDACIONES GENERALES	54

INDICE DE ESQUEMAS, GRAFICOS, CUADROS Y FIGURAS

	Página
Esquema 1 Ubicación general	6
Gráfico 1 Potencial energético teórico Río Buey	7
Cuadro 1 Características de los esquemas propuestos en la Fase I	8
Esquema 2 Esquema de desarrollo	9
Cuadro 2 Resultados Fase II	10
Cuadro 3 Características de los esquemas propuestos en la Fase II	29
Cuadro 4 Características de las centrales propuestas en la Fase II	30
Cuadro 5 Características básicas de los proyectos	31
Figura 1 Planta general ubicación de los proyectos	31A

PREFACIO

En este informe, se presentan los resultados finales del inventario de proyectos hidroeléctricos con potencia instalada menor de 100 MW y mayor de 10 MW, efectuado a la cuenca Piloto del río Arma, cuya extensión total es de 1950 km². El producto fueron 7 proyectos con un potencial total de 290 MW, ubicados en los ríos Arma, Buey, Sonsón, Aures y Quebrada Las Yeguas, afluente del río Buey.

Para la realización del trabajo se tuvo siempre en cuenta la "Guía para el Inventario de Proyecto Hidroeléctricos entre 10 y 100 MW" preparado por ISA en Agosto de 1986.

Los resultados parciales o de la primera fase fueron consignados en cuatro (4) informes de avance así: I/Selección de una zona para estudio y programación, II/Información básica, III/Evaluación del potencial teórico y IV/Esquema preliminar de desarrollo.

El contenido de este informe está consignado en capítulos; el primero de ellos especifica los objetivos del trabajo y presenta un breve recuento del historial de este inventario; el segundo describe la metodología y resultados obtenidos; el tercero contiene los esquemas de aprovechamiento, criterios tenidos en cuenta para la realización del estudio

y la descripción de los proyectos; el capítulo cuarto trata lo relacionado con los aspectos socioeconómicos de la cuenca; el quinto, dedica su atención a los costos, presupuestos y programas de construcción de las obras; el capítulo sexto se refiere a la organización y ejecución de los trabajos y el último a las conclusiones y recomendaciones.

1. INTRODUCCION

Los recursos hidroeléctricos en Colombia, fueron investigados inicialmente en forma parcial y regional por las distintas empresas de energía existentes en la época, posteriormente, debido al crecimiento de la demanda y del sistema eléctrico del país, se hizo necesaria la realización del Estudio del Sector de Energía Eléctrica (ESEE) iniciado en 1974 y culminado en 1979. Tal estudio se dividió en dos áreas: a) Planeamiento del Sistema Eléctrico (PSE) y b) Inventario de los Recursos Hidroeléctricos (IRH) cuyo objetivo final era estudiar el desarrollo hidroeléctrico de todas las cuencas del país, identificar los proyectos mayores de 100 MW y estudiar sus características técnicas y económicas a nivel preliminar.

Una de las recomendaciones de este estudio era la de continuar con la identificación de proyectos menores de 100 MW, la cual complementaría el desarrollo de las cuencas estudiadas. Este es en último término el objetivo del trabajo que nos ocupa, limitando el análisis a cuencas con bajos caudales y altas y medias caídas (proyectos de montaña), como parte del plan de estudio del Sector aprobado para el período 1986-1990 donde se incluyó la ejecución del inventario nacional de proyectos hidroeléctricos con capacidad menor de 100 MW y mayor de 10 MW y como una complementación muy importante al estudio del IRH ejecutado previamente por ISA.

2. METODOLOGIA Y RESULTADOS

La realización ordenada de las labores del inventario de proyectos hidroeléctricos efectuadas en la cuenca del río Arma ubicada al sur del Departamento de Antioquia y norte del Departamento de Caldas, se hizo en dos fases cuyos alcances, actividades y resultados se describen a continuación:

2.1 PRIMERA FASE

Consistió en la evaluación del potencial hidroeléctrico teórico de todos los ríos y los principales afluentes que conforman la cuenca del río Arma, suponiendo que se aprovecharía todo el caudal y toda la caída disponible en cada uno de ellos.

Para llevarla a efecto, se realizaron las siguientes actividades:

- a) Se escogió la cuenca del río Arma como Piloto, por facilidades para el desarrollo de los trabajos en cuanto a información básica y acceso y teniendo además como objetivo principal el ensayar la metodología propuesta en la "Guía para el inventario de 10 a 100 MW" con el propósito de buscar su implementación en el Sector (ver esquema 1).

- b) Se recopiló la información cartográfica e hidrológica de la zona y se elaboraron los perfiles topográficos de los ríos y quebradas que tuvieran un potencial teórico superior a 10 MW y al mismo tiempo se realizaron estudios hidrológicos y cartográficos para determinar los caudales promedios a lo largo de ellos.
- c) Con base en la información anterior se determinaron los potenciales hidroeléctricos teóricos del río Arma y sus principales afluentes y los resultados se presentaron por medio de gráficos y cuadros. El Gráfico 1, indica la presentación típica de los resultados para un río.
- d) Con los datos obtenidos se evaluó el potencial hidroeléctrico teórico de la cuenca y se definieron las prioridades para adelantar los estudios de la Segunda Fase. En el Cuadro 1 se presentan los resultados del potencial hidroeléctrico teórico para toda la cuenca del río Arma.
- e) Se programaron y llevaron a cabo visitas de campo para comprobar las hipótesis establecidas en los estudios de oficina en relación con cotas, sitios de presa y casa de máquinas, accesos, características geológicas y aspectos regionales.

Esta fase se terminó en Abril de 1987 la cual se plasmó en informes de avance que incluyeron los diferentes aspectos mencionados atrás e inmediatamente se iniciaron las labores de la Segunda Fase.

2.2 SEGUNDA FASE

Comprendió el estudio del desarrollo hidroeléctrico de las subcuencas y la propia del río Arma para determinar a nivel de reconocimiento los proyectos hidroeléctricos entre 10 y 100 MW, con los cuales se aprovecharía a este nivel, el potencial teórico encontrado en la primera fase.

En el desarrollo de esta segunda fase, se realizaron las siguientes actividades:

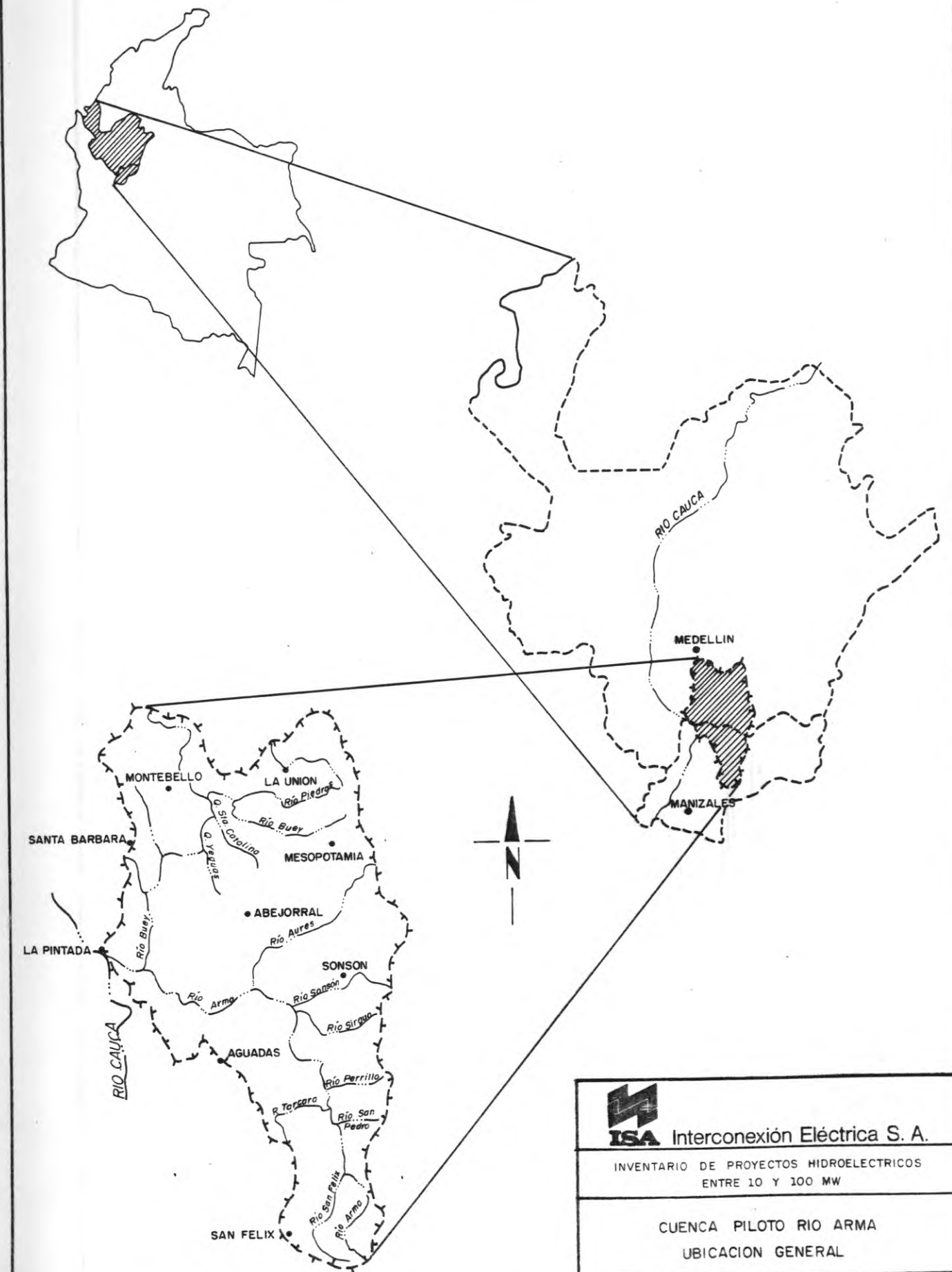
- a) Recolección y análisis adicionales y complementarios de la información básica existente sobre cartografía, hidrología y estudios realizados en proyectos hidroeléctricos existentes en la cuenca.
- b) Selección para cada cuenca de la alternativa de desarrollo más atractiva de acuerdo con la información obtenida y las visitas de campo y diseño a nivel preliminar de los proyectos que la componen, definiendo las características técnicas y energéticas que permiten calcular su presupuesto, sus energías y su programa de ejecución y los costos a nivel de reconocimiento.

El Esquema 2 indica la conformación de la alternativa de aprovechamiento planteada para la cuenca en estudio.

En el Cuadro 2 se indican los resultados obtenidos para cada una de las subcuencas en que se dividió el estudio y su comparación con el potencial aprovechable estimado de acuerdo con los resultados de la primera fase.

- c) Evaluación de las características técnicas y energéticas de cada uno de los desarrollos planteados y estudios de ingeniería básicos para definir las dimensiones de las diferentes estructuras que los componen y hacer los estimativos de la magnitud de las obras necesarias para su ejecución.
- d) Evaluación de los costos, presupuestos y programas de construcción de los proyectos hidroeléctricos definidos a este nivel y estimativo de costos de instalación y generación respectivos.

- c) Evaluación de las características técnicas y energéticas de cada uno de los desarrollos planteados y estudios de ingeniería básicos para definir las dimensiones de las diferentes estructuras que los componen y hacer los estimativos de la magnitud de las obras necesarias para su ejecución.
- d) Evaluación de los costos, presupuestos y programas de construcción de los proyectos hidroeléctricos definidos a este nivel y estimativo de costos de instalación y generación respectivos.



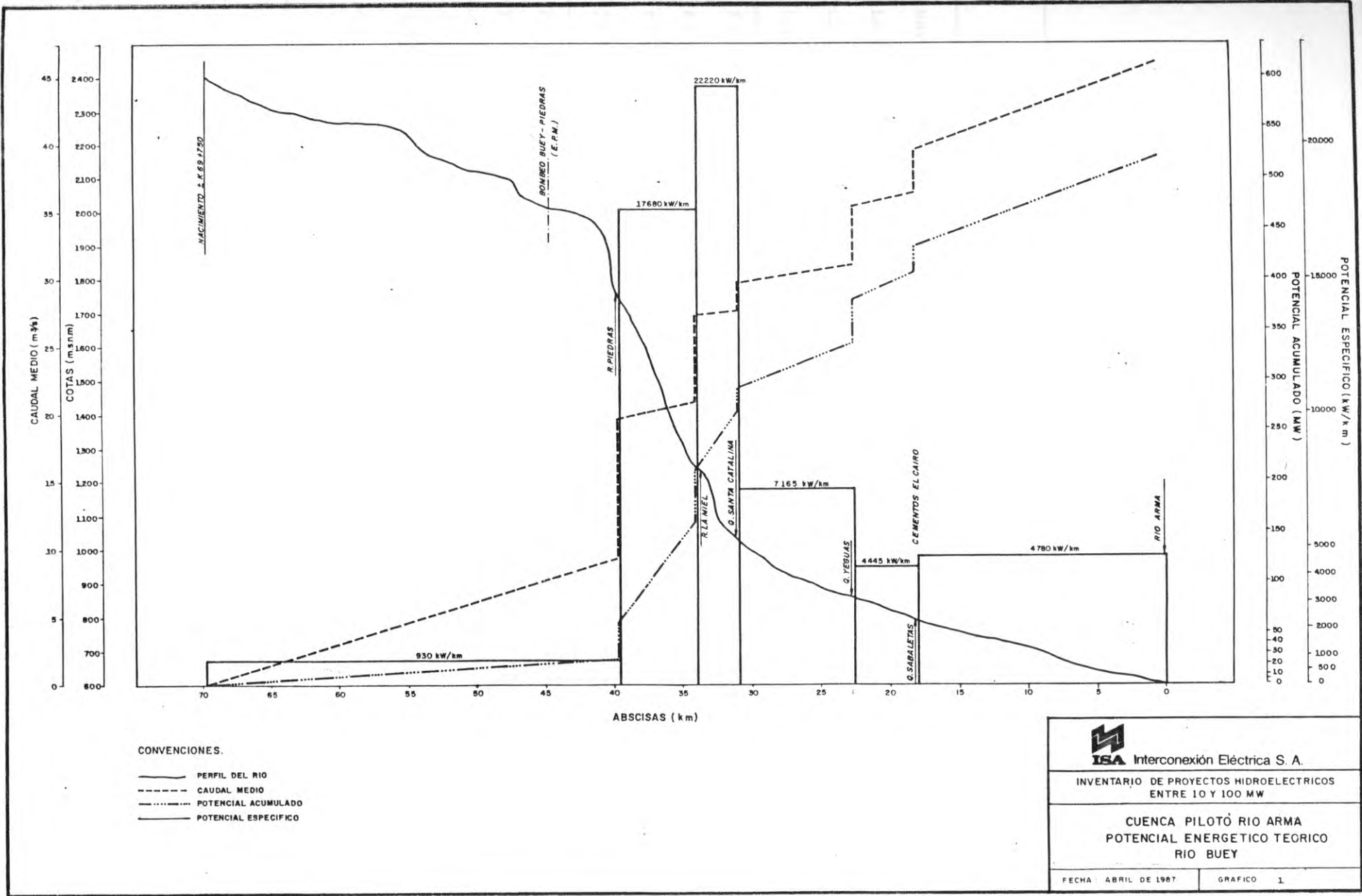
ISA Interconexión Eléctrica S. A.

INVENTARIO DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS
ENTRE 10 Y 100 MW

CUENCA PILOTO RIO ARMA
UBICACION GENERAL

FECHA: SEPTIEMBRE - 1987

ESQUEMA 1



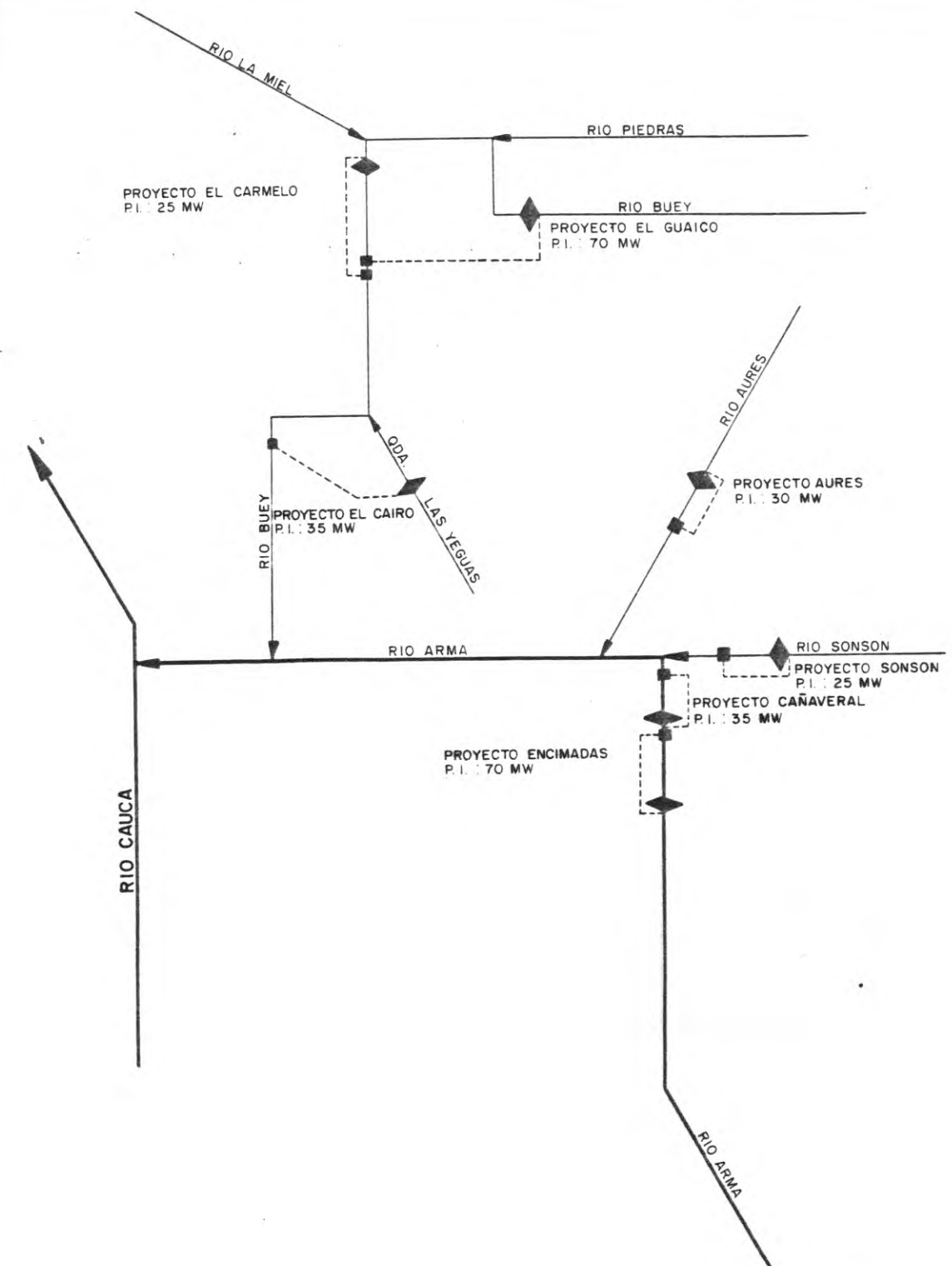
CUADRO 1

CUENCA PILOTO RIO ARMA

CARACTERISTICAS DE LOS ESQUEMAS PROPUESTOS EN LA FASE I

Proyecto	Río	Cota (msnm)	Caída (m)	Caudal Q (m ³ /s)	Potencial Aprovechable MW Por	
					Proyecto	Río
Naranjal	Arma	2050	620	12.6	75	120
La Linda*	Arma	2050	500	12.6	60	
Cañaveral	Arma	1340	300	14.0	40	
Los Medios*	Arma	1500	460	13.7	60	
El Bosque 1	Sonsón	1780	780	4.0	42	50
El Bosque 2*	Sonsón	1780	580	4.0	50	
El Bosque 3	Sonsón	1600	400	4.0	15	
El Bosque 4	Sonsón	1600	600	4.0	23	
Florida 1*	Aures	1720	420	5.0	20	20
Florida 2*	Aures	1720	420	5.0	20	
Jordán 1*	Buey	1970	760	11.7	85	130
Jordán 2	Buey	1970	920	11.7	105	
Carmelo 1*	Buey	1260	240	19.5	45	
Carmelo 2	Buey	1260	240	7.8	20	
El Cairo	Q. Yeguas	1350	500	4.5	22	22

* Proyectos seleccionados para obtener el máximo potencial aprovechable en cada subcuenca.



Interconexión Eléctrica S. A.

INVENTARIO DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS
ENTRE 10 Y 100 MW

CUENCA PILOTO RIO ARMA
ESQUEMA DE DESARROLLO

FECHA: SEPTIEMBRE - 1987

ESQUEMA 2

CUADRO 2

CUENCA PILOTO RIO ARMA

RESULTADOS FASE II

Río	Potencial Aprovechable MW	
	Máx. Estimado	Inventariado
Arma	120	105
Sonsón	50	25
Aures	20	30
Q. Las Yeguas	22	35
Buey	130	95

3. ANALISIS Y PLANTEAMIENTO DEL APROVECHAMIENTO HIDROELECTRICO

RESULTADO DE LOS ESTUDIOS

3.1 ESQUEMA DE APROVECHAMIENTO

El punto de partida en el planteamiento del desarrollo hidroeléctrico de la cuenca del río Arma, fueron las alternativas presentadas en el Informe de Avance IV de Abril de 1987, las cuales a su vez tuvieron como base el análisis de la información producida por el Estudio del Sector de Energía Eléctrica unida a la nueva información recopilada y relacionada con aspectos de hidrología y cartografía básicamente.

Las alternativas presentadas en dicho informe tenían las características que se relacionan en el Cuadro 1 (capítulo anterior).

Algunos de los proyectos que figuran en este cuadro eran excluyentes, por ejemplo: Naranjal con La Linda; Cañaveral con Los Medios; las alternativas sobre el río Sonsón, los proyectos sobre el río Aures cuya única diferencia era el trazado por la margen derecha o margen izquierda; Jordán 1 y Jordán 2 y Carmelo 1 y Carmelo 2.

Con el panorama así establecido, se vió claridad sobre los sitios donde se debía concentrar la atención para obtención de mayor y más concreta información; entonces se planeó la visita de campo con el fin de determinar

en cada sitio las alternativas para un desarrollo final de la cuenca basados principalmente en las mejores condiciones topográficas y geológicas generales.

Una vez analizada tal visita y analizados los distintos aspectos de campo y oficina se llegó a la alternativa de desarrollo, cuyas características se muestran en el Cuadro 3.

Los nombres de los proyectos se precisaron de acuerdo con la región o sitio en que se localizan; en términos generales se puede decir que para la evaluación final se consideraron los mismos sitios que se mostraron en la fase preliminar solo haciendo algunas variaciones en las alternativas seleccionadas, p.e. en cuanto a emplazamiento de estructuras o nuevos cálculos de caudales y caídas a la luz de la mayor información recopilada.

La ubicación final de proyectos planteados se puede observar en la Figura 1 - Planta General.

3.2 HIDROLOGIA

Los estudios hidrológicos realizados durante el inventario tuvieron como objetivo principal la determinación de parámetros básicos necesarios para el predimensionamiento de los proyectos. En general se analizaron diferentes metodologías para la determinación de caudales medios y de crecientes para desviación y vertedero.

El estudio hidrológico buscó en general seguir los siguientes criterios:

- Utilizar al máximo la información hidrometeorológica directa, realizando previamente análisis de su representatividad y consistencia.
- Utilizar al máximo posible los datos hidrométricos directos, inclusive los de las estaciones instaladas en los últimos años.

Ver Figura 1 Anexo 2 "Hidrología"

En la determinación de los caudales medios se presentaron sitios con datos representativos como fueron los de los proyectos El Guaico y Sonsón lo que permitió estimativos confiables y en términos de caudales medios, curvas de duración y caudales extremos.

Para los restantes sitios que no disponían de datos hidrométricos directos se procedió con dos criterios:

- Si el sitio de desarrollo capta las aguas del río que tiene estación hidrométrica confiable pero no en el mismo lugar, se procedió con el cálculo del caudal medio por el método de correlación de áreas de drenaje. Este es el ejemplo del Proyecto El Carmelo.
- Si el sitio de desarrollo capta las aguas de un río sin información hidrométrica directa, se procedió por el método de establecer características geomorfológicas de la cuenca como área, longitud del cauce principal y altura para establecer elementos de juicio que permitieran determinar los rendimientos apropiados. Este es el caso de los Proyectos El Cairo, Aures, Cañaveral y Encimadas.

Para las desviaciones y con el criterio de que su diseño corresponde a un porcentaje de la creciente con período de retorno de 25 años y para

vertederos a la crecientes con período de retorno de 10000 años, se procedió a hacer el análisis de las crecientes de 25 y 10000 años por los métodos Gumbel, Log Gumbel, Pearson Tipo III y Log Pearson Tipo III, con el objeto de compararlas. En general se concluyó que la distribución estadística que mejor se acomodaba era la Log Pearson Tipo III.

Para proyectos sin datos hidrométricos directos se llevaron a cabo correlaciones con subcuencas de área menor con datos calculados de crecientes.

En general se encontró una relación bastante interesante entre el caudal de 25 años y el caudal medio que será necesario enriquecerla con más datos para probar su consistencia. Igualmente entre el caudal de 10000 años y el caudal de 25 años.

En el Anexo 2 "Hidrología" se describe más en detalle los procedimientos utilizados y los resultados a que se llegó en la investigación.

3.3 GEOLOGIA

Los sitios de los proyectos preseleccionados tienen como referencia geológica la plancha 167 (Sonsón) editada por el Ingeominas a escala 1:100.000. Para cada uno de los sitios de posibles proyectos se observaron las características geológicas y geotécnicas más relevantes y que pudieran servir de guía para adelantar el trabajo propuesto; entre ellas tenemos: tipos de roca, fallas y otras discontinuidades (diaclasas, foliación, etc), espesores de suelos y depósitos recientes que pudieran afectar las estructuras, principalmente. Dada la escala del mapa de referencia, en la visita de campo sólo se pudo confrontar la

parte litológica y a nivel regional las fallas y la foliación, encontrándose en general una buena correspondencia.

Puesto que no se disponía de una base cartográfica y dada la naturaleza misma de la visita, fue imposible adelantar algún tipo de levantamiento geológico; sin embargo, se tuvieron en cuenta las observaciones más notables para la evaluación de los sitios y en campo se discutieron con los ingenieros los aspectos de mayor interés.

Como una síntesis de los principales aspectos analizados para los sitios de los proyectos tanto en oficina y como resultado de la visita de campo se puede observar a este nivel del estudio que todos los proyectos quedarán emplazados en rocas cristalinas (ígneas y metamórficas) que generan una metodología típica caracterizada por un relieve montañoso con topografía abrupta. En su mayoría tienen laderas altas y muy empinadas y ríos encañonados.

Ver Figura 7 Anexo 1 "Presentación de proyectos y Geología"

Dichas características plantean estas observaciones generales:

- Se favorece la construcción de presas tipo gravedad o en arco.
(la escasez de agregados para concretos, hasta donde pudo observarse, conduciría al procesamiento de material de enrocado).
- Las obras subterráneas no parecen implicar mayores dificultades constructivas.
- Las obras superficiales (canales, tuberías, casas de máquinas) deben estudiarse cuidadosamente. Al menos deben incluir análisis de

estabilidad de taludes. Salvo en sectores donde la situación sea clara.

- Se prevén problemas para la consecución de arcilla (salvo en proyectos Aures y El Cairo, posiblemente) y agregados para concretos. Material de enrocado se consigue en abundancia.
- No se estiman dificultades con el grado de permeabilidad ni en sitio de presa ni en el embalse.
- No existen fallas de importancia que puedan generar problemas geotécnicos graves en las obras por construir.
- En general no se estiman inconvenientes serios con la estabilidad de las laderas adyacentes a los embalses.
- La generación de sedimentos no debe plantear problemas agudos para los proyectos.

3.4 CRITERIOS BASICOS Y MARCO DE REFERENCIA PARA EL ESTUDIO

Para llegar al esquema definitivo se tuvieron en cuenta los siguientes criterios básicos:

- El inventario que se realizó solo incluye proyectos con capacidades instaladas entre 10 y 100 MW.
- Entre este rango de potencias sólo se estudiaron proyectos de media a alta caída.

- Se consideró como uso del desarrollo únicamente la generación de energía eléctrica.
- Todos los proyectos deben conectarse a la red eléctrica nacional.
- En general se recomendaron alturas de presa igual o inferiores a 20 m.
- Los proyectos son de alta y media caída con conducciones del tipo de filo de agua.
- Los esquemas que se plantean para el desarrollo hidroeléctrico de la cuenca buscan ser sencillos con el fin de rebajar los plazos de construcción y en lo posible sus costos.
- Los vertederos se predimensionaron para evacuar crecientes con una frecuencia de 1:10.000 años. Se consideran siempre vertederos sin control incorporados a presas de concreto.
- Las estructuras de desviación deben atender durante construcción el 60% del pico de la creciente con frecuencia de 25 años.
- El caudal del diseño para las centrales se tomó como 1.1 el caudal medio.
- La velocidad máxima contemplada para los túneles fue de 4.0 m/s.
- La velocidad máxima contemplada para las tuberías de presión permisible fue de 8.0 m/s.

- Las casas de máquinas se contempló equiparlas con equipos convencionales, turbinas Pelton de eje vertical de 4 chorros y turbinas Francis.
- En todos los casos se buscó siempre obtener la mínima longitud de túneles posible.
- El estudio se realizó sobre cartografía 1:100.000 y 1:25.000.

En la definición de los desarrollos se hicieron evaluaciones tanto geológicas como hidrológicas que sirvieron como base de apoyo y como parámetros iniciales para los prediseños y análisis general.

3.5 DESCRIPCION DE LOS PROYECTOS

3.5.1 Proyecto Encimadas. El sitio del proyecto se encuentra ubicado sobre el cauce principal del río Arma a 2 km aproximadamente aguas arriba de la desembocadura del río Perrillo y a unos 15 km en línea recta desde la población de Pácora en el Departamento de Caldas, la cual es la localidad más cercana. En la actualidad no hay acceso por carretera hasta el propio sitio de presa, por lo cual es necesaria la construcción de estos accesos en una longitud aproximada de 15 km.

En este sitio se ha planteado un proyecto del tipo filo de agua por lo cual su embalse no inundará extensas zonas ni tendrá grandes fluctuaciones entre aguas máximas y mínimas.

La ubicación del proyecto en este sitio obedece, tanto a que las condiciones topográficas y geológicas se presentan atractivas en este nivel de estudio, como a la intención de obtener la mayor caída con longitudes

de conductos de presión razonables.

Morfológicamente el sector donde se ubican la presa y la casa de máquinas se caracteriza por la presencia de formas montañosas altas, cañones angostos, con un cauce estrecho donde no se observaron depósitos de sedimentos.

En las laderas aledañas al sitio de casa de máquinas hay presencia de roca sana (principalmente cuarzodiorita), por lo que se juzga no hay problemas con zonas inestables.

Tectónicamente la zona es firme. Cerca al sitio no se observaron fuentes de materiales finos por lo cual se definió que la presa fuera del tipo de gravedad en concreto, aprovechando además las buenas características aparentes para su fundación.

El proyecto se compone de una presa de gravedad en concreto con vertedero libre incorporado capaz de evacuar una creciente de $667 \text{ m}^3/\text{s}$, una toma lateral sumergida convencional que sirve de entrada a un túnel de 2.20 m de diámetro y 5540 m de longitud.

A continuación, el túnel empalma con una tubería de presión expuesta de 1.60 m de diámetro y 1107 m de longitud, la cual termina en una casa de máquinas superficial equipada con 4 turbinas Pelton, las cuales aprovechando una caída de 638 m, un caudal de $12.8 \text{ m}^3/\text{s}$ posibilita la instalación de 70 MW con una generación media de 540 GWh/año.

Ver Figura 2 del Anexo 1 "Presentación de Proyectos y Geología"

3.5.2 Proyecto Cañaveral. Está situado inmediatamente aguas abajo de la casa de máquinas del proyecto Encimadas en un punto denominado Arenillal. En este lugar el río es muy encañonado y permite la ubicación de las estructuras de retención y toma en un área restringida pero suficiente.

En el sitio de presa hay presencia de roca sana donde predominan los esquistos verdes y esquistos cuarzo-sericíticos de foliación fina con intercalaciones de filitas.

Desde el punto de vista estructural aparentemente no existen fallas que afectan directamente las obras del proyecto o el embalse.

Como en el caso del proyecto Encimadas, no se observó la presencia de material fino (arcillas) por lo cual se optó por una presa en concreto.

El proyecto planteado consta de una presa de gravedad en concreto de 20 m de altura, con un vertedero libre incorporado, el cual tiene capacidad para evacuar la creciente con recurrencia de 1:10.000 años de $826 \text{ m}^3/\text{s}$. Tiene una toma lateral convencional que sirve de entrada a un túnel de 2.2 m de diámetro y 3420 m de longitud, el cual se conecta con una tubería de 1.70 m de diámetro y 556 m de longitud, la cual termina en una casa de máquinas superficial equipada con 3 turbinas Francis que producen 35 MW con una caída de 283 m y un caudal de $15.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

El proyecto Cañaveral genera una energía media anual de 285 GWh.

Ver Figura 2 del Anexo 1 "Presentación de Proyectos y Geología"

3.5.3 Proyecto Sonsón. Actualmente la empresa EADE está operando una pequeña central hidroeléctrica de 4.5 MW de capacidad instalada, ubicada en el Departamento de Antioquia a 2 km de la población de Sonsón y a 130 km por carretera desde la ciudad de Medellín. La planta suministra energía a la población de Sonsón y a otras localidades vecinas.

El proyecto existente consta de las siguientes obras principales:

- Presa de gravedad en concreto con vertedero incorporado y canal de purga para sedimentos.
- Bocatoma lateral sumergida localizada aguas arriba de la presa, unida a un pozo vertical de aproximadamente 25 m de altura y 1.80 m de diámetro.
- Túnel de conducción a presión de 750 m de longitud y 1.80 m de diámetro.
- Cámara de válvulas al final del túnel, ubicada en el cota 2.283.
- Tubería de presión que une el túnel con la casa de máquinas. La longitud total de la tubería es de 910 m aproximadamente y diámetro aproximado de 0.80 m cuyo eje en la parte final está a una altura sobre el nivel del mar de 1780 m.
- Casa de máquinas equipada con 2 turbinas Pelton de eje horizontal operando bajo una caída total de 540 m.
- Un puente grúa de operación eléctrica con una capacidad máxima de 10 toneladas.

El replanteamiento de este proyecto que propone el presente estudio consiste en una casa de máquinas en la cota 1240 con lo que se consiguen 411 m adicionales de caída.

Dicha reubicación requiere la construcción de 2290 m de tubería de 0.80 m de diámetro con lo cual se consigue incrementar la potencia instalada hasta 25 MW y producir una energía media anual de 195 GWh.

Ver Figura 3 del Anexo 1 "Presentación de Proyectos y Geología"

3.5.4 Proyecto Aures. El proyecto Aures está ubicado sobre el río del mismo nombre en el Departamento de Antioquia a 7 y 9 km en línea recta de las poblaciones de Abejorral y Sonsón respectivamente.

En la actualidad existen buenos accesos carreteables hasta lugares cercanos a los sitios de las obras, pero para la construcción de las mismas se requerirán aproximadamente 10 kilómetros de carretera, parte de ellos, concretamente los necesarios para llegar a la casa de máquinas, deberán ser trazados y construidos en una topografía abrupta.

El proyecto creará un embalse de poca capacidad y en consecuencia las áreas a inundar serán mínimas, cosa que redunda en beneficio del proyecto por estar ubicado en una zona rica en cultivos y ganadería.

El proyecto está constituido principalmente por una presa en concreto con altura máxima de 20 m, la cual tiene un vertedero capaz de evacuar una creciente de $275 \text{ m}^3/\text{s}$ y un canal vertedero que sirve además para la purga de sedimentos. Aguas arriba de la presa hay una captación

lateral sumergida que comunica con un túnel de 2.0 m de diámetro y 1060 m de longitud trazado por la margen izquierda del río y el cual termina en una almenara antes de comunicarse con una tubería de 1.20 m de diámetro y 1400 m de longitud. La anterior conducción entrega 7.0 m³/s a una casa de máquinas superficial en la cota 1310, donde, aprovechando una caída de 504 m se producen 30 MW en 2 unidades Pelton de eje vertical. La generación media anual es de 235 GWh.

Se debe anotar que en sitios aledaños a la presa se observaron posibles fuentes de arcillas, lo que eventualmente puede hacer factible el estudio de una presa de enrocado con núcleo impermeable en análisis posteriores cuando haya un mayor conocimiento sobre sitios de préstamo en esta zona.

Ver Figura 4 del Anexo "Presentación de Proyectos y Geología"

3.5.5 Proyecto El Cairo. Las obras de retención y toma de este proyecto quedan ubicadas sobre la Quebrada Las Yeguas en el municipio de Abejorral aproximadamente a 8 km por carretera desde la cabecera principal. La casa de máquinas, ubicada en la margen izquierda del río Buey dista 4 km de la fábrica de Cementos El Cairo con acceso carreterable desde la población de Santa Bárbara.

Sobre la Quebrada Las Yeguas, aguas abajo del sitio del proyecto que se plantea en este estudio, se encuentran operando en malas condiciones por su antigüedad y por lo poco ortodoxo de sus diseños, 2 pequeñas centrales que suministran energía a la red municipal y a la fábrica de Cementos

El Cairo; una de propiedad de EADE produce 350 kW y la segunda, de propiedad de Cementos El Cairo produce 4.40 MW. Ambas centrales serán sustituidas por el nuevo proyecto.

La Quebrada Las Yeguas corre por un cauce encañonado, estrecho, de laderas empinadas con depósitos aluviales de poco espesor.

Geológicamente en la zona se observa granodiorita biotítica superficialmente descompuesta y alterada, la que al contacto con el agua puede ocasionar problemas de estabilidad, por lo tanto en estudios posteriores debe verificarse el grado y profundidad de la alteración de la roca y con ello la viabilidad del proyecto.

En cuanto a materiales de construcción se observa la presencia de arcillas y material granular grueso, pero fuentes cercanas de arenas no son claras.

El proyecto está compuesto por una presa vertedero con capacidad para evacuar $137 \text{ m}^3/\text{s}$, una estructura de toma lateral convencional, comunicada por medio de un canal corto con un desarenador para la captación de finos y material granular.

El desarenador está compuesto por: dos compuertas de admisión, dos cámaras de sedimentación las cuales en planta miden cada una 2.30 m de ancho por 26.0 m de largo y su respectiva galería de lavado para evacuación del material sedimentado.

El desarenador está comunicado con un canal de aducción de sección rectangular de 3000 m de longitud, con una sección de 2.0 m por 1.90 m y pendiente del 0.1%. Al final del canal hay una cámara de presión de donde se conecta una tubería de acero de 1.10 m de diámetro y 2122 m de longitud que entrega $4.6 \text{ m}^3/\text{s}$ a una casa de máquinas superficial equipada con 2 turbinas Pelton para producir 35 MW con una caída disponible de 877 m.

Ver Figura 5 del Anexo 1 "Presentación de Proyectos y Geología"

3.5.6 Proyecto El Guaico. Está localizado en el Departamento de Antioquia, a 20 km aproximadamente de la población de Abejorral y a 60 km de Medellín por carretera, de los cuales están pavimentados 40 km.

El esquema aprovecha la presa y vertedero construidos en el río Buey en la desviación de éste a la planta de bombeo para el acueducto de Medellín, existente en el río Piedras.

Este proyecto se plantea para operación coordinada con las Empresas Públicas de Medellín utilizando las aguas del río que exceden las necesidades del acueducto de Medellín.

La desviación del río Buey al río Piedras se diseñó con propósito de abastecimiento de agua al acueducto de Medellín, operando actualmente con $2 \text{ m}^3/\text{s}$. El caudal medio del río en este sitio es de $8 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal del 95% asciende a $4.2 \text{ m}^3/\text{s}$, lo que garantiza la producción de energía durante gran parte del año en el proyecto que se plantea.

Adicionalmente según se investigó, la necesidad de la desviación de los $2 \text{ m}^3/\text{s}$ del río Buey al río Piedras no es permanente, pues el caudal del río Piedras es autosuficiente para las necesidades del acueducto gran parte del año. Por otra parte, con la entrada en operación del proyecto Río Grande se prevé que la necesidad de estas aguas será cada vez menor.

Se puede concluir entonces, que la viabilidad técnica de este proyecto depende fundamentalmente de la forma de operación de la desviación del Buey al Piedras por parte de EPM.

Entendida así la situación, se plantea la construcción de una bocatoma en la margen izquierda del embalse existente, seguida de un túnel de 2.0 m de diámetro y 1640 m de longitud, el cual se conecta con una tubería de presión de 1.50 m de diámetro y 2380 m de longitud, la cual alimenta una casa de máquinas equipada con 4 turbinas Pelton de eje vertical que aprovechando el caudal referido y una caída del orden de 935 metros producen 70 MW de potencia y generan una energía media anual de 545 GWh.

Ver Figura 6 del Anexo 1 "Presentación de Proyectos y Geología"

3.5.7 Proyecto El Carmelo. Se encuentra localizado aguas abajo de la confluencia del río La Miel con el Buey, en territorio del Municipio de Montebello, Departamento de Antioquia.

El área donde se sitúa el proyecto es zona montañosa, en un cañón del río Buey con taludes naturales muy pendientes donde predominan rocas metamórficas mezcladas del tipo de las magmatitas.

El proyecto consta de una presa de gravedad en concreto de 22 m de altura con vertedero libre incorporado capaz de evacuar una creciente de $950 \text{ m}^3/\text{s}$. Aguas arriba de la presa, en la margen derecha del río se ubica una toma lateral sumergida que alimenta un túnel de 2.3 m de diámetro y 2160 m de longitud al final del cual se prevé una almenara para el alivio de sobrepresiones por golpe de ariete en las conducciones. A continuación hay un tramo de tubería de presión expuesta de 290 m de longitud y 1.90 m de diámetro, la cual entrega un caudal de diseño de $16.2 \text{ m}^3/\text{s}$ a una casa de máquinas superficial que con 3 turbinas Francis de eje vertical aprovecha una caída de 193 m produciendo una potencia de 25 MW y una energía media anual de 205 GWh.

El acceso a este proyecto se realiza por carretera desde la localidad de Montebello de la cual sólo haría falta por construir un tramo no mayor de 10 km incluídos los accesos a presa y casa de máquinas.

Ver Figura 6 del Anexo 1 "Presentación de Proyectos y Geología"

Como se puede observar, los proyectos hidroeléctricos de la cuenca del río Arma son proyectos típicos de filo de agua de media a alta caída, en los cuales se tiende a minimizar la longitud de los túneles y estructuras subterráneas y se opta por tuberías de presión superficiales y casa de máquinas también superficiales. Las presas son del tipo de gravedad o arco en concreto en cuyo frente no solo se proyecta un azud de flujo libre, sino también un canal lateral para evacuación periódica de sedimentos y el cual a su vez durante construcción ha servido para la desviación del río.

Las caídas obtenidas para los proyectos de la cuenca fluctúan entre 193 y 980 metros. Los caudales de diseño para la casa de máquinas van de 3.0 a 16.0 m³/s y los caudales con frecuencia de 1:10.000 para diseño de vertederos varían entre 60.0 y 950.0 m³/s. Las casas de máquinas están equipadas con turbinas Pelton y Francis de eje vertical en número mínimo de 2, válvulas esféricas a la altura de los distribuidores y en todas las conducciones están previstas almenaras para el alivio de sobrepresiones producidas por el golpe de ariete.

La breve descripción anterior de los proyectos se resume en los siguientes cuadros y se complementa con los otros anexos que hacen parte de este informe.

CUADRO 3

CUENCA PILOTO RIO ARMA

CARACTERISTICAS DE LOS ESQUEMAS PROPUESTOS EN LA FASE II

Proyecto	Río	Area Cuenca (km ²)	Cota Bocatoma (msnm)	Cota Descarga (msnm)	Caudales Q (m ³ /s)			
					Q medio	Q 95%	Q 4%	Q 0.001 %
Encimadas	Arma	306.5	2070	1390	11.6	5.5	148	667
Cañaveral	Arma	360.2	1375	1060	13.7	6.5	178	826
Sonsón	Sonsón	60.1	2310	1240	2.7	1.6	30	60
Aures	Aures	143.1	1835	1310	6.4	3.8	74	275
El Cairo	Q. Yeguas	78.6	1800	880	4.5	2.1	48	137
El Guaico	Buey	287.5	2044	1060	8.0	4.2	80	280
El Carmelo	Buey	276.3	1250	1045	14.7	6.2	200	950



CUADRO 4

CUENCA PILOTO RIO ARMA

CARACTERISTICAS DE LAS CENTRALES PROPUESTAS EN LA FASE II

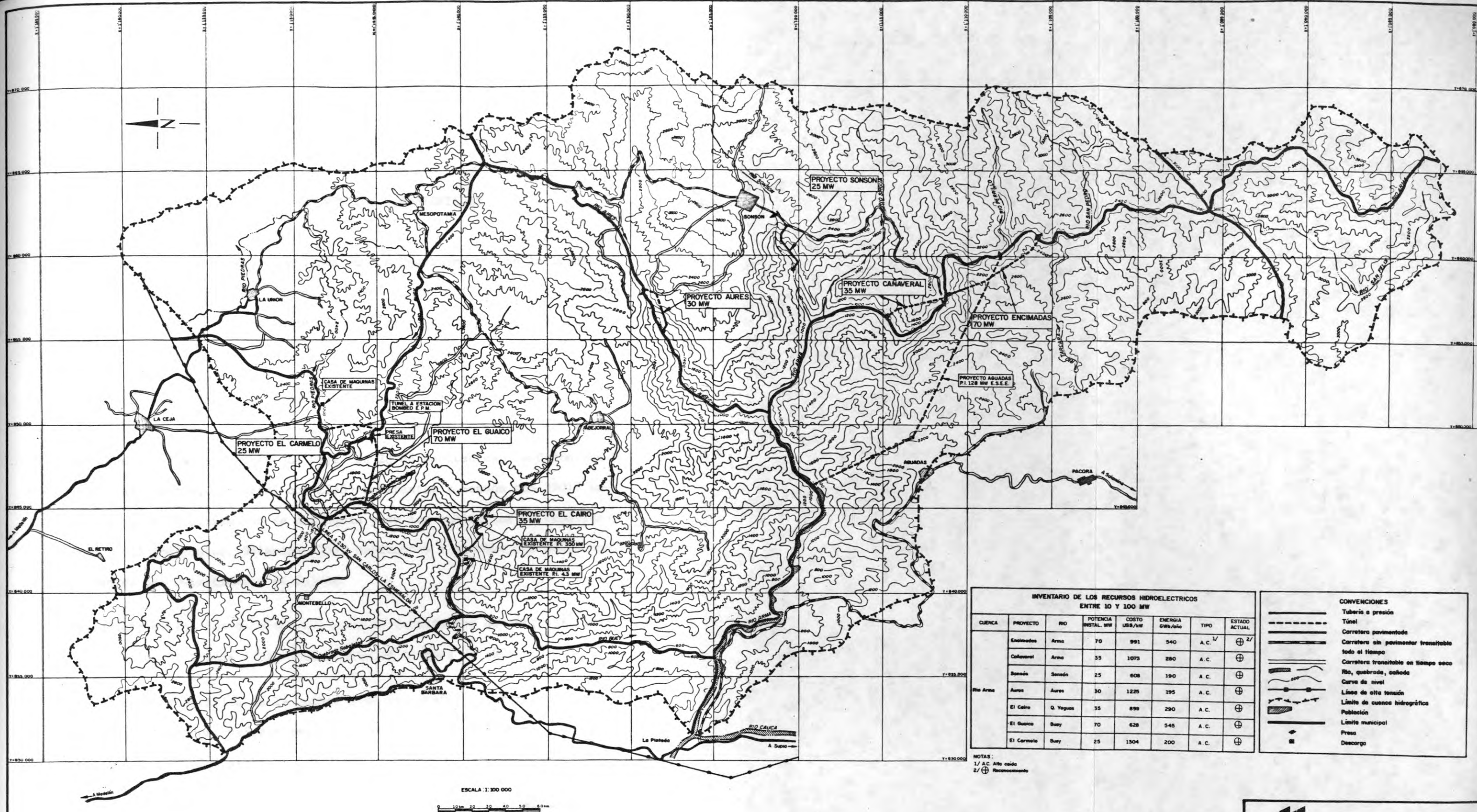
Proyecto	Río	Q Diseño Caudal (m ³ /s)	Caida H (m)		Potencia P (MW)	E. Media (GWh/año)	Número y tipo de Unidades	Diámetro Turbina (m) D ₁
			Bruta	Neta				
Encimadas	Arma	12.8	685	638	70	540	4 P (V)	1,20
Cañaveral	Arma	15.1	310	283	35	285	3 F (V)	1,32
Sonsón	Sonsón	3.0	1070	951	25	195	2 P (V)	0,72
Aures	Aures	7.0	530	504	30	235	2 P (V)	1,20
El Cairo	Q.Yeguas	4.6	919	877	35	270	2 P (V)	1,20
El Guaico	Buey	8.8	970	935	70	545	4 P (V)	0.86
El Carmelo	Buey	16.2	205	193	25	205	3 F (V)	2,0

(V) - Eje vertical
P Turbina tipo Pelton
F Turbina tipo Francis

CUADRO 5
INVENTARIO NACIONAL DE RECURSOS HIDROELECTRICOS
ENTRE 10 Y 100 MW
CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS PROYECTOS
CUENCA PILOTO RIO ARMA

Nombre Proyecto	Río	Area Cuenca (km ²)	Caudales (Q)			Caídas (H)		Potencia Instalada (MW)	Energía (E)		Costo Total * (US\$10 ³)	Plazo para Constr. (años)	Costos Indices	
			Q. Medio	Q.del 95%	Q.diseño	H total	H̄ Neta		E.Medía	E. Firme			C.Instal.	C.E.Med.
			(m ³ /s)			(m)			(GWh/año)				US/KW	US Mills /KWh
Guaico	Buey	287.5	8.0	4.2	8.8	970	935	70	545	290	43990	4	628	11.9
Carmelo	Buey	276.3	14.7	6.2	16.2	205	193	25	205	90	32610	4	1304	22.3
El Cairo	Yeguas	78.6	4.5	2.1	4.6	919	877	35	270	135	31450	4	899	17.2
Aures	Aures	143.1	6.4	3.8	7.0	530	504	30	235	140	36760	3	1225	20.9
Sonsón	Sonsón	60.1	2.7	1.6	3.0	1170	951	25	195	115	15200	3	608	10.4
Encimadas	Arma	306.5	11.6	5.5	12.8	685	638	70	540	255	69360	4	991	18.6
Cañaveral	Arma	360.2	13.7	6.5	15.1	310	283	35	285	135	37560	4	1073	19.0

* Costos a nivel de precios : Diciembre de 1986
US\$ 1 = \$ 219.00 Col.



**INVENTARIO DE LOS RECURSOS HIDROELECTRICOS
ENTRE 10 Y 100 MW**

CUENCA	PROYECTO	RIO	POTENCIA INSTAL. MW	COSTO US\$/kW	ENERGIA GWh/año	TIPO	ESTADO ACTUAL
Rio Arma	Encimadas	Arma	70	991	540	A.C. 1/	2/
	Canaveral	Arma	35	1073	280	A.C.	⊕
	Sonson	Sonson	25	608	190	A.C.	⊕
	Aures	Aures	30	1225	195	A.C.	⊕
	El Cairo	Q. Yaguas	35	899	290	A.C.	⊕
	El Guayo	Buay	70	628	545	A.C.	⊕
	El Carmelo	Buay	25	1304	200	A.C.	⊕

- CONVENCIONES**
- Tubería a presión
 - Túnel
 - Carretera pavimentada
 - Carretera sin pavimentar transitable todo el tiempo
 - Carretera transitable en tiempo seco
 - Río, quebrada, cañada
 - Curva de nivel
 - Línea de alta tensión
 - Límite de cuenca hidrográfica
 - Población
 - Límite municipal
 - Presa
 - Descarga

NOTAS:
1/ A.C. Alto caído
2/ Reconocimiento

PLANTA GENERAL

ISA Interconexión Eléctrica S. A.

INVENTARIO DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS
ENTRE 10 Y 100 MW

CUENCA PILOTO RIO ARMA

PLANTA GENERAL - UBICACION DE LOS PROYECTOS

Fecha: SEPTIEMBRE - 1987

FIGURA 1



4. ASPECTOS SOCIO ECONOMICOS Y AMBIENTALES

La cuenca del río Arma está ubicada en los Departamentos de Antioquia y Caldas y abarca un área total de 1950 km^2 de los cuales 1390 km^2 corresponden al Departamento de Antioquia y el resto son del Departamento de Caldas en forma aproximada.

La región cobijada por la cuenca del río Arma tiene en su composición política territorios de los municipios de Santa Bárbara 25882 habitantes, Montebello 8957 habitantes, La Ceja con 28766 habitantes, La Unión con 13313 habitantes, Abejorral con 25355 habitantes y Sonsón con 39017 habitantes del Departamento de Antioquia y de los municipios de Pensilvania 27623 habitantes, Salamina 23510 habitantes y Aguadas con 26455 habitantes del Departamento de Caldas.

Esta información fue obtenida del anuario estadístico de Antioquia 1986 y del Atlas de Caldas 1987, según censo de Octubre de 1985.

La posición geográfica de la cuenca y su topografía determinan climas cálidos, templados, fríos y páramos lo que hace que las principales actividades económicas de la zona sean los cultivos y la ganadería.

Entre los cultivos principales se tienen el café, el maíz, el mango, la papa, la guanábana y la lechuga. Como actividad económica importante

en el municipio de Santa Bárbara, se debe mencionar la producción de cemento en la fábrica de cementos El Cairo, la cual incluye explotación de calizas.

La región posee buenas vías de comunicación, entre las cuales se destacan la vía que desde Medellín comunica con los municipios de La Ceja y La Unión y la vía que desde Medellín comunica con las poblaciones de Santa Bárbara y La Pintada, ambas, totalmente pavimentadas. Existen otras vías sin pavimentar pero de buenas especificaciones que comunican a la Unión con Sonsón, La Unión con Abejorral, La Ceja con la vereda El Guaico y La Pintada con las poblaciones de Aguadas, Pácora y Salamina. Además existen vías carreteables que comunican otras regiones y veredas de la cuenca, lo que permite decir que la zona está bien comunicada por vía terrestre, por lo tanto, los accesos a contruir en los sitios de las obras de los proyectos en estudio son mínimos Ver Figura 1 Anexo 1.

Por las características de los proyectos, de filo de agua con conducciones, éstos prácticamente no forman embalses, por lo cual, las áreas a inundar son mínimas y el alcance de los impactos de los mismos sobre las tierras se limita entonces a áreas reducidas ubicadas generalmente al pie de grandes saltos en el río, los cuales por sus difíciles condiciones topográficas permanecen aún hoy inexplorados. La población afectada por los desarrollos se reduce a pobladores aislados en poco número.

Aunque en esta fase de reconocimiento, el estado actual de los estudios no permite determinar los alcances reales de los impactos generados por todos y cada uno de los proyectos, se puede afirmar que además de su impacto positivo para futuros planes de expansión se deben considerar

como proyectos de desarrollo regional.

Desde el punto de vista ambiental, este tipo de proyectos se puede decir, no genera perturbaciones, ya que no son afectados en forma significativa los sistemas naturales y otros como la pesca, prácticamente no existen en la región.

5. EVALUACION DE PRESUPUESTOS

A continuación se presentan los criterios generales utilizados en la evaluación de los presupuestos de los proyectos considerados en la cuenca piloto del río Arma. Además se da una breve descripción del método utilizado para la definición de precios de las diferentes componentes de costo.

5.1 NIVEL DE PRECIOS

Los precios considerados tienen como base el mes de Diciembre de 1986 y una tasa de cambio de \$219.00 pesos colombianos por dólar de los Estados Unidos de Norteamérica. Todos los costos se expresan en dólares equivalentes.

5.2 IMPREVISTOS, INGENIERIA Y ADMINISTRACION

Para tener en cuenta la parte del presupuesto que no es susceptible de evaluar al presente nivel de estudio y los gastos en que se incurre con las investigaciones iniciales, llámese factibilidad, diseño, Interventoría y Diseño durante construcción y administración del proyecto, se adoptan los siguientes porcentajes que se consideran adecuados para el estado actual de los proyectos.

	OBRA CIVIL %	EQUIPO %
. Imprevistos	25	15
. Ingeniería y Administración	10	8

El porcentaje de Imprevistos se aplica a los Costos Directos y el de Ingeniería y Administración a los Costos Directos más Imprevistos.

5.3 COMPONENTES EN MONEDA LOCAL Y EXTRANJERA

Para la desagregación del costo de los diferentes grupos de obras en Moneda Local y Extranjera se adoptaron porcentajes que consideran la posibilidad que tiene el país de aportar materiales, mano de obra y algún tipo de equipo de construcción en proyectos hidroeléctricos semejantes.

Así, se tomó:

GRUPO DE OBRA	MONEDA LOCAL %	MONEDA EXTRANJERA %
Infraestructura	100	0
Obras Civiles	60	40
Equipo Electromecánico	40	60

5.4 COSTOS INCLUIDOS EN LOS PRESUPUESTOS

Los presupuestos presentados abarcan todas las obras necesarias para la realización del proyecto como son: Infraestructura, Presa y Obras Anexas, Obra Civil de Generación y Equipo Electromecánico. No incluye

los costos de los módulos de subestaciones y las líneas de conexión a la red principal del Sistema Interconectado. Además no contiene los Costos Financieros del proyecto.

5.5 DISTRIBUCION DE INVERSIONES

Se han hecho estimativos de plazos de construcción de aquellas obras que por su magnitud, o complejidad inciden de una manera importante en el tiempo total de ejecución del proyecto y que generalmente marcan la ruta crítica del mismo. A partir de este plazo total se estima un flujo anual de inversiones de acuerdo con valores típicos para dichos tiempos de construcción.

5.6 INFORMACION BASICA DE COSTOS

Debido a la disparidad de detalle existente en la definición de las distintas obras de un proyecto a nivel de Inventario se hace necesario obtener los costos de información actual para proyectos hidroeléctricos similares construidos en el país y en el exterior.

Por ello se ha tomado información actualizada de:

- "Manual de Instrucciones para Estudios de Inventario de Cuencas Hidrográficas" - Eletrobras Brasil. 1984.
- "Costos de Proyectos en el Istmo Centroamericano" 1976.
- Información Costos Proyectos Betania, San Carlos, Jaguas, Calderas, Guadalupe IV, Salvajina y Playas.

- Estudio del Sector de la Energía Eléctrica. Volumen III. 1979.
- "Estudio Integral para el Aprovechamiento de la Cuenca del río Santa". Electroperú. 1983.
- "Metodología para elaboración de presupuestos Proyectos Magdalena Medio". ISA. 1982.
- "Estimaciones generales de Costos en Proyectos Hidroeléctricos". Instituto Costarricense de Electricidad. Enero 1979.

5.7 COMPONENTES DE COSTO

Con el fin de evaluar cada una de las obras que conforman los esquemas se seleccionó un conjunto de componentes de costo que permitiera evaluar los presupuestos de acuerdo con la información existente.

A continuación se presentan los componentes y los métodos para evaluarlos:

5.7.1 Obras Civiles

. Infraestructura

Se consideran todas las obras preliminares y básicas necesarias para la construcción y operación del proyecto.

Entre las más importantes se tienen:

- Tierras: Comprende la compra de propiedades necesarias para la ejecución del proyecto, tales como áreas para: vías de acceso,

campamentos de construcción y operación, localización de obras y los terrenos afectados por los embalses.

Con el fin de evaluar la tierra, estas se clasifican según su uso así:

. Pastos y cultivos generales	1200 US\$/Ha
. Arroz, sorgo, etc. cultivos semestrales	1400 US\$/Ha
. Otros sin clasificar	600 US\$/Ha

- Vías: Construcción de vías de acceso. En todos los casos se consideran de 6.0 m de calzada, sin pavimentar, topografía montañosa y a un costo de 400.000 US\$/km.
- Campamentos: Con base en información de los campamentos de construcción y operación de algunas centrales en construcción, se asumió un costo de US\$ 300/m², el cual incluye todas las obras de urbanización y dotación.
- Energía para construcción: Se asume con el 2% de la Capacidad Instalada del Proyecto con un costo de US\$1000/KW.

5.7.2 Presa y Obras Anexas

Se consideran en todos los proyectos presas típicas de desviación en las que se incluye el vertedero y las obras de captación, que se evalúan en función del volumen de concreto de las mismas. Se considera un extracosto del 20% para incluir excavación, tratamiento de la fundación, drenaje y otros ítemes menores. La desviación del

río durante la construcción utiliza el cauce natural del mismo pues se construye la presa por partes.

5.7.3 Obras Civiles de Generación

- Túneles

Excavación: Como una función del diámetro se obtiene el precio por m^3 de excavación, incluyendo el tratamiento primario consistente en pernos, malla y concreto lanzado.

Revestimiento: Se consideraron revestidos todos los túneles con concreto hidráulico de 0.40 m de espesor. Se tomó un valor de concreto en dólares por metro cúbico, que incluye el acero de refuerzo.

Los costos totales de los túneles abarcan las obras necesarias para su construcción y funcionamiento como ventanas y almenaras respectivamente.

- Tubería superficial

Se evalúa con base en el peso de la misma o sea como dólares por tonelada, donde incluye las obras civiles (excavación, acabado, apoyos, etc) necesarias para el montaje final de la tubería.

- Obras Adicionales

En el caso del proyecto El Cairo se consideraron cantidades de obra de excavación, concreto y equipo para el desarenador y el

canal y tanque de presión donde se incluyen todas las actividades necesarias para la terminación del mismo.

- Casa de Máquinas

Con base en que los proyectos considerados poseen características similares, se evaluó un módulo típico de casa de máquinas con sus respectivas cantidades de obra en excavaciones concretos y acero, partiendo de la información de las dimensiones obtenidas del prediseño del equipo de generación. Con esta información y las magnitudes totales de la casa de máquinas (largo x ancho x alto) se evaluó el costo total.

5.7.4 Equipo de Generación

- Equipo Mecánico

Comprende turbinas, reguladores, válvulas y puente grúa, su evaluación se efectúa con base en el peso de la turbina seleccionada en el prediseño. Este prediseño en función de los parámetros hidroeléctricos del proyecto fija las dimensiones máximas del equipo y define el tamaño de la casa de máquinas. Se incluye el equipo auxiliar que se evalúa como un 30% del costo total del grupo antes descrito.

- Equipo Eléctrico

Abarca: generadores, equipo de excitación y transformadores. Los generadores se evalúan con base en un parámetro de $(\frac{\text{KVA}}{\text{rpm}})$ [potencia

aparentemente/velocidad sincrónica]. Los transformadores se toman de 13.2 kV a 115 kV, se asumen trifásicos (por ser < 100 MVA) y con uno de repuesto por proyecto. También se evalúan a partir de su potencia aparente en MVA al igual que el caso anterior, el equipo eléctrico auxiliar se evalúa como un 30% del principal.

Se valora el Equipo Electromecánico FOB puerto de embarque, y su costo total considera: Fletes y seguros internacionales, arancel aduanero, impuesto de timbre, ley 68 de 1983, ley 50 de 1984, Proexpo (ley 55 de 1985), impuesto al valor agregado, gastos de nacionalización, transporte y seguros nacionales, montaje, supervisión del montaje, pruebas y puesta en marcha. El factor de mayoración se toma como 2.03 Costo FOB.

5.7.5 Transmisión

No se incluye los costos correspondientes a la transmisión a este nivel de estudio.

PROYECTO HIDROELECTRICO ENCIMADAS

Presupuesto Precios Constantes Dic. 1986

(Miles de Dolares Equivalentes)

US\$ 1 = \$ 219.00 Col.

Capacidad Instalada : 70 MW (4x17.5)

DESCRIPCION	Moneda Local	Moneda Extranjera	TOTAL
Infraestructura	11050	0	11050
Presa y Obras Anexas	1590	1050	2640
Obra Civil de Generacion	11280	7520	18800
Equipo Electromecanico	8030	12050	20080
	-----	-----	-----
Costo Directo Obra Civil	22920	8570	32490
Costo Directo Equipo	8030	12050	20080
	-----	-----	-----
Costo Directo Total	31950	20620	52570
Imprevistos	6930	3950	10880
Ingenieria y Administracion	5320	590	5910
	-----	-----	-----
C O S T O T O T A L	44200	25160	69360

COSTOS INDICES :

Costo de Instalacion [US\$/KW] : 991
 Energia Media [Gwh/año] : 540
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 18.6
 Energia Firme [Gwh/año] : 255
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 39.3

PLAZO DE CONSTRUCCION (incluy. Infraestructura) : 4 años

PROYECTO HIDROELECTRICO CAÑAVERAL

Presupuesto Precios Constantes Dic. 1986

(Miles de Dolares Equivalentes)

US\$ 1 = \$ 219.00 Col.

Capacidad Instalada : 35 MW (2x17.5)

DESCRIPCION	Moneda Local	Moneda Extranjera	TOTAL
Infraestructura	6030	0	6030
Presa y Obras Anexas	2020	1340	3360
Obra Civil de Generacion	6800	4540	11340
Equipo Electromecanico	2920	4370	7290
	-----	-----	-----
Costo Directo Obra Civil	14850	5880	20730
Costo Directo Equipo	2920	4370	7290
	-----	-----	-----
Costo Directo Total	17770	10250	28020
Imprevistos	4150	2130	6280
Ingenieria y Administracion	2930	330	3260
	-----	-----	-----
C O S T O T O T A L	24850	12710	37560

COSTOS INDICES :

Costo de Instalacion [US\$/KW] : 1073
 Energia Media [Gwh/año] : 285
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 19.0
 Energia Firme [Gwh/año] : 135
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 40.1

PLAZO DE CONSTRUCCION (incluy. Infraestructura) : 4 años

PROYECTO HIDROELECTRICO SONSON

Presupuesto Precios Constantes Dic. 1986

(Miles de Dolares Equivalentes)

US\$ 1 = \$ 219.00 Col.

Capacidad Instalada : 25 MW (2x12.5)

DESCRIPCION	Moneda Local	Moneda Extranjera	TOTAL
Infraestructura	2300	0	2300
Presa y Obras Anexas	0	0	0
Obra Civil de Generacion	2540	1690	4230
Equipo Electromecanico	2000	3010	5010
	-----	-----	-----
Costo Directo Obra Civil	4840	1690	6530
Costo Directo Equipo	2000	3010	5010
	-----	-----	-----
Costo Directo Total	6840	4700	11540
Imprevistos	1510	870	2380
Ingenieria y Administracion	1150	130	1280
	-----	-----	-----
C O S T O T O T A L	9500	5700	15200

COSTOS INDICES :

Costo de Instalacion [US\$/KW] : 608
 Energia Media [Gwh/año] : 195
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 10.4
 Energia Firme [Gwh/año] : 115
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 18.3

PLAZO DE CONSTRUCCION (incluy. Infraestructura) : 3 años

PROYECTO HIDROELECTRICO AURES

Presupuesto Precios Constantes Dic. 1986

(Miles de Dolares Equivalentes)

US\$ 1 = \$ 219.00 Col.

Capacidad Instalada : 30 MW (2x15)

DESCRIPCION	Moneda Local	Moneda Extranjera	TOTAL
Infraestructura	6030	0	6030
Presa y Obras Anexas	2300	1540	3840
Obra Civil de Generacion	4040	2700	6740
Equipo Electromecanico	4480	6730	11210
	-----	-----	-----
Costo Directo Obra Civil	12370	4240	16610
Costo Directo Equipo	4480	6730	11210
	-----	-----	-----
Costo Directo Total	16850	10970	27820
Imprevistos	3760	2070	5830
Ingenieria y Administracion	2800	310	3110
	-----	-----	-----
C O S T O T O T A L	23410	13350	36760

COSTOS INDICES :

Costo de Instalacion [US\$/KW] : 1225
 Energia Media [Gwh/año] : 235
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 20.9
 Energia Firme [Gwh/año] : 140

Costo Energia [mills US\$/kWh] : 35.2

PLAZO DE CONSTRUCCION (incluy. Infraestructura) : 3 años

PROYECTO HIDROELECTRICO EL CAIRO

Presupuesto Precios Constantes Dic. 1986

(Miles de Dolares Equivalentes)

US\$ 1 = \$ 219.00 Col.

Capacidad Instalada : 35 MW (2x17.5)

DESCRIPCION	Moneda Local	Moneda Extranjera	TOTAL
Infraestructura	6000	0	6000
Presa y Obras Anexas	500	340	840
Obra Civil de Generacion	5580	3720	9300
Equipo Electromecanico	2980	4470	7450
	-----	-----	-----
Costo Directo Obra Civil	12080	4060	16140
Costo Directo Equipo	2980	44750	7450
	-----	-----	-----
Costo Directo Total	15060	8530	23590
Imprevistos	3470	1690	5160
Ingenieria y Administracion	2430	270	2700
	-----	-----	-----
C O S T O T O T A L	20960	10490	31450

COSTOS INDICES :

Costo de Instalacion [US\$/KW] : 899
 Energia Media [Gwh/año] : 270
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 17.2
 Energia Firme [Gwh/año] : 135

Costo Energia [mills US\$/kWh] : 34.5
 PLAZO DE CONSTRUCCION (incluy. Infraestructura) : 4 años

PROYECTO HIDROELECTRICO EL GUAICO

Presupuesto Precios Constantes Dic. 1986

(Miles de Dolares Equivalentes)

US\$ 1 = \$ 219.00 Col.

Capacidad Instalada : 70 MW (4x17.5)

DESCRIPCION	Moneda Local	Moneda Extranjera	TOTAL
Infraestructura	4140	0	4140
Presa y Obras Anexas	0	0	0
Obra Civil de Generacion	9240	6160	15400
Equipo Electromecanico	5510	8270	13780
	-----	-----	-----
Costo Directo Obra Civil	13380	6160	19540
Costo Directo Equipo	5510	8270	13780
	-----	-----	-----
Costo Directo Total	18890	14430	33320
Imprevistos	4180	2780	6960
Ingenieria y Administracion	3340	370	3710
	-----	-----	-----
C O S T O T O T A L	26410	17580	43990

COSTOS INDICES :

Costo de Instalacion [US\$/KW] : 628.
 Energia Media [Gwh/año] : 545
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 11.9
 Energia Firme [Gwh/año] : 290
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 22.6

PLAZO DE CONSTRUCCION (incluy. Infraestructura) : 4 años

PROYECTO HIDROELECTRICO EL CARMELO

Presupuesto Precios Constantes Dic. 1986

(Miles de Dolares Equivalentes)

US\$ 1 = \$ 219.00 Col.

Capacidad Instalada : 25 MW (348.3)

DESCRIPCION	Moneda Local	Moneda Extranjera	TOTAL
Infraestructura	5570	0	5570
Presa y Obras Anexas	2380	1580	3960
Obra Civil de Generacion	4810	3200	8010
Equipo Electromecanico	2730	4100	6830
	-----	-----	-----
Costo Directo Obra Civil	12760	4780	17540
Costo Directo Equipo	2730	4100	6830
	-----	-----	-----
Costo Directo Total	15490	8880	24370
Imprevistos	3600	1820	5420
Ingenieria y Administracion	2540	280	2820
	-----	-----	-----
C O S T O T O T A L	21630	10980	32610

COSTOS INDICES :

Costo de Instalacion [US\$/KW] : 1304
 Energia Media [Gwh/año] : 205
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 22.3
 Energia Firme [Gwh/año] : 90
 Costo Energia [mills US\$/kWh] : 52.0

PLAZO DE CONSTRUCCION (incluy. Infraestructura) : 4 años

6. ORGANIZACION Y EJECUCION DE LOS TRABAJOS

El estudio en la cuenca del río Arma comenzó formalmente en Septiembre de 1986 con personal del Departamento de Ingeniería Civil de ISA. El trabajo tenía un programa para su ejecución de seis meses, plazo que incluía la presentación del informe final y recomendaciones a la "Guía para el inventario de proyectos hidroeléctricos entre 10 y 100 MW".

El plan se cumplió en un año, con retraso de seis meses respecto al plazo original. A finales de 1986 y a principios de 1987 se incorporó al grupo personal de ingenieros y un auxiliar de ingeniería. Hacia finales del período se contó con recursos adicionales para las labores de dibujo.

La investigación se ha venido desarrollando de una manera lenta pero normal teniendo en cuenta que estamos aún en la fase de planeamiento a nivel del Sector sobre la forma como se ejecutará el plan nacional de este inventario.

La conformación del grupo que desarrolló esta fase de estudio piloto sobre la cuenca del río Arma, continuará con las labores que se decidan dentro del programa.

El proceso de ajuste es apenas natural y ha incidido en el mayor plazo utilizado en su ejecución.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La organización y el planeamiento de las acciones necesarias para poner en marcha el plan nacional del inventario de los recursos hidroeléctricos del país aún disponibles en el rango de 10 a 100 MW, muestran los resultados que se plasman en este informe permitiendo a ISA formular las siguientes conclusiones y recomendaciones a la organización misma para su ejecución, a la guía que se había elaborado para su orientación y al desarrollo hidroeléctrico.

7.1 CONCLUSIONES

7.1.1 En cuanto a la organización y orientación del inventario propiamente dicho:

- Durante el desarrollo de las actividades se observó ausencia de una política clara y definida entre los socios de ISA relativos a la necesidad y métodos para la realización del inventario. Esto evitaba que internamente en ISA se estableciera una política de procedimientos para la realización del inventario y por lo tanto en cierta forma se paralizaran las actividades de solicitud de información básica sobre la zona de influencia del inventario.

Como consecuencia de lo anterior, el personal que se tenía dispuesto para el inventario, se le asignaron internamente trabajos diferentes, dando como resultado la parálisis total o parcial por épocas en cuanto al estudio, es decir, no hubo continuidad en la labor, ni en ■■■■■ /a dedicación, ni en la orientación, por la incertidumbre mencionada anteriormente.

- Dado que el estudio de la cuenca piloto era la fase inicial, apenas se realizaron ajustes en la conformación del grupo que debería trabajar definitivamente en la realización y coordinación del inventario, lo cual incidió en los rendimientos a nivel del plazo obtenido respecto a lo previsto.
- Durante el período de ejecución de los estudios se detectaron vacíos en la "Guía para el inventario" que se había preparado con anterioridad, por lo cual y como parte importante dentro de los resultados obtenidos en esta primera etapa, se procederá a hacer ajustes y complementaciones, de tal forma que ésta verdaderamente resulte una ayuda en los trabajos que los socios efectúen en el futuro próximo.

7.1.2 En cuanto al desarrollo hidroeléctrico:

Con base en los análisis de alternativas y los diversos estudios realizados, se puede decir que:

- El estudio de reconocimiento muestra que puede ser viable, técnica y económicamente desarrollar el potencial hidroeléctrico instalable en proyectos entre 10 y 100 MW en la cuenca del río Arma. Los costos unitarios de potencia instalada y energía generada se observan atractivos a este nivel de reconocimiento.

- Los plazos generales de construcción son cortos, lo que permite una recuperación de inversiones en menores plazos.
- Las características geológicas de las áreas para el emplazamiento de presas y construcción de túneles, en principio parecen adecuadas. Los proyectos se encuentran ubicados en una zona de sismicidad media alta, aspecto que deberá ser analizado con mayor profundidad durante etapas posteriores de estudio.
- Las zonas donde quedarían localizadas las obras de estos proyectos, tienen muy buena dotación de vías e infraestructura en general, circunstancia que reduce significativamente los costos imputables a los proyectos por estos conceptos.
- Los proyectos planteados en la cuenca del río Arma y sus afluentes, no producen alteración en grandes sistemas de drenaje, ni introducen cambios en ecosistemas o el medio ambiente, debido al reducido tamaño de los embalses.
- Las características técnicas y los costos que se analizaron dejan ver que a excepción de los proyectos Cañaveral y El Carmelo, los demás poseen costos de energía firme inferior a los US\$0.021 por KWh generado.

En este sentido presentan mayor atractivo los proyectos Sonsón, Encimadas, El Guaico y El Cairo. En el proyecto Sonsón, los costos son marginales.

- A nivel de reconocimiento no se analizaron costos de la transmisión de los proyectos.
- La ejecución de estos proyectos se prevé tendrá un impacto favorable en el desarrollo regional al igual que generarán fuentes de empleo durante su construcción.

7.2 RECOMENDACIONES GENERALES

- Se recomienda continuar con el inventario a nivel nacional con el fin de tener mayores puntos de comparación y decidir un orden de prioridades para futuros estudios.
- Como se trata de que los proyectos se interconecten al sistema nacional, se debe dar prioridad al inventario en zonas cercanas a redes existentes y su conexión en forma individual debe efectuarse a líneas de 115 kV o menores.
- Se recomienda que para una marcha efectiva de las labores del inventario de 10 a 100 MW, las Empresas del Sector Eléctrico deben colocarse metas fijas en este sentido y hacer una evaluación de sus capacidades técnicas y presupuestales, que les permita definir la mejor regionalización del país y su distribución entre ellas e ISA y según sus prioridades hacer las asignaciones presupuestales necesarias con miras a tener el inventario nacional terminado para el año de 1990.

En este sentido ya se manifestó la CVC dejando claros cuáles son las cuencas en donde realizará dicho trabajo en el territorio del Valle del Cauca.

- Por tanto ISA continuará al frente de los trabajos, tanto en las labores de coordinación de los estudios, como en la ejecución misma del inventario en aquellos territorios que se juzguen prioritarios y en los cuales no hayan sido iniciadas las labores.
- En este sentido se tiene pensado continuar ejecutando el inventario en los territorios de Antioquia, viejo Caldas, Tolima y parte del Huila con el fin de que para 1990 se empalme con la labor de la CVC y el inventario en la zona andina central esté garantizado para esa época.

Se espera contar pues, con el apoyo irrestricto de todas aquellas personas y entidades que tengan que ver con el estudio para que éste se pueda realizar sin tropiezos en los plazos comprometidos.

Cuenca piloto del río Arma : inventario de
proyectos hidroeléctricos entre 10 y 100 MW
Intrconexión Eléctrica S.A.

333.914 I611c Ej.1

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA

FECHA