

MINISTERIO DE MINAS Y ENERGIA

ESTUDIOS PROYECTO PORCE II

	<u>Página</u>
1. <u>INTRODUCCION.</u>	1
2. <u>ALCANCE DEL CONCEPTO.</u>	2
3. <u>DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO.</u>	3
3.1. PROPIETARIO.	3
3.2. CONSULTOR.	4
3.3. DESCRIPCION DEL PROYECTO.	4
3.4. PROGRAMA GENERAL DE EJECUCION.	7
3.5. ELEMENTOS COMPLEJOS DEL PROYECTO.	7
4. <u>METODOLOGIA CORRIENTE EN EL PROCESO DE DISEÑO DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS Y SU COMPARACION CON EL PROCESO SEGUIDO EN EL PROYECTO PORCE II.</u>	9
4.1. PROCESO CORRIENTE DE PLANEAMIENTO.	9
4.2. PROCESO DE PLANEAMIENTO DEL PROYECTO PORCE II.	12
5. <u>RESUMEN DE LA OPINION INDIVIDUAL DE LOS ESPECIALISTAS SOBRE EL PROYECTO.</u>	15
5.1. OPINION DEL GEOLOGO RODRIGO ALVAREZ SOBRE LOS ESTUDIOS GEOLOGICOS.	15
5.2. OPINION DEL ING. HIDROLOGO GERMAN ACERO RIVEROS SOBRE LOS ESTUDIOS HIDROLOGICOS, DE POTENCIA Y ENERGIA.	16
5.3. OPINION DEL ING. AMBIENTALISTA JAIRO ROMERO.	19
5.4. OPINION DEL ING. GEOTECNISTA JORGE HACELAS.	19
5.5. OPINION DEL ING. HIDRAULICO GERMAN SILVA F.	20
5.6. OPINION DEL ING. MECANICO ALBERTO HUERTAS.	22
6. <u>OPINION FINAL CONJUNTA.</u>	25

INFORME SC&A-023
CONCEPTO - ESTUDIOS PROYECTO PORCE II

A N E X O S

Como anexos del informe SC&A-P23, concepto sobre el alcance y profundidad de los estudios y diseños del proyecto Porce II, se presentan los siguientes informes :

- ANEXO 1 - INFORME DEL ING. GERMAN ACERO RIVEROS
- ANEXO 2 - INFORME DEL ING. RODRIGO ALVAREZ
- ANEXO 3 - INFORME DEL ING. JORGE HACELAS MARIÑO
- ANEXO 4 - INFORME DEL ING. ALBERTO HUERTAS
- ANEXO 5 - INFORME DEL ING. JAIRO ROMERO ROJAS
- ANEXO 6 - INFORME DEL ING. GERMAN SILVA FAJARDO
- ANEXO 7 - LISTA DE FUNCIONARIOS ENTREVISTADOS

1. INTRODUCCION.

La Comisión Nacional de Energía mediante Contrato 009-10/92 encomendó a nuestra Compañía el realizar una evaluación de los estudios realizados por las Empresas Públicas de Medellín para el proyecto Hidroeléctrico Porce II, y presentar nuestra opinión respecto a su alcance y cubrimiento, en concordancia con lo establecido por el CONPES en el documento DNP-2606 UNIF-DELEC-MINMINAS.

Para cumplir con la misión encomendada, se constituyó un grupo de especialistas que visitaron las oficinas de las Empresas Públicas de Medellín y las de los consultores del proyecto la compañía Integral, se entrevistaron con los funcionarios y especialistas responsables del proyecto, examinaron los planos de licitación y algunos documentos básicos de diseño, recopilaron y analizaron aquellos informes y planos que consideraron relevantes, los cuales fueron suministrados por Integral y por la Empresas Públicas de Medellín.

El grupo de especialistas que formaron parte del grupo de evaluación y sus especialidades son las siguientes :

- ING.GERMAN SILVA FAJARDO : Coordinador del grupo Especialista en Hidráulica.
- ING.JORGE HACELAS MARIÑO : Especialista en Geotecnia.
- ING.GEO. RODRIGO ALVAREZ : Especialista en Geología
- ING.GERMAN ACERO RIVEROS : Especialista en Hidrología, Potencia y Energía.
- ING.JAIRO ROMERO ROJAS : Especialista en Ingeniería Ambiental.
- ING.ALBERTO HUERTAS R. : Especialista en Equipos Eléctricos y Mecánicos.

2. ALCANCE DEL CONCEPTO.

De acuerdo con lo establecido en las recomendaciones del Documento CONPES DNP-2606-UNIF-DELEC-MINMINAS del 13 de Agosto de 1992, la Comisión Nacional de Energía deberá conceptuar, antes de dar prioridad de ejecución a cualquier proyecto componente del plan de expansión de referencia, si el proyecto propuesto dispone de estudios completos.

En consecuencia, el alcance del concepto solicitado por la Comisión Nacional de Energía a nuestra compañía es el siguiente :

- Revisión del informe Gestión de Financiación Capítulos I al VI, presentado por las Empresas Públicas de Medellín a la Comisión de Energía.
- Reuniones con los Consultores del proyecto y con las Empresas Públicas de Medellín para establecer el alcance y detalle de las investigaciones de campo, ensayos de materiales, diseño detallado de las obras y equipos, así como el presupuesto de las obras y especificaciones técnicas realizadas para el proyecto.
- Elaboración de un concepto que incluye un resumen de las investigaciones y estudios realizados sobre el proyecto, su cobertura y una opinión acerca de si la profundidad y detalle de estas son suficientes para poder iniciar los trámites de licitación, de acuerdo con las prácticas corrientes en este tipo de proyectos.

La opinión de los especialistas se refiere fundamentalmente a la cobertura y alcance de las investigaciones y diseños realizados para el Proyecto Porce II acorde con la práctica corriente en este tipo de proyectos, y no sobre la calidad del trabajo realizado por los consultores y por las Empresas Públicas de Medellín, o sobre la conveniencia o inconveniencia de las obras diseñadas, ni sobre el futuro comportamiento de las mismas o sobre las características energéticas y operativas del proyecto.

3. DESCRIPCION GENERAL DEL PROYECTO.

La Central Hidroeléctrica Porce II, está localizada en el Departamento de Antioquia en jurisdicción de los municipios de Amalfi, Gómez Plata y Yolombó, en el sitio denominado El Mango, aproximadamente a 120 Km. de la ciudad de Medellín sobre la vía Medellín-Amalfi.

3.1. PROPIETARIO.

El Proyecto Porce II está ubicado en jurisdicción de las Empresas Públicas de Medellín, Entidad que ha venido realizando los estudios básicos y los diseños definitivos y que pretende ser la propietaria, ejecutara y operadora del mismo.

Para realizar este proyecto, las Empresas Públicas de Medellín, crearon un grupo de gestión dependiente de la Gerencia de Energía para dirigirlo y coordinarlo, denominada Dirección Proyecto Porce II, con una organización interna definida por objetivos y no por funciones específicas.

La organización del Proyecto Porce II esta encabezado por un director de proyecto y cuenta con el soporte de 3 departamentos a saber :

- Departamento de Equipos
- Departamento de Obras Civiles
- Departamento de Servicios Generales

Merece destacarse que el diseño de este proyecto fue desarrollado bajo el concepto del aseguramiento de la calidad del mismo, lo cual implicó una organización especial tanto dentro de las Empresas Públicas de Medellín como dentro de la empresa consultora Integral S.A.

Los positivos resultados de esta organización se evidenció durante la visita en la calidad uniforme de los informes y planos, y en la organización de los archivos técnicos del mismo.

3.2. CONSULTOR.

Las diversas etapas de planeamiento del proyecto Porce II fueron realizadas por las Empresas Públicas de Medellín con la participación y asesoría de las firmas consultoras, Consultores Técnicos de Medellín, ASCON LTDA. e Integral S.A.

Los diseños detallados y los planos de licitación fueron realizados por Integral S.A. mediante un contrato celebrado con E.P.M. el cual preveía que este se realizaría en dos etapas a saber :

- ETAPA I - Diseños y planos para licitación
- ETAPA II - Asesoría durante construcción

Aunque la Etapa I comprendía la realización de los diseños y planos de licitación, sin embargo debido a los aplazamientos surgidos en la toma de decisión del plan de expansión, estos diseños fueron llevados hasta una etapa de diseño más avanzada, etapa que se concluyó el 31 de Octubre. Un contrato adicional se realizará durante 1993, incluye algunas investigaciones adicionales como son las pruebas de mezclas para la presa, montaje de un laboratorio especializado para realizar ensayos de las rocas de túneles y de la casa de máquinas, la verificación de la operación de vertedero utilizando un modelo hidráulico reducido y la ejecución de una galería exploratoria, la cual permitirá verificar las condiciones "in situ" de la roca a lo largo del túnel de acceso y de la caverna de la casa de máquinas para definir su orientación final.

3.3. DESCRIPCION DEL PROYECTO.

La descripción general del proyecto y la información sobre las dimensiones características fueron tomadas del informe - Gestión de Financiación - Capítulo II, Volumen I Estudios Básicos y Descripción de las obras y equipos.

El proyecto Hidroeléctrico Porce II contempla el aprovechamiento de las aguas del río Porce y su regulación en un embalse de 234 millones de m³, de los cuales 83 millones de m³ corresponden al embalse útil, lo que equivale

a un volumen equivalente al caudal turbinado durante 8 días continuos, e inunda un área de 9.7 Km.². Las aguas del río Porce provienen del río Medellín, de los afluentes del área Metropolitana de Medellín y de las aguas de la cuenca del Río Grande, reguladas en el embalse de este mismo nombre, parte de las cuales son trasvasadas hacia el área Metropolitana de Medellín, agua que parcialmente regresa al río Medellín en forma de aguas residuales. El caudal medio multianual en este sitio es de 113.6 m³/s.

Para formar el embalse descrito, se construirá una presa de concreto compactado con rodillo de 118 m. de altura y 445 m. de longitud en la cresta, complementada con un refuerzo de llenos en tierra y roca sobre el estribo derecho, la cual tiene incorporado un vertedero de cresta ancha y 6 compuertas radiales de control con una capacidad máxima de evacuación de 9860 m³/s., cuando se presente la creciente máxima probable (CMP).

Igualmente, la presa de concreto tiene adosada a la cara de aguas arriba la obra de toma, y de forma semicilíndrica, con aducción radial, la cual está conectada al túnel de carga mediante un pozo vertical.

La presa involucra un conducto rectangular de 2.2m. x 3.2 m. ubicado en el fondo, el cual operará como descarga de fondo y será controlado aguas abajo mediante dos compuertas, una rectangular y una radial.

Para poder realizar la construcción de la presa será necesario desviar el río en la zona, mediante un túnel en forma de D, de 5,8 m. de diámetro, y 290 m. de longitud, una preatagüa de rocas de gran tamaño para poder cerrar el cauce principal y desviar el río por el túnel de desviación, una atagüa de 14 m. de altura construida en concreto compactado con rodillo y un lleno de enrocado hacia aguas arriba el cual involucra la preatagüa con la atagüa.

El túnel de conducción se inicia en el empalme con el pozo vertical de la bocatoma y termina en la casa de máquinas, tiene una longitud de 4399.5 m., de los cuales 4262 m. corresponden a un túnel circular de 7.29 m. de diámetro y revestido en concreto; 110 m. corresponden a un tramo blindado de forma circular y 5.6 m. de diámetro, que empalma con el distribuidor. Se ha previsto construir una almenara convencional de 129 m. de altura y 15,00 m. de diámetro, con orificio restrictivo de 3.60 m. de diámetro.

La casa de máquinas será subterránea y estará ubicada sobre la margen derecha del río Porce. Esta compuesta por dos cavernas paralelas, de las cuales la primera alojará los equipos hidromecánicos, los generadores, los transformadores y los equipos de control, y la segunda operará como colector de las aguas turbinadas y como almenara del conducto de fuga.

La primera caverna tiene una longitud de 92 m. un ancho de 21.3 m. y una altura de 43. m., aloja 3 grupos con turbinas tipo francias de eje vertical de 137.75 MW cada uno y generadores trifásicos sincrónicos de 150 MVN cada uno, girando a 300 RPM.

El salto neto nominal es de 225.3 m., y el caudal nominal de cada unidad de 67.7 m³/s. La generación media anual es de 2044 GWh de los cuales 1422 GWh son firmes. El factor de planta es 0.595. La caverna aloja igualmente 10 transformadores monofásicos de 50 KVA cada uno (13.2/230 KV), y los equipos de regulación y control.

La segunda caverna aloja la almenara aguas abajo, y las compuertas de revisión de los túneles de aspiración. Tiene 83 m. de longitud, 12 m. de ancho y 31.45 m. de altura. Teniendo en cuenta que las aguas provienen de los drenajes urbanos de Medellín, se ha previsto aislar esta caverna, de la caverna principal, y presurizar la caverna principal. La caverna de la almenara estará conectada con la superficie mediante un conducto de ventilación especial e independiente.

El túnel de fuga operará a presión, tiene 562,33 m. de longitud y descarga en el río Porce mediante un pozo vertical de 32 m. de altura.

La subestación principal es del tipo convencional, barra principal y transferencia, a 230 KV, con 8 campos de conexión. Estará conectada mediante líneas de 230 KV con las subestaciones El Salto-Barbosa y Guadalupe IV con una longitud total de 136 Km.

Las obras de infraestructura comprenden 5 Km. de vía de acceso a los sitios de presa y casa de máquinas, 17.5 Km de vía nueva para restituir los tramos inundados por el embalse de Porce II y la rehabilitación de 61.5 Km. de vías existentes, tal que todas las vías de acceso al proyecto están pavimentadas antes de iniciar su construcción.

Adicionalmente se construirán 22.689 m² de campamentos y oficinas.

3.4. PROGRAMA GENERAL DE EJECUCION.

De acuerdo con la información obtenida durante la visita efectuada a las oficinas de EPM, el programa general de ejecución prevee la realización de los trabajos de acuerdo con el siguiente cronograma :

- Octubre 1992 : Apertura licitación de vías.
- Diciembre 1992 - Enero 1994 : Autorizaciones y trámites de financiación.
- Enero 1994 - Junio 1994 : Licitaciones de obras civiles y equipos.
- Junio 1994 - Junio 1995 : Trámites de contratación.
- Junio 1995 - Dic. 1999 : Construcción obras civiles, montajes y prueba de equipos.

3.5. ELEMENTOS COMPLEJOS DEL PROYECTO.

Los grandes proyectos generalmente están compuestos por obras y componentes de diversa complejidad técnica o constructiva.

En términos generales, las dimensiones y el tipo de las estructuras y equipos del proyecto, así como las condiciones geológicas y geotécnicas del área del proyecto Porce II, permiten establecer que salvo la presa, los demás componentes del proyecto Porce II son corrientes no revisten una complejidad especial y existen experiencias precedentes análogas. De todas maneras el grado de complejidad técnica de los diversos elementos constitutivos del proyecto no es uniforme, siendo algunos de ellos más complejos que otros. Estos componentes más complejos los hemos identificado y los describimos a continuación :

- *- Presa de enrocado en concreto compactado con rodillo. La presa será la más alta del país y una de las más alta del mundo de este tipo, debiéndose ejecutar un refuerzo del estribo derecho para evitar grandes

- excavaciones en roca meteorizada del batolito Antioqueño (cuarzodiorita).
- *- Vertedero de cresta ancha ubicado sobre la presa de concreto con un canal de evacuación convergente que genera canales laterales asimétricos y con un deflector tipo salto de sky ubicado 70 m. sobre el nivel de fundación de la presa.
 - *- La Compuerta radial de control de la descarga de fondo, cuya presión de trabajo no tiene muchos precedentes en el mundo.
 - *- Obras subterráneas : Toda obra subterránea como son en este caso la casa de máquinas y el túnel de fuga, generan riesgos potenciales hasta tanto se conozca con exactitud la calidad real de la roca, el grado de fracturamiento y la existencia o no de agua a presión en la zona.
 - *- Efectos ambientales :
 - El construir un embalse para regular las aguas provenientes de los drenajes y alcantarillados urbanos y Metropolitanos de Medellín, genera expectativas sobre los efectos ambientales alrededor del mismo.
 - Efectos de gases y emanaciones: Los gases emanados por las aguas contaminadas pueden afectar los equipos electrónicos de casa de máquinas, como ha sucedido en las centrales del río Bogotá.
 - La calidad agua puede afectar los equipos hidromecánicos.
 - *- El creciente transporte de sedimentos del Río Porce puede colmatar el embalse muerto en un plazo inferior al previsto. De todas formas el periodo estimado de colmatación del embalse es cercano al 50% de la probable vida útil de las demás estructuras y obras civiles.

4. METODOLOGIA CORRIENTE EN EL PROCESO DE DISEÑO DE PROYECTOS HIDROELECTRICOS Y SU COMPARACION CON EL PROCESO SEGUIDO EN EL PROYECTO PORCE II.

En el proceso de planeamiento de proyectos hidroeléctricos del sector eléctrico colombiano durante los últimos 10 años se ha definido cinco etapas básicas de análisis a saber :

- Etapa de reconocimiento
- Etapa de prefactibilidad
- Etapa de factibilidad
- Etapa de Diseño - planos de licitación
- Asesoría durante construcción - planos definitivos de construcción.

4.1. PROCESO CORRIENTE DE PLANEAMIENTO.

El proceso corriente y el alcance general de los estudios que se desarrollan en cada etapa son los siguientes :

- Estudios de Reconocimiento.

Los estudios de reconocimiento tienen por objeto el realizar el inventario de proyectos factibles de ser aprovechados para generar energía hidroeléctrica, en una región o en una cuenca y son realizados con base en información secundaria :

- Cartografía es en escala 1:25.000.
- Hidrologías regionales.
- Mapas regionales de geología.
- Pretenden establecer esquemas básicos de aprovechamiento y los parámetros energéticos básicos que reflejen el potencial del aprovechamiento.

- Los estimativos de costo tienen un porcentaje de imprevistos superiores al 25%.

- Estudios de prefactibilidad.

Los estudios de prefactibilidad pretenden profundizar los conocimientos y la información obtenida durante los estudios de reconocimiento, mediante investigaciones de campo, tales que permitan plantear las posibles alternativas de aprovechamiento en la región o cuenca analizada y seleccionar los más razonables y económicos. Para ello, se realizan los siguientes estudios :

- Estudios cartográficos que permitan disponer de planos en escala 1:10.000.
- Análisis de la red hidrometeorológica e instalación de estaciones adecuadas para futuras etapas de estudio.
- Estudios hidrológicos de caudales medios con una serie de longitud adecuada para simular la operación del proyecto, y análisis de caudales máximos para diversos períodos de recurrencia.
- Estudios geológicos semi detallados del área mediante reconocimientos de superficie, análisis fotogeológicos y geosísmicos de la cuenca.
- Análisis e investigación regional de materiales.
- Esquemas y prediseños de las obras principales y las obras de infraestructura del proyecto con un nivel de detalle compatible con la escala de la cartografía, 1:10.000.
- Estimativos de costos del proyecto, cuyo porcentaje de imprevistos es cercano al 20%.

Estudios de factibilidad : Consiste en un análisis completo del proyecto seleccionado en prefactibilidad incluyendo investigaciones de campo y comprende :

- Levantamiento topográfico en escala 1:2000 de las zonas donde se implantarán las estructuras principales del proyecto, y 1:10.000 del área del embalse.

- Investigaciones detalladas de geología en los sitios en donde se implantará las principales estructuras.
- Realización de perforaciones, apiques y trincheras que permitan establecer con un grado aceptable de precisión el marco geológico donde se van a implantar las obras principales del proyecto, las fallas y principales discontinuidades y el control de las características geomecánicas de las formaciones para caracterizar el macizo rocoso.
- Análisis hidrológicos que permitan establecer las potencias y las energías generables para diversos porcentajes de probabilidad de ocurrencia, determinar la creciente de diseño de las obras de desviación, seleccionar la altura de presa y los desembalses óptimos, así como analizar la operación del proyecto dentro del sistema Nacional Interconectado.
- Los estudios de fuentes de materiales deben permitir establecer las propiedades geomecánicas y los volúmenes disponibles de los diversos materiales identificados.
- Los equipos hidromecánicos y electromecánicos son predimensionados con base en catálogos generales y mediante consultas a fabricantes.
- El prediseño de las obras de generación y de infraestructura deberán permitir elaborar propuestas con porcentajes de imprevistos del 15%.

- Etapa de diseño - Planos de licitación :

El esquema de aprovechamiento seleccionado durante los estudios de factibilidad es refinado mediante detalladas investigaciones de campo, realizando los cálculos hidráulicos, estructurales, geotécnicos, mecánicos y eléctricos para lograr el dimensionamiento detallado de cada una de las estructuras y equipos que forman parte del proyecto.

- Se realizan levantamientos topográficos detallados y en las escalas apropiadas para las vías de acceso, y las zonas donde se implantarán las estructuras, y zonas de préstamo y botaderos.

- Se realizan perforaciones complementarias en los sitios de cimentación de las principales estructuras.
- Se realizan investigaciones geotécnicas detalladas mediante perforaciones, apiques, trincheras y galerías, en el sitio de presa, túneles y casa de máquinas, realizando ensayos completos de las muestras obtenidas.

Con estas investigaciones se pretende obtener las propiedades geotécnicas de los suelos y macizos rocosos tales que permitan diseñar estructuras, establecer los requerimientos de soporte, de refuerzo, la necesidad de construir galerías de drenaje, realizar inyecciones, excavaciones y reemplazo de materiales.

- Se realizan detalladas investigaciones y ensayos sobre los materiales de canteras para establecer sus propiedades geomecánicas.
- Los estudios de ingeniería los diseños arquitectónicos, las especificaciones de equipos etc., son suficientemente detallados tales que permitan preparar planos de licitación cuyas cantidades de obra, especificaciones y presupuestos permitan esperar que, los imprevistos en la obra debidos a ajustes del diseño, no sobrepasen entre el 8 y el 10% del presupuesto previsto.
- Se realizan análisis estructurales de las obras incluyendo análisis dinámicos para tener en cuenta las cargas generadas por sismos.

Se realizan consultas a fabricantes sobre características dimensiones y pesos de los equipos hidromecánicos y electromecánicos y eléctricos.

- Se prepararán especificaciones detalladas de materiales y equipos, así como de procedimientos y métodos constructivos, y se definen formas de medida y pago.

- Etapa de Asesoría durante construcción :

Durante la construcción de la obra, y en la medida que las excavaciones superficiales permitan establecer las condiciones reales de fundación de la presa y demás estructuras principales, o los túneles vayan avanzando y

atravesando las diversas formaciones, si se encuentran condiciones diferentes a las previstas en la etapa de diseño, los planos existentes serán ajustados a la realidad encontrada. Igualmente, una vez se reciben los planos definitivos de los fabricantes de los equipos, se ajustan los planos de obra civil y de montaje, para tener en cuenta las dimensiones reales, los pesos, métodos de anclaje etc. de los equipos.

Es durante esta etapa, cuando realmente se producen los planos detallados finales de diseño, y los planos "As built"

4.2. PROCESO DE PLANEAMIENTO DEL PROYECTO PORCE II.

Tal como se mencionó en el numeral 3.2, el planeamiento del Proyecto Porce II siguió el proceso corriente de los proyectos hidroeléctricos colombianos habiendo sido realizados sus estudios de reconocimiento, prefactibilidad, factibilidad y de diseño - planos de licitación.

Los consultores de las Empresas Públicas de Medellín para realizar los estudios en las diversas etapas de planeamiento fueron los siguientes :

- . Estudios de reconocimiento : Consultores Técnicos (1974)
- . Estudios de Prefactibilidad: ASCON LTDA. (1982-1983)
- . Estudios de Factibilidad : ASCON LTDA. (1985-1986)

- Diseño - planos de licitación : INTEGRAL S.A. (1988-Hoy)

Como ya se mencionó, el Contrato de diseño celebrado con Integral S.A. preveía 2 etapas básicas, la primera durante la cual se realizaron los diseños y los planos de licitación y la segunda la asesoría durante la construcción.

Sin embargo, como igualmente lo anotamos anteriormente, los aplazamientos en las decisiones del plan de expansión permitieron que las Empresa Públicas de Medellín y sus consultores complementarán las investigaciones de campo y el detalle de los planos hasta un grado casi de diseño

definitivo, por cual, esperan que el nivel de imprevistos no sobrepase valores entre el 5 y el 8%.

En consecuencia, el proceso de planeamiento se cumplió en forma satisfactoria y el detalle de los planos y especificaciones de obras civiles y equipos son más detallados con respecto a los que los que corrientemente se disponen al iniciar los procesos de licitación de este tipo de proyectos.

Adicionalmente, se está iniciando mediante un contrato adicional, investigaciones complementarias que aumentarán la confiabilidad de los diseños así :

- Terminación de los ensayos de mezclas con cementos especiales fabricados a nivel industrial.
- Montaje de un laboratorio especializado para realizar ensayos de dureza total en las rocas de los túneles y la caverna de máquinas.
- Ensayo en Modelo Hidráulico del vertedero.
- Galería exploratoria a lo largo del túnel de acceso y de la caverna de casa de máquinas.

Terminadas estas investigaciones antes de iniciar la construcción de las obras, se puede afirmar que muy probablemente el proyecto Porce será el proyecto en Colombia con mayor información disponible, y en el cual se ha alcanzado el mayor grado de detalle de los diseños y planos de licitación antes de iniciar su construcción.

5. RESUMEN DE LAS OPINIONES INDIVIDUALES DE LOS ESPECIALISTAS SOBRE EL PROYECTO.

Las opiniones individuales de los especialistas que participan en el análisis del proyecto se pueden resumir así:

5.1. OPINION DEL GEOLOGO RODRIGO ALVAREZ SOBRE LOS ESTUDIOS GEOLOGICOS.

El Geólogo Rodrigo Alvarez analiza la información suministrada por EPM y por Integral y realiza comentarios acerca de las evaluaciones realizadas sobre el riesgo sísmico, el marco geológico general, sobre la geología de detalle, sobre las condiciones del subsuelo en el sitio de presa, la casa de máquinas y las obras anexas, y finalmente sobre los diversos materiales de construcción. Las conclusiones son las siguientes :

- "
- El ambiente geológico donde va a ser implantado el proyecto Porce II, no ofrece mayores incertidumbres geológicas, dada la bondad de las formaciones geológicas presentes en el sitio y de las cuales ya se tienen antecedentes en obras hidroeléctricas similares proyectadas en estos tipos de roca como fue el caso de Guadalupe IV que interesó a ambas formaciones.
 - La geología de superficie representa en forma clara las condiciones geológicas del terreno. Los estudios geológicos han cubierto los diferentes aspectos que influyen en la implantación de un proyecto hidroeléctrico desde la evaluación sismotectónica, geología del embalse, geología a lo largo de las obras civiles, evaluación de materiales de construcción requeridos en las obras.
 - La evaluación de las condiciones del subsuelo mediante la ejecución de perforaciones corazonadas, ensayos de absorción de agua, cubren en forma adecuada las diferentes obras proyectadas, pues la campaña de perforación fue orientada de acuerdo con los resultados obtenidos en los levantamientos geológicos de superficie.

- La galería exploratoria que se ejecutará antes de la iniciación de la construcción del proyecto definirá con mayor precisión la bondad del bloque geológico destinado para el alojamiento de la central. En esta galería se ejecutarán ensayos in-situ geomecánicos con el fin de determinar la orientación y magnitud de los esfuerzos y el estudio de las principales discontinuidades geológicas.
- En este proyecto por primera vez un cliente exige el aseguramiento de calidad en los estudios de ingeniería, para lo cual se ha diseñado una organización que garantice dicho seguimiento.
- La madurez de los estudios de diseño realizados garantizan que el proyecto no presenta incertidumbres geológicas y su construcción se hará muy seguramente dentro de los plazos y presupuestos proyectados.
- En el manejo y planeación de los estudios se refleja la experiencia ganada en proyectos precedentes y se están llenando los vacíos de información que se presentaron en estos proyectos y que fueron fuente problemas y reclamaciones. "

5.2. OPINION DEL ING.HIDROLOGO GERMAN ACERO RIVEROS SOBRE LOS ESTUDIOS HIDROLOGICOS, DE POTENCIA Y ENERGIA.

El Ingeniero Germán Acero analizó los estudios realizados por EPM y por Integral sobre los caudales máximos, caudales medios, transporte de sedimentos y generación de energía. Los comentarios son los siguientes :

5.2.1 Hidrología Caudales máximos.

" De acuerdo con la información analizada y con base en los resultados obtenidos, es posible hacer las siguientes observaciones sobre los trabajos hidrológicos para la determinación de crecientes asociadas a la presa y obras anexas :

- Dada la configuración del sistema, incluyendo otro embalse, y la ausencia de series de máximos suficientemente extensas y confiables en la corriente

- del Río Porce, se considera apropiada la utilización de un modelo matemático del tipo del PRESCO.
- Se considera que el análisis realizado sobre las tormentas registradas y en general sobre información existente de precipitación, ha sido correcto y apropiado para esta etapa del proyecto.
 - A pesar de que la calibración del modelo matemático no ha dado ajustes de la mejor calidad, y que se considera posible mejorar en el conocimiento de algunos parámetros físicos de la cuenca, especialmente en los que tienen que ver con el suelo, se estima que los resultados obtenidos son suficientemente confiables para el diseño de las estructuras y que estos se encuentran del lado de la seguridad, si se tiene en cuenta, desde el punto de vista de los caudales pico esperados, el método de tránsito utilizado por el modelo.
 - Teniendo en cuenta la información y la herramienta disponibles para su procesamiento, no se cree que la realización de estudios o análisis adicionales puedan concluir en resultados mucho más confiables que los obtenidos empleando la metodología que se siguió en la presente etapa del proyecto."

5.2.2 Hidrología de Caudales medios.

- "
- En forma general, se puede considerar que la validación de los registros de los caudales medios diarios en la cuenca del Río Porce ha permitido la reconstrucción de las series correspondientes con una buena longitud.
 - Los métodos utilizados para la validación de las curvas de calibración de las estaciones, así como para la extensión de las series, se consideran correctos, teniendo en cuenta la información disponible para su utilización y posterior verificación.
 - Los parámetros estadísticos que se puedan obtener a nivel multianual de las series reconstruidas y extendidas con la metodología expuesta, pueden considerarse confiables.

- Se duda que la aplicación de otras metodologías para la determinación de los parámetros estadísticos de las series de caudales medios diarios a nivel multianual, puedan dar resultados de mejor calidad o más alta confiabilidad que los obtenidos en la presente etapa del proyecto."

5.2.3 Análisis de simulación de generación.

- "
- A pesar de las modificaciones observadas en lo referente a la energía firme del proyecto, la capacidad instalada de 392 Mw se ha mantenido invariable desde la etapa de Factibilidad, con la consecuente disminución del Factor de Planta de la central.
- El embalse útil evaluado inicialmente en 181 mm³ se redujo finalmente a sólo 83 mm³. Esta situación convierte el proyecto, de acuerdo con el caudal de diseño, en una central a filo de agua, pues en condiciones normales de operación tendría una capacidad de regulación de 8 días únicamente.
- La condición mencionada anteriormente, hace evidente que la simulación a nivel mensual tapa las variaciones hidrológicas, las cuales podrían llegar a ser importantes, sobretodo en la evaluación de la energía firme del proyecto. Sin embargo, esta situación que para el caso de una central aislada sería crítico, en el caso de Porce II operando dentro del sistema EPM puede no llegar a tener repercusiones importantes.
- Teniendo en cuenta la documentación revisada, se puede considerar que tanto la metodología empleada como la cobertura y el alcance de los trabajos efectuados en lo referente a Potencia y Energía son satisfactorios y cumplen las expectativas correspondientes a la etapa de Diseños para Licitación.
- Sería recomendable que durante el proceso de licitación y elaboración de los diseños de construcción, las EPM hiciera simulaciones del sistema con series de caudal a nivel diario con el fin de tener información un poco más segura o precisa con respecto a la energía firme que puede producir el proyecto."

5.2.4 Transporte de sedimentos.

- "
- Es importante resaltar que a pesar de que la eficiencia de atrapamiento del embalse se redujo del 94% prevista en el primer informe de avance, al 86% en el tercer informe, la vida útil del embalse se redujo de 48 a 23 años e inclusive a 20 si se tienen en cuenta algunas mediciones no muy confiables o representativas, efectuadas durante el año de 1992.
 - Lo anterior quiere decir que los resultados obtenidos en las primeras evaluaciones hechas durante la etapa de diseño conceptual se incrementaron de 3.72 millones de toneladas por año a 4.7 millones de toneladas (5.5 si se tienen en cuenta las mediciones de 1992) es decir, un aumento entre el 26 y el 48%.
 - De acuerdo con estas observaciones, resulta recomendable continuar con las mediciones y estudios de transporte de sedimentos, durante la etapa de los diseños y durante la construcción, con el fin de poder estimar en forma más confiables los volúmenes de sedimento que deben esperarse anualmente en la zona del embalse, su vida útil y las operaciones de evacuación de sedimentos a través de la descarga de fondo prevista."

5.3. OPINION DEL ING. AMBIENTALISTA JAIRO ROMERO.

El Ingeniero Romero enumera a los estudios ambientales y socioeconómico, disponibles y presenta algunas observaciones y comentarios sobre ellos, identifica los efectos ambientales del proyecto, destacando aquellos que tienen impacto negativo alto, y describe las medidas adoptadas por EPM para mitigar, corregir y controlar los impactos del proyecto. Las conclusiones obtenidas son las siguientes :

- "
- De acuerdo con el análisis realizado de los estudios de impacto ambiental, de la existencia de la aprobación de dichos estudios por parte del Inderena; de las medidas previstas para prevención, corrección y control de impactos ambientales; de la vida útil del embalse y de la existencia de los recursos técnicos para el manejo

ambiental de las obras por parte de EPM, se puede concluir que el proyecto Porce II cuenta con la adecuada consideración del aspecto Impacto Ambiental y Socioeconómico y es recomendable su ejecución.

- La ejecución de las actividades de mitigación de los impactos generados por la construcción y operación de las obras del proyecto Porce II, constituyen parte integral del mejoramiento de las condiciones ambientales de la zona y del éxito del proyecto; por lo tanto, se recomienda completamente cada una de las medidas indicadas en la tabla 1, por parte de las dependencias correspondientes responsables de EPM y señaladas en la Tabla II, tablas que se remiten anexas al informe."

5.4. OPINION DEL ING. GEOTECNISTA JORGE HACELAS.

El Ingeniero Jorge Hacas realiza un comentario sobre la presa de gravedad en concreto compactado con rodillo (CCR), considerando el estado del diseño, las excavaciones para fundar la presa, el tratamiento de la fundación, las especificaciones del CCR, el análisis térmico y los estudios sísmicos. Igualmente comenta acerca de los materiales de construcción, el diseño de las mezclas de CCR y de concreto convencional. Sus conclusiones son las siguientes :

- "
 - Las EPM y su consultor han llevado a cabo un trabajo de ingeniería de excelente calidad en el diseño del proyecto hidroeléctrico Porce II. Tanto el diseño de la presa y sus obras anexas, como aquel para la mezcla de CCR, están de acuerdo con el estado actual de los conocimientos. El alcance de las exploraciones del subsuelo es el adecuado para la magnitud del proyecto y asegura que la presa podrá construirse dentro del tiempo y costo estimados y en forma segura. Los materiales para construcción, cemento y agregados pétreos para el CCR, han sido estudiados ampliamente y están asegurados.
 - Los planos del proyecto se encuentran básicamente completos, los mismo que las especificaciones técnicas para su construcción. Los diseños, en mi concepto, están a un nivel más alto que el normalmente acostumbrado para licitación de este tipo de obras. Esto es, se encuentran a nivel de detalle para

construcción. Todos los elementos de diseño están documentados y se cuenta, además de las memorias de cálculo, con toda la historia de la evolución del mismo. "

5.5. OPINION DEL INGENIERO HIDRAULICO GERMAN SILVA F.

El Ingeniero Silva hace una descripción detallada de las características y componentes de las estructuras hidráulicas del proyecto, constituidas por el vertedero, la descarga de fondo, las obras de desviación, el túnel de presión la casa de máquinas y el túnel de fuga, resume los documentos suministrados por EPM-Integral y analizadas por él, y presenta un comentario general sobre el alcance de las investigaciones y nivel de detalle de los planos y diseños. En algunos casos presenta comentarios sobre algunas investigaciones que considera hubiera sido importante realizar para despejar incertidumbres sobre aspectos puntuales de algunas estructuras. Las conclusiones son las siguientes :

- Considero de especial significación el que el proyecto se inicie con todas sus vías de acceso terminadas y pavimentadas, lo cual contribuye muy positivamente al cumplimiento del programa de trabajo y facilita su ejecución.
- La estructura hidráulica más compleja del proyecto, es la presa de concreto compactada con rodillo, la cual es analizada en detalle por el Ing. Jorge Haelas; sin embargo considero como un gran avance los análisis detallados de mezclas que se vienen realizando con la cooperación de los fabricantes y posibles suministradores de cemento, así como los análisis de esfuerzos dinámicos y térmicos realizados para la presa los cuales permiten reducir de antemano incertidumbre sobre el elemento más complejo de todo el proyecto Porce II.
- El modelo hidráulico reducido del vertedero que se iniciará próximamente, permitirá despejar las dudas sobre flujos y ondas transversales en el canal de evacuación, operando a capacidad máxima, así como la trayectoria y puntos de impacto del chorro cuando se presenten vientos en el cañón. Igualmente el modelo permitirá estudiar la conveniencia de mantener o

- 3.6 modificar la ubicación actual del deflector, lo cual contribuirá a eliminar factores de incertidumbre en esta estructura del proyecto.
- La construcción de la galería de inspección a lo largo del túnel de acceso y de la casa de máquinas, y el montaje del laboratorio para realizar los ensayos sobre propiedades geomecánicas de las rocas permitirá conocer con precisión las características del bloque geológico, y en consecuencia definir la orientación definitiva de las cavernas.
 - Las previsiones sobre ventilación forzada, presurización de la caverna de máquinas, y aislamiento de la almenara aguas abajo permiten tener un razonable optimismo sobre el control de los efectos nocivos que pudiera ocasionar la emisión de gases provenientes de las aguas negras turbinadas.
 - Con estas investigaciones en curso, en las obras consideradas como complejas del proyecto se reducen los riesgos e incertidumbres. Cuando todas estas investigaciones estén terminadas a finales del año 1993, el mayor conocimiento del proyecto permitirá aumentar la certidumbre sobre los porcentajes de imprevistos establecidos en los presupuestos de la obra.
 - Las dimensiones, características, tipo de formación geológica, equipos, etc. del proyecto son corrientes, con experiencias precedentes exitosas, por lo cual se considera que existe una alta probabilidad de que su ejecución se realice sin contratiempos.
 - Se considera que el alcance de los estudios y diseños realizados para el proyecto Porce II son suficientes y adecuados para iniciar el proceso de licitación, acorde con la práctica corriente en este tipo de proyectos. Igualmente se considera como muy bueno el nivel de detalle de los diseños y planos de licitación, lo cual permite esperar que la ejecución del proyecto se realice dentro de los plazos estimados, y que los costos finales resulten, en precios constantes, comparables con los presupuestados, incluyendo los porcentajes de imprevistos esperados.

5.6. OPINION DEL ING. MECANICO ALBERTO HUERTAS.

Luego de analizar los aspectos relacionados el sistema mecanizado de recolección de basuras en las rejas coladeras, de la operación de las compuertas radiales del vertedero mediante control del nivel del embalse, del equipo de izaje de los tableros de cierre de los tubos de aspiración, del sistema de refrigeración, de los sistemas contra incendio, del sistema de aire acondicionado y ventilación, de la decisión de no considerar la operación del generador como condensador sincrónico y de incrementar en 25% su inercia, del tipo de cable de 230 KV seleccionado entre la caverna de máquinas y la salida del túnel de acceso y de analizar la potencia de la planta de emergencia, las conclusiones del Ingeniero Huertas son las siguientes :

"

- Teniendo en cuenta lo expresado en el informe, considero que el proyecto Hidroeléctrico Porce II de las Empresas Públicas de Medellín, posee el desarrollo, avance y alcance en los diseños electromecánicos que han permitido definir totalmente los equipos principales y se han elaborado los documentos técnicos de diseño, especificaciones y planos correspondientes que son adecuados para iniciar el proceso licitatorio de los mismos.

- Por lo tanto y de acuerdo con la práctica corriente para este tipo de proyectos, considero que el diseño electromecánico es apto para permitir la iniciación de la fase constructiva del proyecto Hidroeléctrico Porce II. "

6. OPINION FINAL CONJUNTA.

Luego de revisar la información entregada por la Comisión Nacional de Energía, las Empresas Públicas de Medellín y por Integral S.A., de las entrevistas realizadas y los análisis individuales de los especialistas en las áreas de Geología, Hidrología y Generación, Medio ambiente, Geología y presas, hidráulica y estructuras hidráulicas, y equipos Eléctricos y Mecánicos, la opinión conjunta sobre el alcance de los estudios y diseños realizados por las Empresas Públicas de Medellín y sus consultores para el proyecto Porce II es la siguiente :

- El Proyecto Porce II posee un grado de desarrollo y avance en sus diseños, planos de licitación y especificaciones de equipos, suficiente y adecuados para poder iniciar el proceso de licitación, acorde con la práctica corriente en este tipo de proyectos.
- El grado de detalle de los diseños, planos de licitación, especificaciones técnicas e investigaciones realizadas para el proyecto Porce II son mayores que los que corrientemente se dispone al iniciar los procesos de licitación. En especial, una vez concluidas las investigaciones que serán realizadas durante 1993, el proyecto Porce II probablemente será el que mayor grado de detalle y profundidad de las investigaciones haya alcanzado en Colombia antes de iniciar su construcción.

INFORME SCA 023
CONCEPTO-ESTUDIOS PROYECTO PORCE II

ANEXOS



**INFORME SC&A 023
CONCEPTO-ESTUDIOS PROYECTO PORCE II**

ANEXO N° 1

**INFORME DEL INGENIERO
GERMAN ACERO RIVEROS**

SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS
PROYECTO HIDROELECTRICO DE PORCE II
CONCEPTO GENERAL DE LOS TRABAJOS REALIZADOS
HIDROLOGIA - SEDIMENTOS - POTENCIA Y ENERGIA

I. INTRODUCCION.

En el presente informe, se incluye de acuerdo con lo solicitado por la COMISION NACIONAL DE ENERGIA y con lo propuesto por SILVA CARREÑO Y ASC., la descripción y el alcance de los trabajos de Hidrología de caudales Máximos y Medios, Transporte de Sedimentos y Potencia y Energía, realizados por las Empresas Públicas de Medellín e Integral S.A.. en desarrollo de la etapa de Diseños para Licitación del Proyecto Hidroeléctrico de PORCE II. Así mismo, en cada capítulo de informe, se encuentran las observaciones pertinentes con respecto al alcance o cobertura de los estudios, sobre la confiabilidad de éstos o a cerca de la necesidad de continuar con ellos durante un tiempo determinado.

En general, el informe se encuentra dividido en tres partes correspondientes a: Hidrología de Caudales Máximos, Potencia y Energía (incluida la hidrología de caudales medios) y Transporte de Sedimentos. En la parte final de cada una de ellas, se hacen los comentarios particulares, objeto del presente trabajo.

II. HIDROLOGIA DE CAUDALES MAXIMOS

Los estudios hidrológicos tendientes a la determinación de caudales máximos o excepcionales, con diferentes períodos de retorno y que fueron efectuados por Integral S.A. en desarrollo de la etapa de Diseños para Licitación del Proyecto PORCE II, pueden dividirse en dos partes completamente diferentes de acuerdo con los objetivos y con las metodologías utilizadas. La primera parte corresponde a la determinación de los caudales extremos que deben ser considerados para el diseño del vertedero, la determinación del borde libre de la presa y para las obras de desviación del río Porce durante la construcción de la presa. La segunda parte, consiste en la evaluación de los caudales a tener en cuenta, durante los diseños y construcción de los drenajes y puentes del tramo de vía que reemplazará parte de la existente y que quedará inundada una vez se llene el embalse del Proyecto PORCE II.

2.1. Caudales Máximos. Presa y Obras Anexas.

2.1.1. Estudios Realizados:

Para la realización de los diseños del vertedero de excesos, de la ataguía para la desviación del Río Porce durante la ejecución de las obras y para el cálculo del borde libre de la presa, se efectuaron los estudios hidrológicos, tendientes no sólo a la determinación de caudales pico, sino de hidrogramas para diferentes períodos de retorno que deben ser evacuados sin causar daños diferentes a los previstos, de acuerdo con lo excepcional del evento.

Como en cualquier estudio de este tipo, se procedió a hacer un análisis detallado de la

cuenca del Río Porce hasta la zona del Proyecto, así como de la información hidroclimatológica existente. Este primer análisis permitió establecer inmediatamente que las series de caudales máximos provenientes de las estaciones disponibles sobre la corriente del Río Porce (RMS-15, PP2, PP3) no tenían confiabilidad, dada su corta extensión y sus permanentes problemas de calibración. Por esta razón y teniendo en cuenta que el objetivo del estudio debía ser cumplido y que además se tiene un detallado conocimiento de la cuenca, la cual cuenta con una densa red de estaciones de precipitación (62 en total), con registros confiables y de muy buena extensión, se consideró más favorable la utilización de un modelo lluvia-escorrentía, el cual permitía adicionalmente considerar durante la simulación los efectos del amortiguamiento de crecientes en el embalse del Proyecto Río Grande II, ya que éste, controla aproximadamente un 37% del área de drenaje del río Porce hasta el sitio de presa. Es importante resaltar que este último aspecto unido al hecho de no disponer de series de máximos confiables y extensas, condicionan prácticamente la determinación de los caudales máximos y de los hidrogramas correspondientes a la simulación de los procesos hidrológicos de la cuenca con modelos lluvia-escorrentía.

Teniendo en cuenta que en lo relacionado con la confiabilidad de los resultados obtenidos a partir de cualquier modelo matemático es igualmente importante a la conceptualización del mismo, la calidad de los datos con que es alimentado, se hicieron estudios detallados sobre las características físicas y climatológicas de la cuenca y, muy especialmente, sobre las características de la precipitación en la hoya del Río Porce.

La comparación de los resultados obtenidos luego de las primeras simulaciones con las

observaciones disponibles, indicó la conveniencia de dividir la cuenca en función de los parámetros físicos e hidroclimatológicos en tres subcuencas o zonas, con el fin de poder representar en una mejor forma el proceso de precipitación en la cuenca. La Zona 1 se definió entre el nacimiento del Río Medellín y la estación de ferrocarril de El Hatillo. La Zona 2, desde El Hatillo hasta la confluencia del Río Grande y la Zona 3, desde dicha confluencia hasta el sitio de presa.

En estas condiciones, el estudio de las tormentas históricas se orientó básicamente a la determinación de las características dominantes en lo referente a la distribución espacial y temporal de la lluvia en la cuenca. En cuanto a la distribución espacial, se trazaron para las tormentas seleccionadas (asociadas a crecientes), isoyetas para duraciones de la lluvia de 6, 9, 12, 18 y 24 horas. Se pudo concluir mediante este análisis que en general no existen eventos aislados en la cuenca que produzcan crecientes importantes, sino que las mayores crecientes ocurren originadas por precipitaciones caídas en toda la hoya aunque con magnitudes variables. Con base en estos análisis, se determinó igualmente la curva promedio de reducción de la intensidad o de la precipitación en función del área y también, los porcentajes de lluvia precipitados en promedio sobre cada una de las 3 zonas establecidas.

Con respecto a la distribución temporal, el análisis de las tormentas históricas permitió establecer para cada una de las 3 zonas consideradas 2 curvas: la primera para tormentas con períodos de recurrencia de 2.33 años (media de las máximas) o inferiores y otra para frecuencias menores.

Un vez realizados los estudios anteriores, se procedió a determinar las precipitaciones

medias sobre toda la cuenca para diferentes períodos de retorno y la llamada Precipitación Máxima Probable (PMP) en la zona. En el primer caso, se utilizó la información existente en todas las estaciones, ajustándose los valores medios obtenidos a partir de polígonos a una distribución de Gumbel. Para la determinación de la PMP se emplearon diferentes metodologías (transposición, métodos estadísticos, observaciones), seleccionándose una lluvia puntual de 500 mm para una duración seleccionada igual al tiempo de concentración de la hoya (24 horas).

Con base en las precipitaciones obtenidas, en las curvas de distribución temporal, en los porcentajes de distribución y curvas de reducción de la lluvia en función del área de cada una de las subcuencas definidas, se calcularon los hietogramas o lluvias de diseño para cada período de retorno, con las cuales fue alimentado el modelo matemático. Antes de iniciarse el proceso de simulación o de paso de estas lluvias sintéticas, fue necesario calibrar el modelo puesto que los resultados del proceso, son función también de otros parámetros tales como la configuración de la red de drenaje, las características de permeabilidad del suelo, el estado de saturación en el momento de producirse la lluvia, la evaporación potencial, las pendientes topográficas, el funcionamiento del embalse de Río Grande II etc.. En forma general, cada zona definida en el modelo utilizado (PRESCO), se encuentra subdividida en cuencas más pequeñas. Sobre cada una de ellas, de acuerdo con los parámetros utilizados, la lluvia aplicada produce un hidrograma. Este hidrograma es sumado a otros hidrogramas o es transitado por el método de la onda cinemática a lo largo de los cauces, según la topología definida inicialmente. De esta forma, para la calibración del modelo, se calcularon hidrogramas a la salida de cada una

de las 3 zonas establecidas, generados a partir de lluvias observadas y asociadas a crecientes registradas en las estaciones de caudal existentes en el río Porce. Se modificaron entonces los parámetros necesarios, hasta conseguir la máxima similitud posible entre los hidrogramas observados en cada una de las tres zonas y los generados por el modelo. Una vez concluido el proceso de calibración del modelo, se simularon las lluvias generadas y se calcularon los hidrogramas de creciente para períodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50, 100, 500 y 1000 años y el correspondiente a la Creciente Máxima Probable (producido por la PMP).

Como no es el objeto de este informe hacer referencia a los valores o diagramas obtenidos, se sugiere a quien desee tener un conocimiento mas detallado de esta información, referirse al Informe Final de Hidrología .

2.1.2. Observaciones Generales:

De acuerdo con la información analizada y con base en los resultados obtenidos, es posible hacer las siguientes observaciones sobre los trabajos hidrológicos realizados para la determinación de crecientes asociadas a la presa y obras anexas:

- Dada la configuración del sistema (incluyendo otro embalse) y la ausencia de series de máximos suficientemente extensas y confiables en la corriente del río Porce, se considera apropiada la utilización de un modelo matemático del tipo del PRESCO.
- Se considera que el análisis realizado sobre las tormentas registradas y en general sobre la información existente de precipitación, ha sido correcto y apropiado para esta etapa del Proyecto.

- A pesar de que la calibración del modelo matemático no ha dado ajustes de la mejor calidad, y que se considera posible mejorar en el conocimiento de algunos parámetros físicos de la cuenca, especialmente en los que tienen que ver con el suelo, se estima que los resultados obtenidos son suficientemente confiables para el diseño de las estructuras y que estos se encuentran del lado de la seguridad, si se tiene en cuenta, desde el punto de vista de los caudales pico esperados, el método de tránsito utilizado por el modelo.
- Teniendo en cuenta la información y las herramientas disponibles para su procesamiento, no se cree que la realización de estudios o análisis adicionales puedan concluir en resultados mucho más **confiables** que los obtenidos empleando la metodología que se siguió en la presente etapa del Proyecto.

2.2 Caudales Máximos. Drenajes y Puentes del Nuevo Tramo de Vía.

2.2.1. Estudios Realizados.

Como ya se explicó anteriormente, la inundación de un tramo de vía localizado en la zona del embalse, implicó el diseño de una vía alterna, para lo cual fue necesario determinar los valores de caudales pico con períodos de retorno entre 5 y 100 años (dependiendo del tipo de corriente), para el diseño de las obras de drenaje o de los puentes que deben ser construidos de acuerdo con el nuevo trazado.

Este aspecto también fue cubierto en forma aislada durante los estudios hidrológicos del Proyecto. Para la determinación de los caudales pico, se utilizaron fundamentalmente 3

Las metodologías, todas ellas de corriente aplicación en esta tipo de trabajos.

Para cuencas con áreas de drenaje inferiores a 3 Km² se utilizó el método llamado racional, utilizando coeficientes de escorrentía acordes con la pendiente y el uso del suelo. Para cuencas con áreas de drenaje mayores, se utilizaron métodos regionales debidamente validados durante otros estudios o el método del Soil Conservation Service (SCS) muy utilizad y ampliamente conocido por parte de los consultores en cuanto a la definición de los parámetros que deben ser utilizados para la zona.

2.2.2. Observaciones sobre la Metodología y Los Estudios.

- Aunque no fue posible disponer de los resultados obtenidos en esta parte del trabajo, se considera que la metodología empleada es la corriente en este tipo de estudios.
- Teniendo en cuenta el conocimiento del consultor y de las EPM sobre la zona, se estima que los resultados obtenidos deben ser bastante confiables, ya que en general éstos obedecen a parámetros suficientemente analizados en desarrollo de diversos estudios.
- Se considera que con los estudios realizados y con la metodología empleada es posible obtener el alcance y la cobertura esperados en esta etapa del Proyecto.

III. ESTUDIOS DE POTENCIA Y ENERGIA

Los estudios de Potencia y Energía realizados para el Proyecto hidroeléctrico de PORCE II, fueron efectuados en su gran mayoría por las Empresas Públicas de Medellín (EPM) directamente.

El objetivo fundamental consistió en la determinación de la producción de energía del Proyecto dentro del sistema de las EPM y en la estimación de la capacidad instalada que debe tener la central. Teniendo en cuenta que la producción de energía obedece no sólo a los parámetros físicos de la instalación sino también a las disponibilidades hídricas, los trabajos, en las diferentes etapas, se dividieron básicamente en dos: Estudios hidrológicos de Caudales Medios (Validación y Complementación de la Información Hidrológica en la presente etapa) y Simulación de Generación Dentro del Sistema (Actualización de los Estudios de Generación en la presente etapa), para los esquemas propuestos.

3.1. Estudios Hidrológicos de Caudales Medios.

3.1.1. Estudios Realizados:

Considerando que las EPM disponen de toda la información hidrométrica de la zona y de los modelos necesarios para su manejo, los estudios adelantados en esta etapa del Proyecto obedecieron a la necesidad de obtener series de caudales medios diarios de suficiente extensión y confiabilidad en la corriente del río Porce. Para este efecto, se respetó la conceptualización de las etapas anteriores, en que los aportes de la cuenca hasta los Proyectos PORCE II y PORCE III se determinaron a partir de la agregación de los

siguientes aportes parciales:

- Río Grande Hasta la Estación RG-8
- Guadalupe hasta la Estación G-8
- Desviaciones del Río Nechí
- Desviaciones del Río Nare
- Río Porce hasta la Estación Porce I
- Entre Porce I y RMS-15 (Sin los aportes de RG-8)
- Entre RMS-15 y Porce II
- Entre Porce II y Porce III (Sin los aportes de G-8)

Teniendo en cuenta la información disponible, las estaciones básicas utilizadas en el estudio de validación y Complementación de la Información Hidrológica fueron las siguientes:

- RG-8 Sobre la corriente del Río Grande
- RMS-15, PP-2 y PP-3 Sobre la corriente del Río Porce
- G-8 Sobre la corriente del Río Guadalupe.

Durante el desarrollo de los estudios, la metodología seguida fue los siguiente:

- Se inició un proceso de validación de las estaciones RMS-15, PP-2 y PP-3
- Al determinar los rendimientos de las cuencas propias (según las áreas de aportación definidas anteriormente), se encontraron valores de caudal negativos. Esta situación llevó inmediatamente a la conclusión de que las curvas de calibración de las estaciones no eran confiables.
- Se revisaron entonces detallada e independientemente las curvas de calibración por

parte de las EPM, Integral S.A. y la Universidad Nacional. La estación sobre la que más se trabajó, dada la cantidad de información disponible, fue la RMS-15.

- Se elaboraron y confrontaron nuevas curvas de calibración para la estación RMS-15, validadas para diferentes períodos, obteniéndose resultados de alta confiabilidad.
- Se reconstruyó totalmente la serie de caudales de la estación RMS-15, disponiéndose entonces de una serie confiable entre 1972 y 1988.
- Se procedió a extender la serie de la estación PP-2 (localizada en el sitio del Proyecto Porce II) a nivel diario por medio de un modelo de correlación bivariado. De esta forma se obtuvo una serie de buena confiabilidad en el sitio de Proyecto con una extensión de 17 años, la cual permitía utilizar sin esperar problemas sus parámetros estadísticos multianuales.
- Las series obtenidas en las dos estaciones se revisaron día a día sin encontrarse en esta ocasión ninguna inconsistencia.
- Con las series así reconstruidas se hizo la desagregación correspondiente y se calcularon los valores de producción de la cuenca propia entre la estación RMS-15 y PP-2. De esta forma, se pudo determinar que este valor había sido sobreestimado durante los estudios de Prefactibilidad y Factibilidad.

En general, después de la validación de la información hidrológica para el Proyecto Porce II, el caudal medio multianual del río en el sitio de presa ha evolucionado de la siguiente manera:

- Prefactibilidad: 135 m³/s
- Factibilidad : 139 m³/s

- Diseños : 115.0 m³/s

3.1.2. Observaciones Sobre los Estudios Realizados:

- En forma general, se puede considerar que la validación de los registros de los caudales medios diarios en la cuenca del Río Porce ha permitido la reconstrucción de las series correspondientes con una buena longitud.
- Los métodos utilizados para la validación de las curvas de calibración de las estaciones, así como para las extensión de las series, se consideran correctos, teniendo en cuenta la información disponible para su utilización y posterior verificación.
- Los parámetros estadísticos que se puedan obtener a nivel multianual de las series reconstruidas y extendidas con la metodología expuesta, pueden considerarse confiables.
- Se duda que la aplicación de otras metodologías para la determinación de la parámetros estadísticos de las series de caudales medios diarios a nivel multianual, puedan dar resultados de mejor calidad o más alta confiabilidad que los obtenidos en la presente etapa del Proyecto.

3.2. Simulación Energética del Proyecto PORCE II.

3.2.1. Análisis de Generación Efectuados.

La simulación de producción de energía del Proyecto PORCE II ha sido un proceso dinámico obedeciendo a las continuas modificaciones originadas por las revisiones de la

información hidrológica o, por las variaciones mismas del esquema general del Proyecto en aspectos tales como la capacidad de almacenamiento del embalse o la cota de entrega del sistema.

La evaluación de producción de energía del Proyecto efectuada en la última etapa, ha sido realizada directamente por las EPM mediante la utilización de un modelo matemático adoptado durante los estudios de Factibilidad del Proyecto PORCE III y que corresponde a una versión mejorada del modelo desarrollado en el Estudio del Sector de Energía Eléctrica (ESEE) para el planeamiento operativo de mediano plazo del sistema colombiano.

"El modelo opera a nivel mensual, simulando un número cualquiera de plantas con o sin embalse, con cabeza variable y con cualquier configuración topológica resultante de los Proyectos incluidos. Los aportes a los embalses o a las plantas son generados mediante un modelo multivariado Markoviano de Primer Orden. El programa se ha estructurado para generar los caudales de manera que con un sólo conjunto de parámetros del modelo de generación, puedan generarse los caudales necesarios o requeridos para cualquier configuración bajo estudio."

"La información adicional a la hidrología empleada por el modelo consiste en la potencia instalada en cada uno de los Proyectos considerados, el volumen útil de los embalses, el factor de conversión de caudal en potencia, para las plantas de cabeza constante o, para aquellas de cabeza variable, una tabla de dicho factor en función del volumen embalsado y la topología de los Proyectos definida por los destinos de los caudales turbinados y vertidos en cada uno de ellos" [1]

"El modelo, en general, opera una configuración dada de Proyectos bajo estudio, teniendo como meta la obtención de un cierto objetivo de generación asignado a dicha configuración". Modificaciones realizadas por las EPM permiten al modelo producir las curvas de duración de los caudales turbinados y de los volúmenes de embalse de fin de mes en cada planta y de los volúmenes de embalse del sistema respectivamente, para los meses simulados.

Para el Proyecto PORCE II en particular no se hicieron simulaciones como Proyecto individual o aislado sino que se consideró la operación de tres sistemas así:

- Sistema 1: Centrales de Tasajera, Mocarongo, Troneras, Guadalupe III y Guadalupe IV.
- Sistema 2: Igual al Sistema 1 más el Proyecto PORCE II.
- Sistema 3: Igual al sistema 2 más el Proyecto PORCE III.

Para efectos de la simulación, se generaron series sintéticas de caudal de 100 años de longitud mediante el modelo Markoviano multivariado, mencionado anteriormente, en el cual se utilizaron los parámetros estadísticos de las series históricas a nivel mensual.

Con base en los 3 Sistemas establecidos y en las series sintéticas de caudal, se operó el modelo, determinándose las energías firmes y medias de los Proyectos PORCE, por diferenciación entre las energías producidas por el Sistema 2 con el Sistema 1 (Proyecto PORCE II) y del Sistema 3 con el Sistema (Proyecto PORCE III).

En el cuadro siguiente, se presenta un resumen de la evolución que ha presentado el Proyecto en lo referente a generación de energías media y firme, así como en lo que tiene que ver con el factor de planta.

ETAPA	ENERGIA FIRME	ENERGIA MEDIA	F. DE PLANTA
	(Gwh/año)	(Gwh/año)	
Factibilidad	1542	2209	0.61
Rev. Hidrológica	1452	1954	0.57
Rev Diseño Porce II	1398	1896	0.55
Emb Porce II 140 MM ³	1350	2060	0.55
Descarga en Cota 680	1446	2060	0.53
Embalse 83 MM ³ Desc.			
Cota 680 (Actual)	1422	2044	0.59 ?

Es importante anotar que a pesar de que con la revisión hidrológica los caudales medios disminuyeron considerablemente en el sitio de presa del Proyecto PORCE II, la producción de energía no varió considerablemente con respecto a las condiciones actuales, debido a la modificación en la cota de entrega del Proyecto PORCE II.

3.2.2. Observaciones Sobre la Simulación de Generación.

- A pesar de las modificaciones observadas en lo referente a la energía firme del Proyecto, la capacidad instalada de 392 Mw se ha mantenido invariable desde la etapa de Factibilidad, con la consecuente disminución del Factor de Planta de la central.
- El embalse útil evaluado inicialmente en 181 MM³ se redujo finalmente a sólo 83 MM³. Esta situación convierte el Proyecto, de acuerdo con el caudal de diseño, en una central a filo de agua prácticamente, pues en condiciones normales de operación

IV, TA tendría una capacidad de regulación de 8 días únicamente.

- La condición mencionada anteriormente, hace evidente que la simulación a nivel mensual tapa las variaciones hidrológicas, las cuales podrían llegar a ser importantes, sobretodo en la evaluación de la energía firme del Proyecto. Sin embargo, esta situación que para el caso de una central aislada sería crítico, en el caso de PORCE II operando dentro del sistema EPM puede no llegar a tener repercusiones importantes.
- En beneficio de lo anterior, los ingenieros de Integral sostuvieron haber realizado simulaciones de la central con las series de caudales históricas a nivel diario, obteniendo prácticamente los mismos valores de energía media y firme, calculados a partir de la simulación realizada por las EPM a nivel mensual.
- Teniendo en cuenta la documentación revisada, se puede considerar que tanto la metodología empleada como la cobertura y el alcance de los trabajos efectuados en lo referente a Potencia y Energía son satisfactorios y cumplen las expectativas correspondientes a la etapa de Diseños para Licitación.
- Sería recomendable que durante el proceso de licitación y elaboración de los diseños de construcción, las EPM hiciera simulaciones del sistema con series de caudal a nivel diario con el fin de tener una información un poco más segura o precisa con respecto a la energía firme que puede producir el Proyecto.

IV. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Los estudios correspondientes al estimativo de sedimentos que serán transportados al embalse del Proyecto de PORCE II durante su vida útil, se han venido realizando por métodos hidráulicos, con base en las mediciones de caudal sólido, efectuadas sobre la corriente del Río Porce desde la etapa de Factibilidad. Por esta razón y teniendo en cuenta que a medida que se dispone de más registros los estimativos pueden ser re-evaluados, se han producido hasta el momento tres informes de avance entre Marzo de 1991 y Septiembre de 1992. Considerando que inicialmente no se disponía de un solo dato de sedimentos, los cálculos realizados en primera instancia han sido confrontados con evaluaciones del potencial de producción y arrastre para Porce II, efectuadas a partir de las mediciones hechas directamente en los embalses de otros proyectos en funcionamiento en la misma zona.

4.1 Evaluación del Transporte por Métodos Hidráulicos.

En general se puede decir que la información de transporte de sedimentos disponible en la cuenca del Río Porce es muy escasa, iniciándose las mediciones correspondientes en el año de 1985, durante el desarrollo de los estudios de Factibilidad. Puesto que la confiabilidad de los resultados que se puedan obtener, depende en gran parte de la cantidad de información disponible, las campañas de medición se han seguido efectuando y se propone continuar con la toma de registros hasta cuando se inicie la construcción de la central.

Con base en los aforos sólidos realizados (de material en suspensión) y aplicando el

método remodificado de Einstein (1983) para la corrección de los aforos, se evaluó el transporte total en suspensión, incluyendo el de la zona no muestreada por los equipos de medición. Posteriormente se procedió a la separación de los caudales de finos y de material del lecho en suspensión y se establecieron correlaciones de transporte en función del caudal líquido.

La carga total anual del material en suspensión se evaluó integrando los valores obtenidos al aplicar las ecuaciones de las correlaciones a las curvas de duración de caudales líquidos. Este proceso se aplicó en las estaciones RMS-15 y PP-2, ubicada esta última en el sitio de presa.

Teniendo en cuenta la ausencia total de información referente al transporte de fondo y su dificultad para obtenerla, dicho transporte fue evaluado mediante la aplicación de ecuaciones que permiten calcular la capacidad hidráulica de la corriente para transportar sedimentos. Es importante anotar que la estimación obtenida a partir de estos métodos, posee un alto componente de incertidumbre y sus resultados deben ser considerados con alguna reserva y en lo posible del lado de la seguridad.

En el caso particular del Proyecto PORCE II se utilizaron las ecuaciones de Einstein (1950), desarrollada para lechos arenosos y la de Meyer Peter - Muller (1948) desarrollada para lechos de arena y gravas.

Para el cálculo del transporte de fondo total anual, se elaboraron regresiones entre el transporte y el caudal líquido, con base en los valores obtenidos al aplicar las ecuaciones anteriormente citadas.

Finalmente, el transporte de sedimentos total anual esperado en el embalse del Proyecto,

se calculó sumando el transporte de finos, de material del lecho en suspensión y el de fondo estimado a partir de la fórmula de Meyer Peter.

Como ya se explicó anteriormente, debido a la continuidad que han tenido las campañas de medición de sedimentos, hasta el momento se han elaborado tres informes correspondientes a la evaluación total del transporte hasta la zona del embalse. En todos los casos se ha seguido la misma metodología descrita anteriormente pero con base en los nuevos registros se han actualizado las ecuaciones y curvas de correlación re-evaluándose entonces las cargas de sedimento esperadas y la vida útil del embalse. En todos los casos se ha considerado un porcentaje o eficiencia de atrapamiento del embalse la cual ha sido calculada por diferentes métodos.

4.2. Cálculo del Transporte por Mediciones en otros Embalses.

Con el fin de preparar una evaluación alternativa de la cantidad de sedimento transportado por el río Porce, se actualizó la información sobre volúmenes de sedimentos depositados en varios embalses del departamento de Antioquia.

A partir de la información recopilada y considerando las condiciones hidrológicas, geomorfológicas, de vegetación e intervención del hombre y suponiendo la tasa de erosión en la cuenca igual a la tasa de producción de sedimentos se estimó para el sitio del proyecto un transporte total anual de 4.4 millones de toneladas. Si se considera que de éste total, 680.000 toneladas quedarán retenidas en el embalse de Río Grande entonces al embalse de PORCE II, llegarán en promedio 3.72 millones de toneladas anuales.

4.3 Observaciones sobre los Estudios y Resultados Obtenidos.

- Es importante resaltar que a pesar de que la eficiencia de atrapamiento del embalse se redujo del 94% en el primer informe de avance al 86% en el tercer informe, la vida útil del embalse se redujo de 48 a 23 años e inclusive a 20 si se tienen en cuenta algunas mediciones (no muy confiables o representativas), efectuadas durante el año de 1992.
- Lo anterior quiere decir que los resultados obtenidos en las primeras evaluaciones hechas durante la etapa de diseño conceptual se incrementaron de 3.72 millones de toneladas por año a 4.7 millones de toneladas (5.5 si se tienen en cuenta las mediciones de 1992) es decir, un aumento entre el 26 y el 48%.
- De acuerdo con estas observaciones, resulta recomendable continuar con las mediciones y estudios de transporte de sedimentos durante la etapa de los diseños de construcción, con el fin de poder estimar en forma más confiable los volúmenes de sedimento que deben esperarse anualmente en la zona del embalse así como su vida útil y el manejo que se les dará en caso de que se determine que pueden afectar el proyecto.

**INFORME SC&A 023
CONCEPTO-ESTUDIOS PROYECTO PORCE II**

ANEXO Nº 2

**INFORME DEL GEOLOGO
RODRIGO ALVAREZ**



INDICE

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. ANALISIS DE LA INFORMACION GEOLOGICA, EOMORFOLOGICA Y GEOTECNICA DEL PROYECTO PORCE II	2
2.1 EVALUACION RIESGO SISMICO	2
2.2 MARCO GEOLOGICO	3
2.3 GEOLOGIA DE DETALLE	4
2.4 OBSERVACIONES Y COMENTARIOS A LA GEOLOGIA DE DETALLE	5
III. EVALUACION CONDICIONES DEL SUBSUELO	6
3.1 SITIO DE PRESA Y OBRAS ANEXAS	6
3.2 ZONA DE CASA DE MAQUINAS Y OBRAS ANEXAS	7
IV. MATERIALES DE CONSTRUCCION	9
4.1 LLENO DE REFUERZO DE LA PRESA	9
4.2 MATERIALES PETREOS	10
V. DISEÑOS DE MEZCLAS Y ENSAYOS PREVIOS	11
VI. CONCLUSIONES	12

FOTOGRAFIAS

DISEÑO DEL PROYECTO HIDROELECTRICO PORCE II
CONCEPTO SOBRE LA MADUREZ DE LOS ESTUDIOS GEOLOGICOS
GEOMORFOLOGICOS Y GEOTECNICOS

I. INTRODUCCION

En este informe se dá cuenta de los estudios realizados para los diseños de los diferentes elementos que componen el aprovechamiento hidroeléctrico del río Porce, Proyecto Porce II, y la profundidad de los mismos. Este informe hace parte del general producido por la comisión de especialistas que se desplazó a Medellín los días 11, 12, 13 y 14 del presente mes por cuenta de la firma SILVA CARREÑO Y ASOCIADOS, firma a la cual, La Comisión Nacional de Energía le encomendó la asesoría para emitir una opinión sobre la madurez de los estudios de diseño del proyecto antes mencionado, realizados por la firma Consultora INTEGRAL S.A., para las Empresas Públicas de Medellín. EPM.

En este aparte se analizan los estudios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos realizados y se elabora un concepto general sobre la bondad de los mismos. Para lograr dicho objetivo, además de la información suministrada por los diseñadores y del intercambio de ideas sostenidas durante el trabajo de oficina los días 11, 12 y 13, el día 14 se realizó una visita al sitio donde se va a implantar el proyecto, en compañía de los Geólogos Iván Osorno y Juan Carlos Gutierrez, representantes de INTEGRAL y EPM respectivamente.

La visita de campo, no obstante la brevedad de la misma, fue de gran utilidad, pues se formó una idea clara de las condiciones fisico-geológicas presentes en el área del proyecto, labor que se facilitó gracias a la presencia de vías de acceso que permitieron alcanzar puntos estratégicos de observación en ambas laderas del río Porce y a lo concentrado de la disposición de las diferentes obras proyectadas.

II. ANALISIS DE LA INFORMACION GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA Y GEOTECNICA DEL PROYETO PORCE II

En el desarrollo de los diseños del proyecto Porce II se han realizado los levantamientos geológicos de superficie a diferentes escalas y la evaluación de las condiciones del subsuelo mediante la ejecución de perforaciones corazonadas, ejecución de apiques y trincheras en la exploración superficial de suelos residuales y ensayos de permeabilidad "in situ" tanto en los suelos como en las rocas.

Con el resultado de dichas investigaciones ha sido posible evaluar el ambiente geológico donde se va a implantar el proyecto, definir las fuentes de materiales de construcción necesarias para la confección de la presa y terraplenes y caracterizar el macizo rocoso por donde van las obras subterráneas y disponer de alineamiento de éstas en la forma más favorable, de acuerdo con las condiciones geológicas encontradas.

A continuación se hace un breve recuento de las investigaciones y algunos comentarios y observaciones sobre los mismos:

2.1 EVALUACION RIESGO SISMICO

Estos estudios tienen el objeto de determinar los parámetros sísmicos para el diseño de las obras. Para ello se hizo una evaluación de la sismología y de la geología sísmica, o sea la determinación de fallas que presentan evidencias de actividad reciente y sus principales características, tales como tipo de falla, longitud y buzamiento. Se estudió un área de 200 km de radio haciendo centro en el sitio de presa.

En la evaluación de riesgo sísmico se utilizó la información contenida en los trabajos realizados por WOODWARD CLYDE e INTEGRAL S.A. y publicados en Junio de 1986 La Sismicidad y Geología Sísmica del Noroccidente de Colombia. Esta información se actualizó con el estudio de algunas fallas que afectan el Batolito Antioqueño no evaluadas en dicho estudio y la sismicidad histórica.

Como resultado de los estudios se definieron como principales fuentes de sismicidad la zona de Benioff y la Falla Espíritu Santo

La zona de Benioff está asociada al fenómeno de subducción de la placa de Nazca bajo la placa de Suramérica.

La actividad sísmica indica que ésta zona se inclina hacia el oriente pues los hipocentros son más profundos en este sentido y más superficiales hacia la Costa Pacífica. En el sector del proyecto esta zona se encuentra a una profundidad entre 60 y 130 Km.

La falla del espíritu Santo presenta evidencias claras de actividad reciente y se localiza a unos 40 Km del sitio del proyecto; ésta por su proximidad al proyecto en distancia horizontal es la fuente de mayor riesgo para el proyecto.

COMENTARIO

El evento sísmico del 18 de Octubre se originó en la falla de la Cordillera Occidental conocida como Murri-Mutata, de una magnitud de 7.2 y es de interés analizar los registros de este evento para confrontar con el sismo utilizado en el diseño.

En general las ondas sísmicas en sentido W-E sufren un mayor amortiguamiento pues los rasgos tectónicos en nuestro país predominan en sentido N-S.

2.2 MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La geología de la región donde será implantado el proyecto se presenta a escala 1:50.000 donde se muestra la distribución geográfica de las principales formaciones geológicas y fallas principales que se encuentran en la zona del proyecto. Igualmente se indican los principales depósitos de material de cubierta no consolidados del Cuaternario, depósitos de ladera y aluviales. La base geológica fue tomada de la información disponible y publicada complementada por la firma INTEGRAL S.A. durante las investigaciones hechas por INTERAL S.A.

OBSERVACIONES Y COMENTARIOS AL MARCO GEOLOGICO REGIONAL

La falla que alinea la quebrada Guaduas, según el plano geológico, muere contra la falla El Machete. Si se mira el curso del río Porce, aguas abajo del punto de intersección de estas dos fallas, se aprecia que el rumbo general del río es similar al rumbo de la falla que alinea la Quebrada Guaduas, lo cual induce

a plantear la continuidad de esta falla, y un control sobre el río Porce que afectaría en sitio de Presa. Esta incertidumbre fue descartada mediante la ejecución de dos perforaciones inclinadas localizadas a cada lado del cauce del río y que cruzan el cauce del río, cuyos resultados no muestran evidencias de presencia de falla alguna.

De los depósitos de material de cubierta no consolidados el que se presenta inmediatamente aguas arriba del estribo derecho, coluvión de la quebrada El Mango, mereció atención especial dada su magnitud y proximidad con respecto a las obras proyectadas.

Según evidencias de campo este deslizamiento antiguamente represó el río Porce, el cual posteriormente se abrió paso a través de dicho depósito varió su curso y causó una gran erosión aguas abajo del sitio de presa proyectado, entallando las rocas metamórficas que conforman su lecho actual.

Este depósito se pudo observar en la visita de campo y además de su expresión topográfica característica que resalta con respecto a la de las rocas circundantes, es notable el color pardo rojizo de éste depósito donde dominan los suelos. Este tipo de depósito es correlacionable con los que se presentan en laderas del valle de Aburrá aguas abajo de Medellín, entre Copacabana y Girardota y se trata de depósitos antiguos del Cuaternario que se han integrado a las formaciones subyacentes. En general se trata de depósitos estables, tal como lo corrobora los resultados de las investigaciones realizadas en el coluvión de la Quebrada El Mango.

2.3 GEOLOGIA DE DETALLE

En los sitios de las obras se hicieron levantamientos geológicos detallados a escalas 1:5000 y 1:2000 que cubren los diferentes elementos que componen el comportamiento hidroeléctrico del río Porce, Proyecto Porce II.

En ésta escala se representan en mayor detalle los depósitos de material de cubierta no consolidados, las fallas menores y discontinuidades principales de las formaciones rocosas. También ha sido posible detectar pequeñas ventanas del ígneo dentro de las rocas metamórficas que predominan en la ladera izquierda y parcialmente constituyen la ladera derecha del río Porce. Igualmente se pueden estudiar en detalle los productos de meteorización de las formaciones geológicas presentes en los sitios de obra y los afloramientos roca con sus diferentes grados de alteración.

Estos planos geológicos detallados se utilizaron para la programación de las perforaciones corazonadas y ejecución de apiques y trincheras.

2.4 OBSERVACIONES Y COMENTARIOS DE LA GEOLOGIA DE DETALLE

De acuerdo con la inspección breve de campo, realizada el 14 de Noviembre, la geología representada en los planos refleja en forma bastante fiel las condiciones físico geológicas presentes en el sitio del proyecto. Se verificó la presencia de las formaciones geológicas a saber: las rocas metamórficas y la gran masa ígnea intrusiva denominada Batolito Antioqueño. La ladera izquierda del río Porce está constituida por las rocas metamórficas y parcialmente constituye la ladera derecha del río. Las expresiones topográficas de éstas dos formaciones contrastan en forma notable, la formación metamórfica, configuran salientes topográficas agudas y una topografía abrupta que contrasta con la topografía más suave, de cerros romos y poco elevados del ígneo. Esto facilita el levantamiento geológico del sitio de presa una sección transversal al cauce del río, refleja ésta situación (ver fotos Nos.).

III. EVALUACION CONDICIONES DEL SUBSUELO

Para evaluar las condiciones del subsuelo en la etapa de diseño se ejecutó un total de 162 perforaciones corazonadas en diámetro N, para un total de 8.674 metros lineales distribuidas así:

- Sitio de presa y obras anexas 92 perforaciones para un total de 3.683 metros.
- Zona de casa de máquinas y obras anexas, incluyendo el túnel de conducción de 4262 m de longitud, se ejecutaron 72 perforaciones para un total de 5044 metros.
- En la factibilidad se ejecutaron 29 perforaciones para un total de 1.310 m.

En los diferentes materiales atravesados con estas perforaciones se hicieron ensayos de absorción de agua, ensayo Lugeon, en roca y en suelos ensayos tipo Lefranc. En el sitio de presa los ensayos de agua fueron más frecuentes con el fin de definir la necesidad de inyecciones. En las obras subterráneas fueron menos frecuentes y localizados en las zonas de fallas de particular interés.

3.1 SITIO DE PRESA Y OBRAS ANEXAS

El programa de perforación en estos sitios se llevó hasta penetrar el nivel de roca sana. En los suelos que recubre la roca se realizaron ensayos de penetración estandar y se tomaron muestras inalteradas con muestreador de pared delgada en forma intecarlada y con espaciamento cada 1.5 m. La mayoría de ellas fueron verticales excepto 6 que se proyectaron inclinadas para precisar zonas de fracturación o fallamientos, hubo dos localizadas en ambas orillas del río con el fin de cruzar el cauce del río y descartar la presencia de una falla a lo largo del cauce.

los ensayos de absorción de agua se ejecutaron en 30 perforaciones, los resultados indican tomas de aguas bajas, en la zona de contacto entre las rocas metamórficas y el ígneo hay mayores valores y se espera que ocurra toma de inyección de cemento. Teniendo en cuenta lo anterior y como medida de seguridad se ha decidido la ejecución de una cortina de impermeabilización.

COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

El plan de perforación obedece a los resultados obtenidos en los levantamientos de superficie que es lo lógico y razonable y no obedece a un plan sistemático que frecuentemente se hace en la evaluación de sitio de presa.

Se hicieron perforaciones inclinadas que aunque presentan dificultad en su ejecución dan información tanto en sentido vertical como horizontal.

Los resultados con las perforaciones verticales a veces presentan problemas de interpretación de los niveles de roca fresca, pues a veces coinciden con discontinuidades subverticales por donde se canaliza y avanzan notablemente los procesos de alteración.

El estribo derecho está afectado por fallas subparalelas entre sí y al curso del río Porce. Esta disposición en principio no es favorable pues a lo largo de la zona de fracturación, dependiendo de su grado de permeabilidad, se pueden establecer flujos de agua alimentados por el embalse. Sin embargo esta eventualidad es poco probable, pues estas fallas fueron evaluadas con perforaciones y se han ejecutado ensayos tipo Lugeón con resultados de muy baja permeabilidad. Además la mayoría de ellas se presentan en el ígneo, el cual presenta una gruesa capa de suelos residuales que recubren la roca fresca, de muy baja permeabilidad, y por otra parte en este sector iría el lleno de refuerzo de tierra compactada que empalma con el cuerpo principal de la presa de concreto compactado con rodillo (CCR).

3.2 ZONA DE CASA DE MAQUINAS Y OBRAS ANEXAS

Estas obras están proyectadas por la ladera derecha del río y las excavaciones se harían en ambos tipos de roca presentes en la zona. Estas perforaciones fueron más profundas y de las 72 ejecutadas 25 fueron inclinadas. Las inclinadas tienen por objeto estudiar las características de la zona afectada por las fallas que se presentan en esa ladera. En tres de ellas se hicieron ensayos tipo Lugeon con el fin de evaluar infiltraciones potenciales durante la excavación que dificulten el avance normal, los resultados fueron favorables. (Ver fotos Nos.)

COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

El cubrimiento con la exploración del subsuelo a lo largo del corredor de las obras es equilibrado y se han evaluado y definido

las discontinuidades más importantes. La bondad del macizo rocoso donde quedarán las obras es claro según lo indican los resultados de las perforaciones y la experiencia en la construcción de los túneles de conducción del proyecto Guadalupe IV que quedaron emplazados en estas dos formaciones.

Durante la visita de campo se observó unas cinco cajas de muestras de la perforación PTC-213, (ver fotos Nos.) Se observó rocas originadas por metamorfismo dinámico, esquistos y cataclasitas. Es bueno llamar la atención que el término milonita utilizados por los geotecnistas como sinónimo de roca débil, blanda y carácter arcillosa, en ésta zona de falla no tiene mucha validez, pues lo que atravesó principalmente fueron rocas, con un alto porcentaje de recuperación y bajas permeabilidades.

La galería exploratoria que seguirá el alineamiento del túnel de acceso, al final tendrá ramales a diferentes niveles para explorar el bloque de casa de máquinas indudablemente que arrojará una información directa acerca de las condiciones geológicas y despejará cualquier incertidumbre para la acometida de la casa de máquinas. La excavación de esta galería será aprovechada para ejecutar ensayos geomecánicos "in-situ" para determinar el estudio de esfuerzos.

El día de la visita estaba en construcción la vía de acceso (ver foto No.) y según el programa de ejecución esta se determinará a mediados del próximo año.

La ejecución anticipada de esta galería trae muchos beneficios, pues asegura que los ensayos de mecánicas de rocas y los registros de las discontinuidades se podrán correr con la calma y con el cuidado necesario, sin presiones del contratista principal que interfiere los resultados cuando esta galería se hace en la etapa de construcción.

IV. MATERIALES DE CONSTRUCCION

De acuerdo con las necesidades del proyecto se requieren materiales finogranulares para la construcción de los terraplenes de refuerzo del orden de 1'300.000 m³ constituido por tierra, roca, filtros y transiciones.

El cuerpo principal de la roca de concreto compactado con rodillo es del orden de 1'280.000 m³.

✓ Los materiales aluviales se utilizarán en la construcción de las vías

4.1 LLENO DE REFUERZO DE LA PRESA

Materiales finogranulares, llenos de tierra, requeridos para la construcción se seleccionaron dos zonas de préstamo de tres sitios estudiados contiguos a la zona de presa. Los materiales provienen de la capa meteorizada del ígneo. La zona de préstamo más próxima al sitio de utilización tiene un volumen de limos arenosos suficientes para atender las necesidades del lleno de tierra. Sin embargo se evaluó una segunda zona de préstamo para el caso eventual de que se presenten dificultades en la explotación de los materiales cercanos al sitio de utilización.

El material para los filtros se obtendrá de la trituración, clasificación y lavado de la roca de la cantera, La Chácara.

COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

Es pertinente llamar la atención que con los criterios adoptados de evaluación de las posibles fuentes de materiales a utilizar en las obras se eviten sorpresas desagradables en la explotación de los materiales, por la presencia de grandes bolas de roca que interfieren el manejo industrial de los mismos. En general se está corrigiendo una de las deficiencias que normalmente se presentan en los estudios de proyectos hidroeléctricos.

4.2 MATERIALES PETREOS

El material para la construcción del cuerpo central de la presa se extraerá de la Cantera La Chácara, localizada en la ladera derecha aguas abajo del sitio de presa: en el sitio de la cantera afloran las rocas metamórficas y ocasionalmente ventanas o digitaciones de la roca ígnea.

De esta cantera se obtendrán los materiales pétreos requeridos para la presa y además el material para los filtros del lleno de refuerzo ya mencionados. La zona de la cantera está localizada en la parte inferior de la ladera derecha del río Porce y se caracteriza por la presencia de una zona escarpada, expresión topográfica de las rocas metamórficas. Se han ejecutado 19 perforaciones corazonadas y trincheras, además de un levantamiento geológico detallado.

Se han estudiado en detalle las discontinuidades presentes en la roca, la cobertura de suelos y coluviones, los afloramientos para hacer análisis de estabilidad de los talúdes de cortes para la explotación de esta cantera.

La bondad del material se ha evaluado con los ensayos tradicionales, además de estudios petrográficos. Las cuarcitas en la naturaleza son de por sí materiales de muy buena calidad para estos fines, lo cual se ha corroborado con los ensayos.

COMENTARIOS Y OBSERVACIONES

El área de la cantera La Chácara es lo bastante escarpada e indudablemente va a tener dificultades su explotación dado lo empinado del terreno. Se espera que el gran volumen de material que se vá a extraer provenga de la roca metamórfica, las ventanas de roca ígnea son mínimas y muy localizadas según conocimiento actual. Sin embargo pueden destaparse extensiones mayores de la roca ígnea, infrayacente, la cual puede presentar alteraciones que desmejoran la calidad de la roca, por ejemplo zona de alteración hidrotermal.

Para la explotación se ha diseñado un plan de adecuación y explotación minera de esta cantera que exige un aprovechamiento cuidadoso y un control de las voladuras, que pueden ser fuente de problemas para alcanzar los altos volúmenes de extracción. En resumen el contratista debe tener muy buena experiencia en explotaciones mineras de esta magnitud, para garantizar un suministro oportuno de los materiales.

V. DISEÑOS DE MEZCLAS Y ENSAYOS PREVIOS

Teniendo en cuenta el tipo de presa novedoso en nuestro medio, los consultores y E.P.M. no han escatimado esfuerzos para atender todos los requisitos e investigaciones que demandan la construcción de este tipo de presa.

Las E.P.M. montarán un laboratorio dotado con equipos especializados para llevar a cabo los ensayos que son necesarios ejecutar para el diseño final de las mezclas, que en caso contrario se tendrían que hacer fuera del país. Los ensayos de la primera etapa han sido tan satisfactorios que los asesores extranjeros han planteado la posibilidad de que se hagan en nuestro medio ensayos requeridos en proyectos en el Africa, donde ellos prestan asesoría

Empresas Públicas de Medellín también está importando equipos para definir las propiedades ingenieriles de la roca para definir las características abrasivas y su incidencia en el desgaste de las herramientas de perforación.

VI. CONCLUSIONES

- 1- El ambiente geológico donde vá a ser implantado el proyecto Porce II, no ofrece mayores incertidumbres geológicas, dada la bondad de las formaciones geológicas presentes en el sitio y de las cuales ya se tienen antecedentes en obras hidroeléctricas similares proyectadas en estos tipos de roca como fue el caso de Guadalupe IV que interesó a ambas formaciones.
2. La geología de superficie representa en forma clara las condiciones geológicas del terreno. Los estudios geológicos han cubierto los diferentes aspectos que influyen en la implantación de un proyecto hidroeléctrico desde la evaluación sismotectónica, geología del embalse, geología a lo largo de las obras civiles, evaluación de materiales de construcción requeridos en las obras.
3. Evaluación de las condiciones del subsuelo mediante la ejecución de perforaciones corazonadas, ensayos de absorción de agua, que cubren en forma adecuada las diferentes obras proyectadas, pues la campaña de perforación fue orientada de acuerdo con los resultados obtenidos en los levantamientos geológicos de superficie.
4. La galería exploratoria que se ejecutará antes de la iniciación de la construcción del proyecto definirá con mayor precisión la bondad del bloque geológico destinado para el alojamiento de la central. En esta galería se ejecutarán ensayos in-situ geomecánicos con el fin de determinar la orientación y magnitud de los esfuerzos y el estudio de las principales discontinuidades geológicas.
5. En este proyecto por primera vez el cliente exige el aseguramiento de calidad en los estudios de ingeniería, para lo cual se ha diseñado una organización que garantice dicho seguimiento.
6. La madurez de los estudios de diseño realizados garantizan que el proyecto no presenta mayores incertidumbres geológicas y su construcción se hará muy seguramente dentro de los plazos y presupuestos proyectados.

7. En el manejo y planeación de los estudios se refleja la experiencia ganada en proyectos precedentes y se están llenando los vacíos de información que se presentaron en estos proyectos y que fueron fuente problemas, reclamaciones.

FOTOGRAFIAS



FOTO No. 1

SITIO DE PRESA PROYECTO PORCE II

Vista tomada desde la carretera-mirando aguas abajo. Ladera izquierda topografía abrupta; cerros agudos de rocas metamórficas. El estribo derecho topografía más suave por presencia del batolito en la parte alta. Sección transversal del valle - asimétrica

...
 ...
 ...

ESTRIBO DE LA ZONA DE PRESAS PORCE II

...

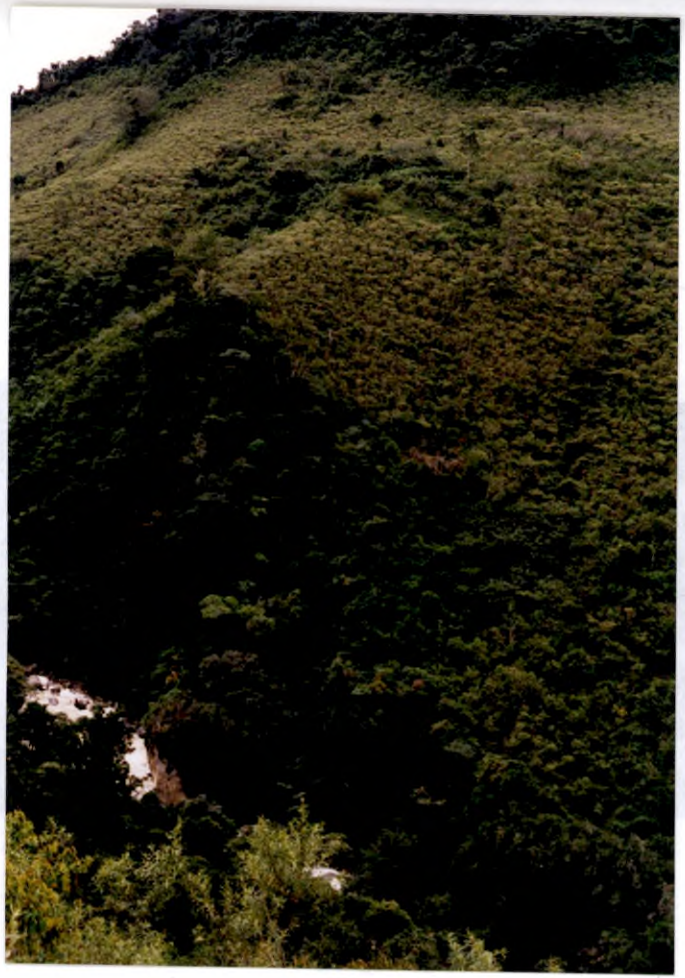


FOTO No. 2
 FOTO SITIO DE PRESA PORCE II

Tomada desde el estribo derecho al estribo izquierdo zona boscosa sitio del portal del túnel de desviación; parte inferior, al fondo del río hay un gran bloque des_ prendiendo de cuarcitas.



FOTO No. 3

PORCE II - ESTRIBO IZQUIERDO

Foto tomada desde el estribo derecho. Quebrada Piedras. Expresión geomorfológica de las cornubianas, diaclasas y probable plano de foliación (estratificación).



FOTO No. 4

PORCE II -

Foto tomada desde es estribo derecho aguas arriba del sitio de presa; al fondo carretera a Medellín y rocas del batolito. Vaso del embalse.



FOTO No. 5

PORCE II

Aguas abajo de la descarga; puente de Acacias. Confluencia río Guadalupe



FOTO No. 6

Ladera derecha del río Porce - Filo salida del túnel de acceso y descarga entre Quebradas La Chavita a la izquierda y la falla La Ye extremo derecho de la foto. Carretera de acceso a la galería exploratoria, parte inferior. Se indica el eje del túnel de descarga, línea interrumpida y el túnel de acceso línea continua.

Referencia a la zona de falla Melguizo...
 Descripción de la zona de falla Melguizo...
 Descripción de la zona de falla Melguizo...
 Descripción de la zona de falla Melguizo...
 Descripción de la zona de falla Melguizo...

2010 12 27



FOTO No. 7

Caja de 134.10 a \pm 139 m, muestra de la PTC-213.
 Descripción según registro, corresponde a:
 Zona de falla cornubiana filonitizada, -
 fracturada con intercalación de milonita.
 Hay recuperación de 100 %. Realmente se
 trata de esquistos, a veces grafitosos y cata-
 clásicas; originadas por metamorfismo cine-
 mático o cataclástico.

FOTO No. 8

Perforación PTC-213 inclinada. Corta la zona de falla Melguizo.
 El tramo de roca de la caja superior entre 112.10 y 117.75 m, se
 describe como cornubiana no fracturada, en parte cuarzosa, lisos
 y estrias; zona de falla a \pm 115 m y cornubiana fracturada no
 meteorizada .



matricado o certificado.
El presente informe es el resultado de un estudio
de campo y laboratorio realizado en el
año 1977, en el cual se ha determinado
el contenido de humedad y la actividad
de agua en el suelo de la zona de
estudio, para lo cual se han
realizado mediciones en el terreno
y en el laboratorio, con el fin de
determinar el grado de saturación
del suelo y la actividad de agua
en el mismo, para lo cual se han
realizado mediciones en el terreno
y en el laboratorio, con el fin de
determinar el grado de saturación
del suelo y la actividad de agua
en el mismo.

Ing. Jorge Hacelas Mariño

M.C.

Calle 10 de Mayo N° 1001, Montevideo, Uruguay

Informe N° 023
Concepto-Estudios Proyecto PORCE II

INFORME SC&A 023
CONCEPTO-ESTUDIOS PROYECTO PORCE II

ANEXO N° 3

INFORME DEL INGENIERO
JORGE HACELAS MARIÑO



JORGE E. HACELAS
INGENIERO CONSULTOR
APARTADO AEREO No 093359
BOGOTA 8 - COLOMBIA

Teléfono: 613-0186
271-7190

Fax: 613-5487

Diciembre 4 - 5, 1992

Señores
SILVA CARRENO ASOCIADOS
Ingenieros Consultores
Atn.: Ingeniero Germán Silva Fajardo
Avenida 13 # 86 - 76
La Ciudad

Ref.: PROYECTO HIDROELECTRICO PORCE II
CONCEPTO DE LOS ESTUDIOS Y DISENOS

Estimado Ingeniero Silva:

De acuerdo con su comunicación del 9 de noviembre, 1992, he adelantado un análisis conceptual geotécnico y de ingeniería de presas, sobre los estudios y diseños del proyecto de la referencia, en los aspectos relacionados con la presa de gravedad en concreto compactado con rodillo (CCR), materiales para su construcción y diseño de las mezclas de CCR. Para tal fin se sostuvo una reunión en Medellín los días 11, 12, y 13 de noviembre, 1992 con los ingenieros encargados del proyecto por parte de las Empresas Públicas de Medellín (EPM), entidad propietaria del proyecto, e ingenieros de INTEGRAL, quienes son los diseñadores del mismo. He revisado una vastísima información técnica y planos de los diferentes aspectos del diseño, que fué suministrada por EPM e INTEGRAL. A continuación me permito presentar mi concepto sobre el alcance y cubrimiento de los estudios existentes para la construcción del Proyecto Porce II, bajo los siguientes apartes:

1. CONCLUSION GENERAL
2. PRESA DE GRAVEDAD EN CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO
3. MATERIALES PARA CONSTRUCCION
4. DISENO DE LAS MEZCLAS DE CCR Y DE CONCRETO CONVENCIONAL

1.0 CONCLUSION GENERAL

Las EPM y su consultor han llevado a cabo un trabajo de ingeniería de excelente calidad en el diseño del proyecto

hidroeléctrico Porce II. Tanto el diseño de la presa y sus obras anexas, como aquel para la mezcla de CCR, están de acuerdo con el estado actual de los conocimientos. El alcance de las exploraciones del subsuelo es el adecuado para la magnitud del proyecto y asegura que la presa podrá construirse dentro del tiempo y costo estimados y en forma segura. Los materiales para construcción, cemento y agregados pétreos para el CCR, han sido estudiados ampliamente y están asegurados.

Los planos del proyecto se encuentran básicamente completos, lo mismo que las especificaciones técnicas para su construcción. Los diseños, en mi concepto, están a un nivel más alto que el normalmente acostumbrado para licitación de este tipo de obras. Esto es, se encuentran a nivel de detalle para construcción. Todos los elementos de diseño están documentados y se cuanta, además de las memorias de cálculo, con toda la historia de la evolución del mismo.

2.0 PRESA DE GRAVEDAD EN CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)

2.1 Introducción

La presa del proyecto hidroeléctrico Porce II es del tipo de gravedad en concreto compactado con rodillo (CCR), con altura de 118 m a la cota 928, con un vertedero de compuertas radiales incorporado a la misma y con desacarga directamente al cauce del río. La sección no vertedora tiene un talud en el paramento de aguas arriba de 0.1H:1.0V y de 0.35:1.0V en el paramento de aguas abajo entre las cotas 928 y 905.5 y 0.75H:1.0V por debajo de la cota 950. El ancho de la cresta es de 9 m. La sección en concreto compactado se extiende desde el estribo izquierdo hasta unos 205 m del estribo derecho y de allí, hasta el mismo estribo, se completa el cierre del valle mediante un lleno de tierra y enrocado.

La geometría de la sección de la presa es correcta y se encuentra dentro de los parámetros normales para este tipo de estructura. El talud de 0.1H:1.0V adoptado para el paramento de aguas arriba mejora substancialmente la distribución de esfuerzos en la base, y asegura una compactación adecuada del material impermeable del lleno de refuerzo con el que remata la presa en la margen derecha.

El CCR es una técnica nueva de construcción mediante la cual los vibradores de inmersión tradicionales se substituyen por rodillos vibratorios para la consolidación del concreto. El material resultante difiere del concreto convencional en que éste es más denso y posee un menor contenido de agua. Para la construcción de presas de gravedad la mezcla se extiende en capas delgadas sobre toda la superficie de la presa permitiendo así alcanzar altos rendimientos. Esta técnica combina los

procedimientos rápidos y económicos que se utilizan en la construcción de presas de tierra o enrocado con las excelentes propiedades mecánicas del concreto, como son su resistencia y durabilidad. De esta combinación se deriva una gran economía en costo y tiempo de construcción en comparación con otros tipos de presas.

2.2 Estado del diseño de la presa de CCR a noviembre, 1992

El diseño de la presa está básicamente terminado, junto con sus planos para licitación y especificaciones técnicas para el CCR. Los planos son de excelente calidad y muestran claramente todos los detalles de construcción. En especial, por su vital importancia en el comportamiento de la presa, se debe mencionar que el diseño del remate de la presa de CCR con el lleno del estribo derecho es correcto y la granulometría de los filtros de protección del material impermeable se ha establecido con los criterios más modernos para tal fin.

En cuanto al precio unitario del CCR, éste se ha establecido mediante sistemas estadísticos y por el método directo, evaluando cada una de las componentes del precio. A la fecha éste se ha fijado en el rango entre US \$ 38 y US \$ 40 por metro cúbico, el cual encuentro razonable.

Referente a la altura de la ataguía y la sección del túnel de desviación, éstas fueron correctamente diseñadas para una creciente con menor periodo de recurrencia que el normalmente utilizado para presas de tierra/enrocado, aceptándose así un riesgo mayor dado el corto periodo de construcción y la resistencia del concreto a la erosión en caso de ser sobrepasado por las aguas de una creciente mayor. Este aspecto incide favorablemente en los costos del Proyecto. El periodo de recurrencia utilizado fue de 1:5 años (400 m³/s). Sin embargo, la descarga de fondo por el estribo izquierdo, a la cota 830, también servirá de desfogue en caso de crecientes mayores.

La sección superior de la ataguía, entre las cotas 821.90 y 830 fue diseñada igual a la sección superior de la presa entre cotas 905.50 y 928. Esto se ha hecho correctamente así con el fin de utilizar la ataguía como uno de los dos llenos de prueba de CCR especificados.

En cuanto a la ubicación de la descarga de fondo por el estribo izquierdo, en lugar de a través de la presa, tiene la gran ventaja de no interferir con la colocación del CCR. No se utilizó el túnel de desviación para descarga de fondo por requerir de un by-pass para la instalación de válvulas que lo hacía más costoso.

El trabajo por adelantar en el futuro y hasta el inicio de

la construcción de la ataguía, consistirá en la optimización del diseño de las mezclas de CCR en el laboratorio que para tal fin ha diseñado e instalado las EPM en Guadalupe IV. El diseño de laboratorio será confirmado o mejorado de acuerdo con los resultados de dos llenos de prueba que están especificados.

2.3 Excavación para la fundación de la presa

Las Empresas Públicas de Medellín e INTEGRAL han desarrollado una excelente exploración geológica del sitio de presa. Esto asegura, hasta cierto punto, que la presa podrá construirse en forma segura, económica y dentro de los plazos contractuales, aún si se encuentran defectos locales en la fundación. Las formaciones de roca presentes en el sitio de la presa, cornubianas y cuarzodioritas, se conocen y están claramente delineadas. Este conocimiento ha permitido definir en forma muy precisa el alcance de las excavaciones para la presa de gravedad y para el lleno de la margen derecha.

Dada la altura y las características de la presa de Porce II, su fundación para la sección en CCR se ha proyectado sobre roca sana, sólida y con muy pocas grietas, o sea la roca tipo III del perfil de meteorización. La fundación para el enrocado de aguas arriba y abajo de la presa en CCR será roca fracturada, o sea la roca tipo IIB del perfil de meteorización que sobreyace la roca tipo III. Para cimentar el lleno de refuerzo de la margen derecha se removerá el suelo superficial y materiales sueltos hasta encontrar los suelos residuales del batolito Antioqueño. El volumen total de las excavaciones se ha estimado en 1.5 millones de metros cúbicos.

La excavación se ha proyectado con taludes de 1.0H:1.0V, con bermas cada 30 m. El material de excavación está compuesto por suelos residuales y roca meteorizada o fracturada de la formación de cornubianas. Los taludes son aceptables dada su característica temporal durante la construcción. En el extremo derecho de la presa en CCR se excavarán suelos residuales y roca meteorizada de la formación de cuarzodioritas. La altura del corte será de 43 m con taludes entre 2.0H:1.0V y 2.5H:1.0V.

Todos estos criterios de excavación son correctos y acordes con el estado del arte para la fundación de una presa de gravedad en CCR y para la fundación de la sección en tierra y enrocado.

2.4 Tratamiento de la fundación y drenaje

Dado que la presa de gravedad en CCR se cimentará sobre roca sana, sólida y con muy pocas grietas, el diseñador ha anticipado que el tratamiento con inyecciones de lechada de cemento a presión será nominal. En los planos se ha incluido una cortina de inyecciones en una sola fila, de 50 m de

profundidad y con alcance hasta inyecciones terciarias. Las perforaciones para la cortina se harán desde la galería inferior de aguas arriba incorporada al cuerpo de la presa. Estos criterios son aceptables. En las especificaciones técnicas para las inyecciones se ha establecido correctamente que las mezclas deberán ser estables, con una relación agua:cemento igual o menor que 2:1 por volumen y con la adición de bentonita en proporción del 1 % del peso del cemento.

Dentro del cuerpo de la presa de CCR se ha diseñado un sistema de galerías de 3 m de ancho, 3 m de alto y techo semicircular con diámetro de la misma dimensión. Las galerías están dispuestas en tres elevaciones diferentes y a 9 m del paramento de aguas arriba. Adicionalmente se han dispuesto dos galerías transversales próximas a la fundación de la presa y a 30 m y 60 m del eje de la galería más próxima al paramento de aguas arriba. Desde esta última galería se ejecutara la cortina principal de drenaje, que incluye perforaciones de 46 m de profundidad, inclinadas 15 grados hacia aguas abajo, y espaciadas cada 6 m. Para el drenaje secundario se harán perforaciones de 25 m y 30 m de profundidad, verticales, desde las otras dos galerías próximas a la fundación. También se realizarán perforaciones de drenaje cada 6 m que conectarán la galería superior con la intermedia y a esta con la inferior de aguas arriba. Las perforaciones de drenaje se harán con taladro rotatorio de diámetro NX. El diseño y alcance del sistema de drenaje es correcto.

2.5 Lenos complementarios

En la margen derecha del sitio de presa se ha diseñado un pedraplén de cierre que confina la presa de gravedad. Su núcleo impermeable estará constituido por materiales limosos, provenientes de la colina de la margen derecha, y con una permeabilidad de $1 \times 10E-07$ cm/s. Este pedraplén tiene taludes aceptables de 1.4H:1.0V, tanto aguas arriba como aguas abajo, y se une mediante una transición con el lleno de refuerzo del estribo derecho.

Se revisaron detalladamente los planos de esta estructura, que es de gran importancia dentro del esquema de la presa para cerrar el valle. El diseño, en mi concepto, es correcto y está muy bien detallado a diferentes elevaciones. El sistema de filtros de protección para el material fino del pedraplén, que es vital para el correcto funcionamiento del núcleo impermeable, se diseñó siguiendo los criterios actualizados de Sherard, que difieren de la metodología clásica comúnmente utilizada para estos diseños.

2.6 Instrumentación de la presa

A fin de conocer el comportamiento de la presa durante su

construcción y luego durante la operación del embalse, y para verificar las hipótesis y parámetros de diseño, se ha proyectado un vasto sistema de diversos instrumentos de medida, cuya distribución está contenida en tres planos muy bien detallados.

Los instrumentos están distribuidos en doce secciones: ocho en la presa de gravedad, tres en el lleno de refuerzo y una en la ataguía. Los tipos de instrumentos que se prevé instalar en estas secciones son: péndulos (directo e invertido), deformímetros, piezómetros neumáticos y eléctricos, extensómetros, crucetas tipo Bureau of Reclamation para medir los asentamientos del terraplén, puntos de control superficial, medidores de infiltraciones y acelerógrafos.

Considero que el diseño de la instrumentación está muy bien concebido y detallado.

2.7 Especificaciones técnicas para el CCR

Las especificaciones para la presa de gravedad en CCR están muy bien elaboradas y cubren, como se presentará más adelante, todos los aspectos que aseguran un correcto proceso constructivo y el control del mismo. Dado el alcance que se ha dado a las especificaciones, es difícil prever la ocurrencia de problemas contractuales o técnicos durante la construcción.

Las especificaciones para el CCR de la presa y ataguía cubren los siguientes aspectos principales:

a) Requisitos de la información que deberán presentar los proponentes en lo referente al transporte y fuente del material cementante; detalles de la explotación de la cantera y de la planta para el procesamiento de los agregados pétreos; detalles de las plantas de dosificación y mezcla para el CCR y para el enfriamiento de los agregados y del CCR en sí mismo; información sobre el equipo de transporte, extendido, compactación y curado del CCR y del concreto convencional; detalles de los métodos y programa de trabajo propuestos, etc.

b) Programa detallado de construcción teniendo en cuenta que el CCR se debe colocar en la forma más continua posible.

c) Requisitos sobre la forma y distribución granulométrica de los agregados.

d) Proporciones de las mezclas para el concreto de nivelación, el CCR y el concreto de la cara de aguas arriba para cada uno de los materiales cementantes previstos.

e) Requisitos para las secciones de prueba del CCR mediante las cuales se afinará el diseño de su mezcla y se

perfeccionarán los métodos constructivos.

f) Método para el control de la consistencia del CCR y de su densidad.

g) Requisitos de la máxima temperatura de colocación del CCR.

h) Compactación del CCR contra los estribos.

i) Juntas de contracción y tratamiento de juntas.

j) Compactación y curado del CCR.

k) Concreto convencional para la construcción de los bordillos que conforman los paramentos de la presa y las paredes de las galerías.

Dado que la planta para la dosificación y mezcla del CCR no es convencional, considero prudente que en las especificaciones técnicas se establezca que ésta debe ser de tipo forzado (pug mill), de características iguales o similares a las plantas producidas por la compañía ARAN.

2.8 Análisis térmico y de agrietamiento de la presa

El comportamiento térmico de la presa a corto y largo plazo ha sido evaluado. La predicción de las temperaturas y su cambio con el tiempo en diferentes ubicaciones dentro del cuerpo de la presa se efectuó mediante un programa de computador que asume un flujo bidimensional del calor. En el análisis se han tenido en cuenta todos los parámetros atmosféricos en el sitio de presa que afectan la generación de calor en el CCR, así como también la temperatura de colocación, las propiedades elásticas y térmicas del CCR y el programa detallado de construcción. Las propiedades del CCR fueron tomadas de los resultados de los ensayos ejecutados en la primera etapa del diseño de las mezclas, por lo que el análisis térmico y de potencial de agrietamiento deberá ser actualizado una vez se conozcan los resultados de la segunda etapa de diseño de mezclas, la cual se encuentra en ejecución.

El propósito fundamental del análisis del potencial de agrietamiento por reducción de volumen y restricciones al enfriarse el CCR, es el de determinar el espaciamiento máximo permisible de las juntas transversales. El estudio demostró conclusivamente que la presa se agrieta si no se incluyen juntas en su diseño y que al incluir éstas con un espaciamiento de 45 m el comportamiento general de la presa mejora, con esfuerzos de tensión más bajos y mejor distribuidos.

Debe mencionarse que uno de los aspectos más importantes y

que más tiempo toma en la ejecución del análisis térmico es la metodología utilizada para programar el proyecto en la forma más realista posible. Sin embargo, este esfuerzo ofrece subproductos de la mayor importancia para el proyecto, como son el contar con un programa de construcción preciso; la evaluación de los requerimientos para las plantas de mezcla y de procesamiento de los agregados y las necesidades de almacenamiento de los mismos; la evaluación de la lluvia y de cómo la presa deberá construirse para tener a ésta en cuenta y, por último, proporciona una base sana para el correcto estimativo del precio del CCR.

2.9 Estudios sísmicos

INTEGRAL ha efectuado un extenso estudio de las condiciones sismotectónicas y de los datos históricos de la actividad sísmica de la zona del proyecto, dentro de un círculo con un radio de 200 km y centro en el sitio de la presa. El objetivo de este estudio fue el de determinar parámetros sísmicos para el diseño de las obras.

En el estudio se consideraron cinco temblores, tre periodos de retorno (500, 1000 y 10000 años), cuatro módulos de elasticidad para la roca de la fundación, tres factores de amortiguamiento para el CCR de la presa, tres relaciones de Poisson para el concreto, cuatro factores de amortiguamiento para la roca de la fundación, tres módulos de elasticidad para el CCR y tres coeficientes de absorción para el fondo del embalse. Se utilizó el programa de computador titulado Earthquake Analysis of Gravity Dams, que es el más avanzado para la evaluación de la respuesta de una presa de gravedad ante sollicitaciones dinámicas.

Los resultados del análisis demuestran que para todas las suposiciones y para un sismo de magnitud igual a 7.5, generado en la zona de subducción del Pacífico, los esfuerzos de compresión originados en la presa permanecen por debajo de 5 MPa. Los esfuerzos de tensión, que son los críticos para la presa de gravedad, son del orden de 2 MPa y siempre se presentan en áreas muy limitadas, como son: el talón de aguas arriba; superficialmente y a media altura en el paramento de aguas arriba; y adyacentes al cambio de pendiente en el paramento de aguas abajo. Estos resultados son normales y de acuerdo con el comportamiento observado en otras presas bajo sollicitaciones dinámicas. En conclusión, el estudio ha demostrado que, aún para las condiciones más severas, la seguridad de la presa no estará en peligro.

3.0 MATERIALES PARA CONSTRUCCION

3.1 Material cementante

El material cementante necesario para la construcción de la presa de CCR estará constituido por la combinación de cemento Portland puro (clinker más yeso) con una o dos de las siguientes adiciones: puzolana natural, escoria de alto horno, ceniza volante o caliza finamente molida. Para propósitos de la licitación y construcción de la presa de CCR, INTEGRAL ha estudiado e incluido en las especificaciones técnicas cuatro fabricantes, a saber: Cementos Boyacá, Cementos Diamante del Tolima, Cementos Paz del Rio y Cementos Rioclaro. El Contratista deberá presentar en su propuesta el nombre de la fábrica seleccionada para la producción del material cementante y de por lo menos un segundo productor alternativo para que, en caso de una parálisis en la factoría seleccionada inicialmente, se pueda contar con la producción de la segunda planta para garantizar el suministro oportuno del material cementante a la obra en las cantidades requeridas.

El contenido de material cementante por metro cúbico de concreto compactado ya está definido en forma particular para cada uno de los productores mencionados, de acuerdo con las exigencias del diseño y con los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. Las proporciones del cementante varían entre 212 kg/m³ para cementos Paz del Rio, 215 kg/m³ para cementos Boyacá, 217 kg/m³ para cementos Rioclaro y 220 kg/m³ para cementos Diamante del Tolima.

La cantidad total de material cementante requerido para la construcción de la presa de CCR es del orden de 280000 ton, para un consumo promedio diario de 530 ton, durante un periodo de 18 meses, y un pico máximo de 960 ton. Las investigaciones sobre producción de material cementante en las fábricas antes mencionadas, permiten prever que no habrá dificultades para cumplir con las demandas mencionadas.

3.2 Cantera la Chàcara

INTEGRAL ha llevado a cabo un excelente estudio, que reviste la mayor importancia para asegurar el éxito del Proyecto, cual es el estudio de los materiales para los agregados del CCR y la forma de explotación de la cantera La Chàcara de donde éstos provendrán. Este estudio, en mi concepto, deberá suministrarse a los proponentes como información de referencia, a fin de que éstos puedan evaluar en forma realista los costos de perforación y de las voladuras y el tipo de explosivo más adecuado. En particular, considero muy importante llamar la atención de los proponentes sobre los análisis petrográficos que permiten evaluar la dificultad por encontrar en las perforaciones; la presencia de fracturas mayores y la posición del nivel freático.

El área de la cantera está ubicada sobre la margen derecha

del río Force, entre 1200 y 2400 m aguas abajo del sitio de presa y entre cotas 740 y 850. Para su evaluación geotécnica se realizó un levantamiento geológico de superficie para determinar los afloramientos de roca, su calidad, la estabilidad y magnitud de la cobertura de suelos y un inventario de las discontinuidades en ocho sitios estratégicos. Además, se efectuaron 19 sondeos profundos con taladro rotatorio, algunos de los cuales se extendieron hasta por debajo del nivel mínimo de la futura explotación y cuatro trincheras excavadas hasta encontrar los horizontes de roca que subyacen los suelos residuales.

En el área de la cantera se encuentran rocas metamórficas, ígneas y algunos depósitos no consolidados. Las primeras se conocen como cornubianas y son rocas recristalizadas, silicificadas y endurecidas por el metamorfismo térmico de contacto producido por la intrusión del batolito Antioqueño. La dureza y la resistencia a la meteorización de estas rocas ha dado como resultado una cobertura de suelo y roca meteorizada relativamente delgada. El espesor de los suelos residuales varía en general entre 6 y 23 m. Subyaciendo este material se encuentra un horizonte de roca fracturada y meteorizada (IIA), con un espesor que varía entre cero en la mayoría de la zona y con un promedio de 3 m. Luego se presenta el horizonte de roca fracturada y levemente meteorizada (IIB), con RQD promedio del 50 % en la roca muy fracturada y del 99 % en la roca poco fracturada. Por debajo de las cotas 840 - 850 y hasta la orilla del río se observan afloramientos continuos de cornubianas y algunos de cuarzodiorita, que constituyen los horizontes IIB y III de roca sana. Las rocas ígneas corresponden a las rocas graníticas del batolito Antioqueño y su presencia en el área de la cantera es menor que para las rocas metamórficas.

La cantera se ha localizado con el criterio de minimizar los cortes en la sobrecapa de suelo, que pueden volverse inestables, y obtener los 2.7 millones de metros cúbicos que se requieren para la obra con un movimiento relativamente bajo de descapote. Con el esquema de explotación estudiado, también se garantiza una reserva de materiales equivalente al 22 % de la demanda máxima según el diseño actual.

La medida de la geometría de las fracturas predominantes en la roca indica que la mayoría de las diaclasas tienen buzamiento vertical o están inclinadas favorablemente hacia dentro del macizo rocoso. Esto permite proyectar cortes verticales estables de 20 m de altura con bermas de 8 m de ancho.

Por último, los resultados de los ensayos de reactividad ejecutados en las cuarcitas indican que estas son inocuas, desde el punto de vista de una posible reacción álcali -

agregado. Por esto no se prevé la necesidad de usar cementos especiales, con bajo contenido de álcalis.

3.3 Materiales para el lleno de refuerzo de la presa

Para la obtención de los materiales fino - granulares requeridos para el lleno de refuerzo de la presa, se han estudiado y caracterizado tres zonas de préstamo contiguas al sitio de presa. En razón del volumen de material requerido, finalmente se seleccionaron sólo dos de ellas: el préstamo 1, localizado entre la quebrada Tocamochos, la carretera hacia Anorí y la futura carretera de acceso al túnel de desviación, y el préstamo 2, ubicado en la colina contigua al lleno de refuerzo. Vale anotar que el volumen disponible de materiales limo-arenosos existente en el préstamo 2 es suficiente para la construcción del lleno de refuerzo, por lo que el préstamo 1 se ha dejado como reserva.

Para estudiar las propiedades de los suelos se ejecutaron perforaciones con taladro rotatorio y apiques para la obtención de muestras inalteradas y remoldeadas. Se realizaron ensayos de clasificación, humedad natural, densidad, triaxial CU, permeabilidad, consolidación y compactación. Los resultados de estos ensayos indican que el material es apto para el lleno de refuerzo y sirven de base para las especificaciones técnicas de colocación y compactación. En particular, el material limoso del préstamo 2 que se utilizará para la transición entre el CCR y el cuerpo del lleno de refuerzo, presenta un coeficiente de permeabilidad en muestras compactadas a la humedad natural de $1 \times 10E-07$ cm/s, lo que es óptimo.

4.0 DISEÑO DE LAS MEZCLAS DE CCR Y DE CONCRETO CONVENCIONAL

4.1 Equipo para ensayos especiales de CCR

El control de calidad y el diseño de la presa de gravedad de CCR exigen la ejecución de una serie de ensayos diferentes a los que comúnmente se ejecutan en los concretos convencionales. Estos ensayos están orientados a determinar las propiedades térmicas del concreto, su resistencia a la tracción directa y la fluencia bajo carga constante (creep).

Para la ejecución de estos ensayos las EPM tenía la opción de ordenarlos en el exterior o de ejecutarlos en el país mediante el desarrollo de equipos nacionales. Las EPM optaron por esta última alternativa, minimizando costos y dando un gran avance a la ingeniería nacional. Hoy en día se cuenta con un excelente laboratorio, diseñado y construido en Colombia, el cual será de invaluable utilidad para el diseño del CCR y control durante la construcción de la presa.

Se diseñaron y fabricaron equipos para determinar las siguientes propiedades del CCR: fluencia del concreto, tracción directa, incremento adiabático de la temperatura, conductividad térmica, calor específico, coeficiente lineal de expansión térmica y difusividad térmica. El equipo para la determinación de la consistencia del CCR mediante el ensayo VeBe es estandar y fué adquirido en los Estados Unidos. Todos los equipos se han venido perfeccionando, en especial el de la fluencia del concreto y la conductividad térmica.

4.2 Fases del estudio de mezclas de CCR y convencional

La primera fase del programa de mezclas de prueba de CCR y de concreto convencional para los paramentos de la presa y para la nivelación de la fundación ha sido terminada exitosamente. Su objetivo básico fue el de evaluar el equipo de laboratorio y demostrar el método para determinar la consistencia del CCR mediante el ensayo VeBe con sobrecarga. Se utilizó material cementante proveniente de cuatro fábricas diferentes y agregado de las excavaciones subterráneas del proyecto Guadalupe IV, en donde se presenta la misma cornubiana que se utilizará para Porce II. Los diseños han venido evolucionando de acuerdo con los resultados de los análisis estáticos, dinámicos y térmicos y con las recomendaciones del comité de asesores del proyecto. Inicialmente se estableció para el CCR la edad de diseño a 90 días. Sin embargo, con base en los resultados de los ensayos ejecutados es razonable considerar la edad de diseño a 180 o aún a 365 días.

La segunda fase del programa de mezclas de prueba está en ejecución. En esta fase se pretende afianzar el diseño de las mezclas de los diferentes concretos, perfeccionar los equipos y elaborar las muestras en una mesa vibratoria con capacidad para nueve cilindros para así obtener resultados más representativos. La circunstancia de que la segunda fase esté en ejecución no es óbice para sacar el proyecto a licitación. De hecho los resultados de los ensayos de laboratorio deberán verificarse con aquellos que se hagan sobre muestras obtenidas en los dos llenos de prueba especificados y por ejecutar al inicio de la construcción.

4.3 Criterios para el diseño de las mezclas de CCR

El CCR para presas altas como Porce II (118 m), en donde los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante y la permeabilidad para reducir la posible subpresión en las juntas son de gran importancia, además de una alta resistencia a la tensión directa, debe diseñarse de modo que la estructura tenga propiedades al menos tan buenas como aquellas de una presa construida con concreto convencional. En esta forma los criterios adoptados por el diseñador, los cuales endoso completamente, son tales que asegurarán el cumplimiento de los

siguientes aspectos:

a) Que el CCR tenga suficiente cohesión entre capas para que resista, junto con la componente friccionante, las cargas hidrostáticas impuestas con un factor de seguridad apropiado. Para esto se ha adoptado una relación pasta:mortero mínimo de 0.42.

b) Que el CCR pueda trasportarse y colocarse con un mínimo de segregación, para lo cual se ha limitado el tamaño máximo del agregado a 50 mm.

c) Que el CCR, una vez compactado, tenga una permeabilidad igual o menor que 1×10^{-11} m/s, para prevenir la penetración del agua y minimizar los problemas de subpresión entre capas. Para esto se ha adoptado un contenido mínimo de material cementante de 220 kg/m³.

d) Que exista buena adherencia entre capas sucesivas de CCR para poder contar con una alta resistencia a la tensión en las juntas, que contrarreste los efectos dinámicos del sismo de diseño. Mediante los análisis dinámicos, se ha determinado que el CCR deberá tener una resistencia dinámica in situ de 2.35 MPa en las juntas durante un movimiento sísmico. Esto es equivalente a una resistencia a la tracción estática directa en cilindros de concreto de 1.6 MPa, para una resistencia mínima a la compresión de 25 MPa. Estas resistencias ya han sido confirmadas mediante las pruebas de laboratorio.

e) Que el CCR, una vez compactado, con los agregados utilizados en la mezcla, alcance una densidad mínima in situ del 98 % de la densidad teórica libre de aire.

f) Que el CCR tenga una trabajabilidad adecuada para permitir su compactación mediante cilindros vibratorios, y que equivale a un tiempo VeBe modificado entre 15 y 18 segundos.

4.4 Concreto para los paramentos de la presa

El concreto para los paramentos de la presa se ha diseñado de tal forma que pueda colocarse mediante formaleta deslizante y proporcione una excelente protección para el cuerpo de CCR de la presa. Adicionalmente, se requiere que este tipo de concreto tenga una resistencia a la compresión, a un día, de 7 MPa para permitir que el cilindro vibratorio pueda compactar el CCR contra los elementos que componen los paramentos de la presa. Otros requerimientos son: tamaño máximo del agregado igual a 50 mm; un contenido de arena relativamente alto, del orden del 42 % del total del agregado; un contenido mínimo de material cementante de 350 kg/m³ y una trabajabilidad adecuada, equivalente a un asentamiento de 10 mm y un tiempo VeBe de 10 segundos. Todas estas características se están cumpliendo en

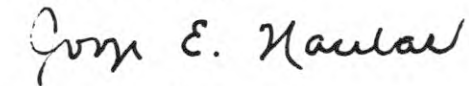
las mezclas de prueba.

4.5 Concreto de nivelación

El concreto de nivelación constituye una transición entre la roca de fundación y el cuerpo de la presa en CCR. También se utilizará en el contacto con los estribos y en sitios de difícil acceso al compactador vibratorio. Este concreto se ha diseñado con los mismos requisitos del CCR, excepto en lo referente a su consistencia o trabajabilidad. Esta deberá ser tal que permita consolidar el concreto mediante vibradores de inmersión con un asentamiento de 25 mm.

Quedo a su disposición para cualquier aclaración o información adicional que usted requiera.

Atentamente,



Jorge E. Hancelas

JEH:mh

**INFORME SC&A 023
CONCEPTO-ESTUDIOS PROYECTO PORCE II**

ANEXO N° 4

**INFORME DEL INGENIERO
ALBERTO HUERTAS R.**



Medellin, Noviembre 23 de 1992

Señores
SILVA CARREÑO & ASOCIADOS Ing. Germán Silva Fajardo
Gerente
Santafé de Bogotá D.C.

Referencia: PROYECTO HIDROELECTRICO PORCE II
Concepto sobre el alcance de los estudios y diseños realizados por las Empresas Publicas de Medellín y la firma Integral S.A., sobre los equipos y sistemas electromecánicos del proyecto.

Estimados señores:

Me permito adjuntar el concepto de la referencia, el cual ha tenido como base la documentación facilitada por ustedes para tal efecto, las visitas realizadas a las oficinas de la firma consultora Integral S.A., durante las cuales se sostuvieron reuniones con los ingenieros mecánicos Francisco Román Muñoz y Roberto Hincapié R., y con el ingeniero electricista José Miguel Gómez, directores de los Departamentos Mecánico y Eléctrico de dicha firma.

Durante las visitas tuve además a disposición para consulta diversos documentos técnicos que en mi concepto reflejan a cabalidad el estado y alcance de los estudios y diseños de los sistemas y equipos electromecánicos del proyecto.

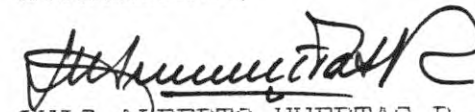
Con base en lo anterior puedo concluir que dichos estudios y diseños se encuentran en tal estado de definición, alcance y presentación, que son adecuados para iniciar de inmediato los procesos licitatorios para la adquisición de los equipos principales requeridos por el proyecto dentro de un esquema progresivo que satisface el programa general de construcción de las obras.

Se concluye además que los sistemas y equipos auxiliares tienen la definición y diseño conceptual que ha permitido al avance general del proyecto en esta etapa del diseño. La precisión de datos específicos y la confirmación de otros que se logren a partir de las particularidades de los diseños de los equipos principales que se contraten, precisión y confirmación necesarias para la definición total de sus características técnicas básicas, permitirá continuar con la elaboración de sus especificaciones técnicas para las adquisiciones respectivas. Este proceso es además el normalmente realizado durante la ejecución de proyectos que no sean del tipo "Llave en Mano" o sus equivalentes.

Es por tanto concluyente en mi concepto, que el estado actual de los diseños electromecánicos permite iniciar el proceso constructivo del Proyecto Hidroeléctrico Porce II.

Estoy a su disposición para complementar o ampliar los aspectos que sobre el tema y alcance del mismo se consideren necesarios.

Atentamente,



LUIS ALBERTO HUERTAS R.
Ing. Mecánico
Matricula Profesional No. 18226

COMISION NACIONAL DE ENERGIA

PROYECTO HIDROELECTRICO PORCE II
DE LAS
EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN

CONCEPTO SOBRE
EQUIPOS Y SISTEMAS ELECTROMECHANICOS

1. ALCANCE

Este documento resume las bases y fundamentos que el autor tuvo en cuenta para emitir el concepto con que se concluye sobre el cubrimiento y alcance de los estudios, diseños y documentos existentes a la fecha, de los sistemas y equipos electromecánicos del Proyecto Hidroeléctrico Porce II.

2. METODOLOGIA

La investigación tuvo como fuente principal el análisis de los informes que las Empresas Publicas de Medellín presentaron a la Comisión Nacional de Energía y la consulta de documentos y especificaciones relativos a los equipos y sistemas electromecánicos en las oficinas de los consultores, Integral S.A., complementando lo anterior con la aclaración de varios aspectos técnicos durante entrevistas personales con los directores de los Departamentos Mecánico y Eléctrico de Integral S.A.

3. COMENTARIOS AL INFORME DEL PROYECTO PRESENTADO A LA COMISION NACIONAL DE ENERGIA

El informe Gestión de Financiación, Diseño Conceptual, Volúmenes I y II, de fecha Abril de 1992, presentado por las Empresas Públicas de Medellín a la CNE, resume las condiciones de operación, la descripción y las características principales de los equipos mecánicos y eléctricos en los numerales 21 y 22 respectivamente del Volumen I.

En relación con lo descrito en este informe considero conveniente resaltar lo siguiente:

3.1 NUMERAL 21.1 - EQUIPOS PARA LA PRESA

Las Empresas Públicas de Medellín han ordenado la instalación de un sistema mecanizado de recolección de basuras en las rejillas

coladeras de la estructura de captación, equipo no incluido en el informe.

La implementación de este sistema y equipos está en proceso de diseño. El consultor estima que los diseños y documentos de licitación (especificaciones) del nuevo equipo, así como las eventuales modificaciones de las estructuras y equipos actualmente diseñados que se afectan por dicha implementación, estarán listos durante el primer semestre de 1993. La cantidad de basura que puede esperarse que arrastre el río al embalse hacen justificable esta previsión adicional.

La operación de las compuertas radiales para el vertedero por medio de órdenes del nivel del embalse emanadas a partir de flotadores, junto con la tendencia a la apertura de las compuertas originada por contrapesos y su operación por servomotores hidráulicos, permite atender el vertimiento de crecientes en forma totalmente automática sin necesidad de disponer para ello de potencia eléctrica. Este diseño se considera muy confiable y la inversión en los equipos requeridos para ello es justificable.

3.2 NUMERAL 21.2 - TURBINAS, VALVULAS Y REGULADORES DE VELOCIDAD

El numeral 21.4, Equipos en la almenara de aguas abajo, describe que los operadores de los tableros planos de cierre de los tubos de aspiración de las turbinas, están constituidos por servomotores hidráulicos. Los documentos de licitación (especificaciones) consideran que estos operadores estarán constituidos por malacates neumáticos los cuales operan los tableros a través de cadenas. El cambio realizado se considera ventajoso, teniendo en cuenta la mayor facilidad de operación y el mejor comportamiento que puede esperarse de estos nuevos equipos ante el ambiente contaminado de la caverna de la almenara aguas abajo donde se localizan.

3.3 NUMERAL 21.5 - SERVICIOS AUXILIARES MECANICOS PARA LA CASA DE MAQUINAS

El sistema de refrigeración de las unidades descrito en el 21.5.1, se juzga como altamente confiable para garantizar la continuidad en el efecto de refrigeración de las unidades y en la buena operación del sistema en si mismo. La individualidad de los circuitos de refrigeración, el sistema de doble circuito, uno cerrado y otro abierto, y los materiales empleados en la tubería e intercambiadores de placas, hacen que el costo y la eficiencia en el intercambio de calor puedan considerarse mayor y menor respectivamente, respecto a las instalaciones tradicionales de un solo circuito abierto; sin embargo si se tiene en cuenta la mala calidad del agua turbinada, la mayor confiabilidad ofrecida por

el sistema diseñado disminuye la indisponibilidad de los equipos de generación y consecuentemente el lucro cesante durante la operación, justificándose así el diseño adoptado.

Los sistemas contraincendio descritos en el numeral 21.5.3, no consideran la utilización de Halon como agente extintor. Es destacable esta determinación del diseño debido al daño ambiental que produce este gas.

El sistema de aire acondicionado del edificio de control no ha sido aún diseñado en detalle, puesto que la concepción arquitectónica y diseño del edificio aún están en proceso.

La instalación de ventilación incluye campanas y conductos de aire para aspirar directamente sobre las áreas de posible contaminación del aire en la caverna de máquinas, durante operaciones de desmontaje de partes de la máquina. Esta contaminación es originada por la mala calidad del agua turbinada y con la previsión anterior se minimiza la contaminación a las demás áreas de la caverna durante dichas operaciones.

3.4 NUMERAL 22.1 - GENERADORES Y EQUIPO ASOCIADO

Teniendo en cuenta las razones expuestas en el informe, la determinación del diseño de no considerar la operación del generador como condensador sincrónico, la cual implica prever los medios (aire comprimido) para bajar el nivel del agua para permitir el giro del rodete de la turbina en aire, se considera adecuada.

La necesidad de un 25% de mayor inercia mecánica en el generador (respecto a la normalmente esperada del fabricante) para obtener buena calidad en la regulación de velocidad en la unidad turbogeneradora es acertada. Normalmente para generadores de las características definidas en el diseño para el proyecto, debe esperarse un bajo sobrecosto en el precio del generador por un incremento de inercia de la magnitud planteada.

3.5 NUMERAL 22.3 - CABLES A 230 KV

La necesidad de utilizar cables aislados a 230 KV entre la caverna de máquinas (bornes de salida de transformadores de potencia) y el portal de salida del túnel de acceso, se satisface en el diseño al proponer utilizar cables de tipo seco aislado en polietileno reticulado o en polietileno de baja densidad. A pesar de ser relativamente novedosa su aplicación en Colombia, la experiencia de las Empresas Publicas de Medellín en otra central hidroeléctrica de su propiedad (Central de Playas), en donde se utilizó este tipo de cable en longitud mucho mayor (1800 m aprox.) a la requerida por el proyecto Porce II, lo garantiza

como confiable en operación, vida útil y de menor costo que otro tipo de cable equivalente.

La línea de transmisión aérea a 230 kV en cable desnudo entre el pórtico de salida del túnel de acceso y la subestación de la central, no ha sido trazada aún.

3.6 NUMERAL 22.5 - SERVICIOS AUXILIARES ELECTRICOS

La capacidad instalada de energía de emergencia, consistente en dos unidades de 750 kW, aparentemente alta, es la necesaria debido a la potencia consumida principalmente por los servicios esenciales y por el sistema de ventilación y aire acondicionado. Una de estas unidades está en capacidad de atender la demanda requerida para el arranque de una unidad y dichos servicios; la segunda unidad aunque conectada para trabajar en paralelo con la primera, se prevé como de reserva.

3.7 NUMERAL 22.6 - LINEAS DE TRANSMISION

Estas líneas de transmisión, aunque hacen parte del proyecto, no son del alcance de los trabajos contratados por las Empresas Públicas de Medellín, con la consultora Integral S.A.

4. ESTADO ACTUAL Y ALCANCE DE LOS DISEÑOS

El estado de los estudios y diseños se resume en el Cuadro No. 1 anexo. El contenido de los documentos respectivos fue consultado en términos generales por el suscrito durante las visitas a la firma consultora Integral S.A.

En general se pudo constatar que el proyecto tiene una definición conceptual y de detalle que ha permitido llegar hasta la elaboración y edición de las especificaciones y planos que permiten la iniciación de los procesos licitatorios de los equipos fundamentales para la construcción de la central, así:

Las especificaciones y documentos de licitación para la energía de construcción se encuentran disponibles en su forma final, lo cual permite tener la energía que requieren los contratistas de construcción cuando estos inicien labores.

Los documentos correspondientes a las compuertas y guías de la desviación, están listos para licitación; esto permite poder realizar las pruebas de su operación y funcionamiento (en seco) en obra, antes de que ocurra la desviación del río.

Las especificaciones y planos de la grúa puente en casa de máquinas, necesaria para el montaje de los equipos, también se encuentran listos y editados para su licitación.

En el mismo estado se encuentran los documentos correspondientes a los equipos de las unidades turbina-generador con sus equipos auxiliares, los cuales son por regla general los que requieren mayor tiempo en su fabricación y despacho al sitio de obras, y que además definen los diseños constructivos civiles definitivos en sus áreas de instalación y circundantes.

El avance en las especificaciones correspondientes a los transformadores de potencia es tal que solo requiere la edición de los documentos para su licitación. Los periodos de fabricación de estos equipos principales son menores a los de turbinas y generadores, pudiéndose licitar en fecha posterior a la de estos últimos.

Todos los documentos correspondientes a los equipos de presa, vertedero y conducción están listos para licitación, excepción hecha de los correspondientes a los equipos para limpieza mecanizada automática de las basuras en las rejillas coladeras de la captación, los cuales están en proceso de ejecución y que se estima tenerlos terminados durante el primer semestre de 1993. Es de anotar que no se requiere licitar este equipo al inicio de las obras.

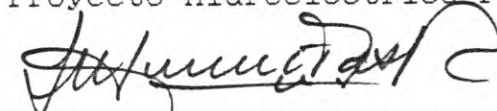
Los diseños, especificaciones y planos, de las instalaciones eléctricas que se incluyen en los documentos de licitación de las obras civiles, están terminados.

Para desarrollo posterior se ha programado la elaboración de especificaciones y planos de licitación de otros equipos y sistemas que no son necesarios para iniciar la construcción del proyecto y que en algunos casos requieren de la determinación y confirmación de los datos específicos técnicos que definen sus características básicas, los cuales emanan del diseño de los equipos principales y que se conocerán una vez se adjudique la fabricación y suministro de estos últimos. Este proceso y secuencia, como es conocido en el sector eléctrico, es el típico en desarrollo de proyectos hidroeléctricos que no obedecen al procedimiento de adquisición "Llave en Mano", como es el Proyecto Force II.

5. CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta lo expresado en este documento, considero que el Proyecto Hidroeléctrico Force II de Las Empresas Publicas de Medellín, posee el desarrollo, avance y alcance en los diseños electromecánicos que han permitido definir totalmente los equipos principales y se han elaborado los documentos técnicos de diseño, especificaciones y planos correspondientes que son adecuados para iniciar el proceso licitatorio de los mismos.

Por lo anterior y de acuerdo con la práctica corriente para este tipo de proyectos, considero que el diseño electromecánico es apto para permitir la iniciación de la fase constructiva del Proyecto Hidroeléctrico Porce II.



LUIS ALBERTO HUERTAS R.
Ingeniero Mecánico
Matricula Profesional No. 18226
C.C. 5550177 Bucaramanga

REFERENCIAS

- Proyecto Hidroeléctrico Force II - "Descripción General del Proyecto" - Empresas Publicas de Medellín, Septiembre 1992.
- Proyecto Hidroeléctrico Force II - Gestión de Financiación - "Diseño Conceptual", Volúmenes I y II - Empresas Públicas de Medellín, Abril 1992.
- Volúmenes de especificaciones y documentos de licitación de equipos varios del proyecto Force II, elaborados por Integral S.A. para las Empresas Publicas de Medellín.
- Documentos varios sobre enunciados de alcance de equipos electromecánicos del proyecto Force II, elaborados por Integral S.A. para Empresas Publicas de Medellín.

CUADRO No. 1
COMISION NACIONAL DE ENERGIA
PROYECTO HIDROELECTRICO PORCE II
DE LAS EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN
EQUIPOS Y SISTEMAS ELECTROMECAVICOS
ESTADO DE LOS DISENOS Y DOCUMENTOS A NOVIEMBRE DE 1992

* Se dispone en su estado definitivo
 @@@ No se dispone a.n

Hoja 1 de 4

LOTE No	DEFINICION DE AREA Y EQUIPOS	ENUNCIADO DE ALCANCE	DISENO CONCEPTUAL	ESPECIFICACIONES Y PLANOS PARA LICITACION	PRESUPUESTO	MANUAL DE CARACTERISTICAS
	ENERGIA PARA CONSTRUCCION					
7204	- Equipos para la subestacion - Lineas de transmision (suministro y montaje)	*	*	*	*	*
	OBRAS DE DESVIACION					
7308	- Compuertas para el cierre de la desviacion	*	*	*	*	*
	PRESA Y VERTEDERO					
7405	- Equipo de ventilacion para las galerias de la presa (para incluir en los documentos civiles de presa y obras anexas)	*	*	*	*	*
7409	- Compuertas radiales y compuerta auxiliar para el vertedero	*	*	*	*	*
7410	- Instalaciones electricas en presa y vertedero (para incluir en los documentos civiles de presa y vertedero)	*	*	*	*	*
7412	- Descarga de fondo, compuerta radial, compuerta hidraulica deslizante, compuerta auxiliar y blindaje metalico	*	*	*	*	*
7507	- Equipos de alce en captacion y presa. Grua polar y grua camion	*	*	*	*	*

CUADRO No. 1
COMISION NACIONAL DE ENERGIA
PROYECTO HIDROELECTRICO PORCE II
DE LAS EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN
EQUIPOS Y SISTEMAS ELECTROMECHANICOS
ESTADO DE LOS DISENOS Y DOCUMENTOS A NOVIEMBRE DE 1992

* Se dispone en su estado definitivo
 @@@ No se dispone a.n

Hoja 1 de 4

LOTE No	DEFINICION DE AREA Y EQUIPOS	ENUNCIADO DE ALCANCE	DISENO CONCEPTUAL	ESPECIFICACIONES Y PLANOS PARA LICITACION	PRESUPUESTO	MANUAL DE CARACTERISTICAS
	- Ascensor para el ducto de servicios en la presa (para incluir en los documentos civiles de la presa)	*	*	*	*	*
7508	- Compuertas y rejas coladeras para la captacion (Ver Nota 1)	*	*	*	*	*
	CONDUCCION					
7510	- Blindaje de tunel y distribuidor	*	*	*	*	*
	CAVERNAS DE MAQUINAS Y ALMENARA AGUAS ABAJO - TUNEL DE ACCESO					
7604	- Instalaciones electricas en la casa de maquinas (para incluir en los documentos civiles de la casa de maquinas)	*	*	*	*	*
8201	- Generadores y equipos asociados	*	*	*	*	*
8202	- Transformadores principales de potencia	*	*	@@@	*	*
8203	- Transformadores para servicios auxiliares	*	*	@@@	*	*
8204	- Bandejas y herrajes	*	*	@@@	@@@	*
8205	- Planta de emergencia	*	*	@@@	*	*
8206	- Tablero electrico para servicios auxiliares	*	*	@@@	*	*

COMISION NACIONAL DE ENERGIA
 CIUDAD DE MEDELLIN

CUADRO No. 1
COMISION NACIONAL DE ENERGIA
PROYECTO HIDROELECTRICO PORCE II
DE LAS EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN
EQUIPOS Y SISTEMAS ELECTROMECHANICOS
ESTADO DE LOS DISENOS Y DOCUMENTOS A NOVIEMBRE DE 1992

* Se dispone en su estado definitivo
 @@@ No se dispone a.n

Hoja 1 de 4

LOTE No	DEFINICION DE AREA Y EQUIPOS	ENUNCIADO DE ALCANCE	DISENO CONCEPTUAL	ESPECIFICACIONES Y PLANOS PARA LICITACION	PRESUPUESTO	MANUAL DE CARACTERISTICAS
8207	- Cables de control, fuerza e instrumentacion	*	*	@@@	@@@	*
8208	- Cables de potencia a 230 kV	*	*	@@@	*	*
8301	- Turbinas, reguladores y valvulas de admision	*	*	*	*	*
8302	- Puente grua y ascensor en casa de maquinas	*	*	*	*	*
8303	- Tableros metalicos para los tubos de aspiración	*	*	*	*	*
8304	- Equipo de aire comprimido para frenos de generador y servicios auxiliares	*	*	@@@	*	*
8305	- Equipo de ventilacion y aire acondicionado	*	*	@@@	*	*
8306	- Sistemas de refrigeracion y drenajes	*	*	@@@	*	*
8307	- Sistemas antincendio (Ver Nota 2)	*	*	@@@	*	*
8309	- Control de ruido	*	@@@	@@@	@@@	@@@
8401	- Equipos para el control de las unidades y de la Central	*	*	@@@	*	*
8402	- Equipos de proteccion	*	*	@@@	*	*
8403	- Equipos para telecomunicacion	*	*	@@@	*	*

COMISION NACIONAL DE ENERGIA
 ESTADISTICA I

CUADRO No. 1
COMISION NACIONAL DE ENERGIA
PROYECTO HIDROELECTRICO PORCE II
DE LAS EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN
EQUIPOS Y SISTEMAS ELECTROMECHANICOS
ESTADO DE LOS DISENOS Y DOCUMENTOS A NOVIEMBRE DE 1992

* Se dispone en su estado definitivo
 @@@ No se dispone a.n

Hoja 1 de 4

LOTE No	DEFINICION DE AREA Y EQUIPOS	ENUNCIADO DE ALCANCE	DISENO CONCEPTUAL	ESPECIFICACIONES Y PLANOS PARA LICITACION	PRESUPUESTO	MANUAL DE CARACTERISTICAS
	SUBESTACION Y EDIFICIO DE COMANDO					
7702	- Equipos para la subestacion principal a 230 kV	*	*	@@@	*	*
7703	- Instalaciones electricas para la subestacion	*	*	@@@	*	*
7801	- Linea de transmision entre portal del tunel de acceso a casa de maquinas y subestacion	*	@@@	@@@	@@@	@@@

NOTAS: 1. Debera ser adaptado para considerar el equipo adicional de limpieza mecanizada automatica de rejillas coladeras.
 2. No incluye el equipo antincendio del edificio de comando el cual se encuentra en definicion arquitectonica.

**INFORME SC&A 023
CONCEPTO-ESTUDIOS PROYECTO PORCE II**

ANEXO N° 5

**INFORME DEL INGENIERO
JAIRO ROMERO ROJAS**



MEMORANDO

DE: JAIRO ROMERO ROJAS

PARA: ING. GERMAN SILVA FAJARDO

FECHA: Noviembre 20 de 1992

REF.: CONCEPTO PROYECTO PORCE II

1. ANTECEDENTES

De acuerdo con la propuesta presentada a la Comisión Nacional de Energía incluyo en el presente informe el concepto con el resumen de las investigaciones y estudios realizados sobre el proyecto en el área de Impacto Ambiental.

Para la elaboración del presente informe se analizó el trabajo presentado por EPM a la Comisión Nacional de Energía y se revisó el contenido y las conclusiones de los principales estudios de Impacto Ambiental y Socioeconómico, conjuntamente con los ingenieros Hernán Darío Ramírez, Jefe de Recursos Naturales; Jorge Arboleda, Técnico de Planeación de Recursos Naturales y Alvaro Salazar, Coordinador de la Unidad de Planeación de Saneamiento Hídrico; así como con la Dra. Nora Lucía Villegas de la sección de Estudios Económicos.

2. ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL Y SOCIOECONOMICO

A continuación se enumeran y se hacen las principales observaciones a la documentación relacionada con los estudios de Impacto Ambiental y Socioeconómico así como de los efectos y medidas de prevención, corrección y control de los mismos.

2.1 Estudio Ecológico Preliminar sobre el Aprovechamiento Hidroeléctrico del Río Porce (Proyectos Porce II, Porce III, Porce IV y Riachón), por Gabriel Roldán P., enero 15 de 1975.

2.2 Lineamientos Generales para la Evaluación Ambiental, Estudio de Factibilidad de los Proyectos Hidroeléctricos Force II, Force III, Nechí y Riachón, EPM, febrero de 1986.

Presenta pautas y directrices metodológicas para realizar las evaluaciones de Impacto Ambiental de los Proyectos Hidroeléctricos de EPM.

2.3 Estudio de Factibilidad, informe final, Ascón Ltda., julio de 1986.

2.4 Estudio de Factibilidad, anexo 1, Hidrología, Ascón Ltda., julio de 1986.

2.5 Estudio de Factibilidad, anexo 2, Geología y Sismicidad, Ascón Ltda., julio de 1986.

2.6 Evaluación Ambiental Preliminar, etapa 1, EPM, mayo de 1987.

2.7 Estudio de Infraestructura para la Ejecución de los Proyectos Force II, Force III y Riachón, EPM, mayo de 1988.

2.8 Estudio Reconocimiento Vial Proyecto Force II, EPM, julio de 1988.

2.9 Estudios de Evaluación Ambiental, etapa 2, Informe de Avance, Proyecto Hidroeléctrico Force II, EPM, agosto de 1988.

Identifica algunas de las características ambientales de la zona del proyecto y los Impactos Ambientales significativos. Destaca como conclusión que la construcción y operación del embalse serán compatibles con el ambiente y deseables para el desarrollo futuro de la región.

2.10 Análisis de las Metodologías para la Influencia de los Caudales generados por la construcción de embalses, aplicado a los proyectos de los ríos Force y Nechí. Universidad Nacional de Colombia, septiembre de 1988.

2.11 Características Generales y Balance de Carga en el Embalse Force II, EPM, septiembre de 1988.

2.12 Efectos del Río Medellín en la Calidad del Agua del Embalse Force II, volumen 1º y 2, EPM, octubre de 1988.

Presenta generación de cargas contaminantes y simulación de calidad del agua por el modelo QUAL II para diferentes escenarios y condiciones de operación.

2.13 Predicción de la estratificación del Embalse Force II, EPM, septiembre de 1988.

Analiza estratificación del embalse por el número densimétrico de Froude y el modelo CE-QUAL-R1.

2.14 Eutroficación del Embalse Force II, EPM, octubre de 1988.

Analiza por diferentes modelos empíricos y por el modelo CE-QUAL-R1 la posibilidad de eutrofización del Embalse Force II.

2.15 Remoción de vegetación en el Embalse Force II y predicción de la calidad del agua, EPM, octubre de 1988.

Se hacen proyecciones de calidad del agua en el Embalse Force II con el modelo CE-QUAL-R1 para diferentes escenarios de remoción de vegetación.

2.16 Inventario Minero Proyecto Hidroeléctrico Force II, estudio de evaluación ambiental, EPM, diciembre de 1988.

Identifica y clasifica las explotaciones mineras localizadas en la zona de influencia y en la zona de embalse.

2.17 Estudio de Depositación de Sedimentos en el Embalse y Efectos de la Infraestructura, Proyecto Force II, EPM, marzo de 1989.

Evalúa la depositación de sedimentos en el embalse.

2.18 Aspecto Socioeconómicos de la zona de Influencia del Proyecto Force II, EPM, julio de 1989.

Incluye descripción de las características socioeconómicas de las zonas influenciadas directa e indirectamente por el proyecto, así como de la incidencia y beneficios que la obra reporta.

2.19 La Vegetación Acuática y su Incidencia en el Embalse Force II, EPM, agosto de 1989.

Presenta revisión de problemas por malezas acuáticas en embalses y el resultado de un recorrido general en el área del proyecto.

2.20 Cuantificación de la Biomasa Vegetal en la zona de Embalse, EPM, agosto de 1989.

Determina el contenido de biomasa vegetal en la zona del embalse como igual a 39 Mg de biomasa total.

2.21 Composición Florística y Análisis Estructural de los Bosques Naturales y demás coberturas vegetales, EPM, agosto de 1989.

Incluye composición, estratificación y estado sucesional de los bosques afectados por el proyecto.

2.22 Estudio de Fauna, EPM, agosto de 1989.

Contiene el estudio de la fauna vertebrada silvestre existente en la zona de influencia directa del proyecto Force II.

2.23 Usos Actuales del Suelo, EPM, agosto de 1989.

Describe y cuantifica los usos actuales del suelo en la zona de influencia directa del proyecto Force II.

2.24 Estudio General de Suelos, Erosión y Uso Potencial Agropecuario para los Proyectos Hidroeléctricos Force II y Force III, EPM, agosto de 1989.

Establece el impacto que sobre el recurso suelo tendrá el proyecto Force II en su zona de influencia directa.

2.25 Declaratoria de Impacto Ambiental Proyecto Hidroeléctrico Force II, volumen 1, EPM, agosto de 1989.

Contiene la declaración de impacto ambiental del proyecto Force

II, en la cual se denuncia, describen y evalúan las consecuencias del proyecto sobre el ambiente físico y biótico de la región.

2.26 Características generales y Balance de Cargas en el Embalse Force II, EPM, octubre de 1989.

Resume las cargas contaminantes de interés en el río Force para evaluar su impacto en la calidad del agua del embalse.

2.27 Efectos del río Medellín en la calidad del agua del Embalse Force II, EPM, octubre de 1989.

Analiza la capacidad de autopurificación del sistema río Medellín/río Force, hasta el sitio del embalse Force II para diferentes condiciones de contaminación por medio de los modelos QUAL-II y CE-QUAL-R1.

2.28 Censo Socioeconómico y de Propietarios, EPM, 1989.

2.29 Comentarios del Sondeo Socioeconómico del Caserío Puente Force, EPM, 1989.

2.30 Condiciones Actuales de Salud de la Población del área de influencia del proyecto Hidroeléctrico Force II, Universidad de Antioquia, Facultad de Salud Pública, Centro de Investigaciones, 1990.

Incluye el diagnóstico y el perfil de morbilidad de la población afectada.

2.31 Insectos de Importancia Médica en la zona de influencia del proyecto Hidroeléctrico Force II, Universidad de Antioquia, Facultad de Salud Pública, Centro de Investigaciones, agosto de 1990.

Evalúa la presencia de los principales insectos de interés médico en la región.

2.32 Estado de la Evaluación Ambiental del proyecto Force II, EPM, 1990.

2.33 Inventario Minero Proyecto Porce II, EPM, mayo de 1991.

Describe el estado actual de la minería en la zona del proyecto.

2.34 Resolución 509 de junio 21 de 1991 de Inderena.

Acepta el estudio de impacto ambiental del proyecto Hidroeléctrico Porce II en su etapa de factibilidad y exige la presentación de unos programas ambientales.

2.35 Problemas de Erosión y Producción de Sedimentos Generados por la Construcción-Mantenimiento y Mejoramiento de Carreteras, EPM, agosto de 1991.

Incluye medidas ambientales para control y mitigación de los problemas generados por los sedimentos de dichas obras.

2.36 Presentación de los trabajos Ambientales exigidos por el Inderena, EPM, febrero de 1992.

Presenta la forma como EPM realizará cada programa o estudio ambiental exigido por el Inderena y la programación correspondiente para su ejecución.

2.37 Areas requeridas por el Proyecto Porce II, EPM, junio de 1992.

Actualiza y define las áreas requeridas de terreno para construcción, operación, protección y mitigación de impacto ambiental del proyecto. El área requerida es de 3051 hectáreas, con un área de embalse de 1030 hectáreas.

2.38 Prevención, Corrección y Control de Impactos Ambientales, EPM, julio de 1992.

Presenta 25 medidas de mitigación de impacto ambiental con la asignación de responsabilidad para su ejecución dentro de las dependencias de EPM.

2.39 Estudio de Impacto Ambiental de las Líneas de Transmisión. Incluye descripción del trazado, recopilación de información

fisicobiótica sobre el corredor, identificación y calificación de impactos ambientales y formulación de medidas de mitigación; estudio en elaboración.

2.40 Estudio Socioeconómico de la Población Minera de las Áreas de Influencia de los Proyectos Porce II, Porce III, Riachón y Ermitaño.

Tiene como objetivo caracterizar socioeconómica y culturalmente la población minera de dichas áreas y definir pautas y directrices para el proceso indemnizatorio y de reasentamiento poblacional. Estudio en proceso de edición y revisión.

2.41 Estudio Socioeconómico General. Tiene por objeto caracterizar socioeconómicamente el área y la población de la zona de influencia del proyecto con el fin de definir el plan de manejo y las medidas mitigatorias y/o compensatorias adecuadas a la situación de la zona. Estudio en proceso de edición.

2.42 Estudio de Arqueología de Rescate. Tiene por objeto identificar el patrimonio arqueológico en el área y presentar las acciones de mitigación o rescate correspondientes. Estudio en proceso de edición y revisión.

2.43 Estudio para la Construcción y Localización de los Campamentos para el Albergue de los Trabajadores dependientes de Contratistas. Estudio en proceso de definición de los términos de referencia.

3. PRINCIPALES EFECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO

Teniendo en cuenta el alto grado de intervención alcanzado por el ambiente físico y biótico en la zona del proyecto, los estudios realizados han identificado 71 impactos ecológicos negativos, de los cuales solamente 8 tienen importancia ecológica alta, a

saber:

- Reducción de la población ictica nativa por contaminación con sedimentos en las quebradas.
- Degradación de la calidad del agua de las quebradas por sedimentos.
- Reducción de la actividad fotosintética en el embalse por los contaminantes que transporta el río Force.
- Degradación estética de la superficie del embalse por la acumulación de basuras, espumas, grasas, etc.
- Reducción de la transferencia de oxígeno en el embalse por la presencia de aceites y detergentes en las aguas del río Force.
- Riesgo de problemas de operación en la central por la acumulación de basuras en el embalse.
- Desplazamiento de la fauna ictica nativa de la zona de embalse cuando éste se forme.
- Degradación de la calidad del aire en la zona de embalse por la generación de malos olores.

Entre los impactos positivos solamente uno tiene importancia alta:

- Mejoramiento de la calidad de las aguas del río Force aguas abajo de la presa, por la retención de sólidos, nutrientes, bacterias, etc., en el embalse.

De los estudios de impacto socioeconómico se tienen, hasta la fecha, los siguientes resultados principales:

- El total de población afectada, municipios de Amalfi, Gómez Plata y Yolombó, es de 993 personas.
- Aproximadamente 507 personas, de población nucleada permanente, requieren desplazamiento y pierden su fuente de trabajo. Esta población pertenece a Guacabé y La Cancana en Yolombó, Puente

Porce en Gómez Plata y La Picardía en Amalfi.

- Un total de 90 personas de la población nucleada permanente de Garzón, no requiere desplazamiento pero pierde su fuente de trabajo.

- Un total de 298 personas, de población dispersa permanente, parcialmente se verá favorecida al permanecer en la zona y encontrar condiciones de adaptabilidad adecuadas. Otra porción tendrá que emigrar debido a la venta de los predios.

- Un total de 98 personas, de población transitoria nucleada y dispersa recibirán un impacto mínimo debido a su forma de vida que les permite desplazarse continuamente en busca de su fuente de trabajo.

- El proyecto impacta 2500 ha. de ganadería extensiva, la cual incorpora muy poca mano de obra y 45 ha. de explotación agrícola.

- El proyecto afecta producción por un valor de \$134 millones, un 92% debido a extracción de minería en la zona y el 8% restante al producto de actividades agropecuarias.

- En puestos de trabajo se afectan 315 puestos en minería y 205 en actividades agropecuarias y de servicios.

- En infraestructura se impactan 2 escuelas de Fuente Porce; 1 Puesto de Salud y una Inspección en La Cancana; 2 Puentes Colgantes en Gómez Plata; una Garrucha en Garzón y 18 km de la vía de Medellín a Amalfi más 15 km de vías terciarias de acceso a diferentes fincas.

El proyecto con base en la aplicación de la Ley 56 de 1981, aportará los siguientes beneficios principales:

- Fondos especiales: los municipios de Amalfi, Yolombó y Gómez Plata recibirán \$95 millones por concepto del valor del avalúo catastral de los predios comprados por EPM.

- EPM pagará a cada municipio un impuesto predial de \$2 millones anuales.
- Los municipios recibirán \$1.2 millones anuales por impuesto de industria y comercio.
- EPM pagará a los municipios \$796 millones como producto del 4% de las ventas de energía en bloque, para ser invertidos en electrificación rural y reforestación.
- Se mejorará la infraestructura vial existente.
- Se generarán por la construcción del proyecto, 4150 empleos directos y 8075 empleos indirectos.

4. VIDA UTIL DEL EMBALSE

Considerando como nivel inferior de la captación la cota 899.40, el volumen muerto disponible en el embalse es de 73.8 millones de m³. Si se considera que el almacenamiento anual de sedimentos es de 2.7 millones de m³, se tendrá una vida útil del embalse de 27 años. Hay que señalar que, bajo estas condiciones, la vida útil del embalse será realmente mayor debido a la poca fluctuación que tendrá el nivel normal de operación, lo cual hará que el sedimento forme un delta en el extremo de aguas arriba del embalse, de tal forma que un alto porcentaje de la sedimentación ocurrirá por encima del nivel de embalse muerto y aún por encima del nivel de operación, es decir, sobre el cauce del río aguas arriba de la cola del embalse.

5. MEDIDAS PREVISTAS PARA PREVENCIÓN, CORRECCIÓN Y CONTROL DE IMPACTOS DEL PROYECTO

En la tabla 1 se presentan las 25 medidas principales de prevención, corrección y control de los impactos ambientales.

Dichas medidas están siendo desarrolladas, de acuerdo con la programación establecida por EPM, la cual se incluye en la tabla 2.

Desde el punto de vista socioeconómico se efectuó, en febrero de 1992, la relocalización de 17 familias moradoras del caserío Puente Force, sitio de presa del proyecto Force II. Las obras físicas del nuevo caserío incluyen 12 habitaciones unifamiliares (5 familias no se acogieron al programa) con lotes que van entre 200 m² y 6400 m²; instalaciones comunales, servicios básicos, conformación de la empresa agrícola comunitaria La Ilusión, programa de inducción y plan de desarrollo con participación activa de la comunidad afectada.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con el somero análisis realizado de los estudios de impacto ambiental; de la existencia de la aprobación de dichos estudios por parte del Inderena; de las medidas previstas para prevención, corrección y control de impactos ambientales; de la vida útil del embalse y de la existencia de los recursos técnicos para el manejo ambiental de las obras por parte de EPM, se puede concluir que el proyecto Force II cuenta con la adecuada consideración del aspecto Impacto Ambiental y Socioeconómico y es recomendable su ejecución.

La ejecución de las actividades de mitigación de los impactos generados por la construcción y operación de las obras del proyecto Force II, constituyen parte integral del mejoramiento de las condiciones ambientales de la zona y del éxito del proyecto; por lo tanto, se recomienda elaborar completamente cada una de las medidas indicadas en la tabla 1, por parte de las

dependencias correspondientes responsables de EPM y señaladas en la tabla II.

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jairo Romero Rojas". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underlining the name.

Ing. JAIRO ROMERO ROJAS.

Nombre	Objetivo	Breve contenido y alcance
1. Control de erosión y sedimentación durante la construcción	Prevenir y controlar la producción, el transporte y la depositación de sedimentos durante la construcción del proyecto con el fin de evitar el deterioro de los recursos agua y suelo.	<p>El control se adelantará en cada sitio donde se realice una obra o actividad del proyecto y en las zonas que puedan resultar afectadas.</p> <p>El trabajo llevará una parte de identificación y caracterización de focos erosivos, la formulación de las soluciones respectivas y la ejecución e implementación de las obras y actividades de control planteadas.</p>
2. Conservación de suelos	Prevenir y controlar los aportes de sedimentos por procesos erosivos existentes en la zona del proyecto diferentes a los generados por la construcción de las obras, que por sus características revisten especial importancia para la operación del proyecto o las obras construidas.	<p>Deberá presentar soluciones a los problemas de tipo extensivo producidos por el sobrepastoreo y a los de tipo intensivo como derrumbes, deslizamientos, etc.</p> <p>Cubrirá no sólo las propiedades adquiridas por EPM, sino las otras tierras de propiedad particular vecinas al embalse y las obras.</p>
3. Control de vertimientos	Prevenir y controlar la contaminación del agua y el suelo por el vertimiento de diferentes sustancias o productos: aguas negras, combustibles, lubricantes, aguas de lavado de vehículos, aguas provenientes de plantas de mezclas, etc.	<p>Se deberán diseñar soluciones para manejar todo tipo de vertimientos, ya sea en forma individual o colectiva, no sólo en las viviendas y campamentos, sino también en los sitios de obra donde por efecto del proceso constructivo se utiliza agua y ésta se contamina, como por ejemplo la planta de mezclas y la planta de triturado. También se deben plantear soluciones para los efluentes de talleres y bombas de gasolina, etc.</p> <p>También se hará un análisis especial de los vertimientos o contaminación que se produce con el nuevo sistema de construcción propuesto para la presa (CCR), el cual produce aguas contaminadas con cemento que deben ser tratadas antes de llegar a las corrientes o al embalse. Debe incluir también recomendaciones de mantenimiento y seguimiento de las obras.</p>

Nombre	Objetivo	Breve contenido y alcance
4. Disposición final de basuras y otros productos sólidos	Prevenir y controlar la contaminación del agua y el suelo por basuras y otros materiales generados por todas las actividades y obras del proyecto, tales como escombros, desperdicios, etc.	<p>Deberá plantear soluciones para depositar adecuadamente los materiales indicados, que incluyan sistemas de recolección, transporte y disposición adecuada. En este último caso deben evaluarse varias alternativas: rellenos sanitarios, incineración, etc.</p> <p>Debe incluir recomendaciones para el mantenimiento y el seguimiento de las obras.</p>
5. Manejo de descargas súbitas de la presa y la central	Prevenir y evitar la pérdida de vidas humanas y animales y daños a la infraestructura construida, por incrementos imprevistos en el caudal del río Porce por la operación del proyecto (vertedero, descarga de fondo, central).	Se deben estudiar y, si es del caso, diseñar mecanismos o acciones para ser ejecutadas previamente a las operaciones que se realicen en la presa y en la central que provoquen descargas súbitas o incrementos imprevistos del caudal del río Porce, tales como: Instalación de alarmas sonoras, señalización de zonas de riesgo, compra de tierras en las orillas del río, vigilancia de sectores riesgosos, etc.
6. Control a la pérdida de aguas superficiales por construcción de obras subterráneas	Evitar o reducir la pérdida de aguas superficiales por causa de las obras subterráneas (infiltraciones), sobre todo de aquellas fuentes que están siendo utilizadas actualmente.	Inicialmente se debe confirmar la probabilidad de que dicha pérdida ocurra y en caso afirmativo se deben plantear soluciones temporales o definitivas para manejar dicha situación, como pueden ser: Impermeabilizaciones, traslado de acueductos, etc. (se dice soluciones temporales porque estas infiltraciones pueden ocurrir hasta el llenado de los túneles, dependiendo del caso).
7. Retención y remoción de basuras a la entrada del embalse	Atrapar, retener y remover las basuras y materiales sólidos que transporta el río Porce a la entrada del embalse, con los siguientes propósitos: evitar dificultades en el embalse y en la central, disminuir los problemas de calidad del agua embalsada, evitar problemas de salubridad con la basura depositada en las orillas y mejorar el aspecto antiestético que estos materiales producirían en el embalse.	<p>Se debe diseñar un sistema que contemple los siguientes aspectos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Atrapamiento y retención de las basuras y materiales a la entrada del embalse. - Extracción de las mismas del embalse. - Transporte a sitio de depositación final. - Disposición final adecuada y libre de contaminación. <p>El sistema debe ser confiable para que funcione aún durante las crecientes, de fácil operación, resistente a las condiciones del río y ambientalmente favorable, de tal forma que para favorecer el proyecto no se cree un nuevo problema ambiental para la región, ni para las comunidades vecinas.</p>

Tabla 1. Estudios de Evaluación Ambiental del proyecto hidroeléctrico Porce II. Medidas de mitigación ambiental propuestas.

Nombre	Objetivo	Breve contenido y alcance
8. Vigilancia y control de zonas y orillas inestables alrededor del embalse	Prevenir y manejar los problemas de estabilidad de algunas zonas y orillas en los alrededores del embalse, especialmente de los coluviones cercanos a la presa, que puedan poner en peligro las obras construidas cuando se inicie la operación del embalse.	Inicialmente se deberán identificar y caracterizar las zonas inestables (magnitud, procesos, nivel de inestabilidad, etc.). Posteriormente, si se requiere, se deben diseñar acciones y obras, incluyendo sistemas de vigilancia que permitan su seguimiento y control.
9. Estudio y manejo de los deltas de sedimentación	Anticipar las consecuencias de la formación de los deltas de sedimentación en las entradas del embalse, especialmente en el río Porce, con el fin de evitar problemas con los asentamientos y con la infraestructura existente o por construir vecinos a esa zona.	Se adelantará inicialmente un estudio que identifique las características de los deltas y precise los impactos que pueden generar los mismos. De acuerdo con esto, se precisarán soluciones para su manejo y control, tales como compra de tierras, construcción de obras de control, dragado, etc. y, si se requiere, hacer diseños de las obras de infraestructura a construir sin que vayan a ser afectadas por los deltas.
10. Establecimiento de fajas protectoras con vegetación natural	Lograr el establecimiento de una cobertura vegetal boscosa alrededor del embalse y las obras principales que permita su protección y duración y que logre mitigar o compensar los impactos que ocasionará el proyecto sobre el recurso forestal. Tal como se indicó en el estudio, estas zonas deben estar disponibles dos años antes del llenado.	Se definirán las acciones o sistemas más adecuados para establecer bosques naturales en las zonas actualmente en pastoreo y para enriquecer o mejorar los rastrojos y bosques existentes. Se incluirán recomendaciones para su manejo.
11. Piscicultura y actividades afines	Darle un manejo adecuado al recurso ictico existente en la zona del proyecto que permita su conservación y enriquecimiento, con el fin de mitigar los impactos que le pueda ocasionar el proyecto y establecer las potencialidades o limitaciones ictiológicas del embalse y los afluentes directos.	Se iniciará con un inventario piscícola y una evaluación limnológica de las corrientes de agua y el embalse que determinen su potencialidad. De acuerdo con los resultados obtenidos, y se las condiciones de calidad lo permiten, se formulará un programa de enriquecimiento y repoblamiento. Simultáneamente se evaluará la conveniencia o no de la conservación de la Tilapia.
12. Tratamientos paisajísticos de los sitios de obra	Mejorar estéticamente los alrededores de los sitios de obra con el propósito de atenuar el deterioro del paisaje ocasionado por las construcciones, los movimientos de tierra y los botaderos de escombros y otros materiales.	Se formularán recomendaciones para la ejecución de obras y acciones que permitan restaurar y mejorar, dentro de lo posible, el paisaje de los sitios de obra y sus alrededores, que deberán ser ejecutadas y tomadas en cuenta por los constructores de las obras, incluyendo: conformación de botaderos, taludes y llenos, recubrimiento con vegetación de diferentes tipos (pastos, arbustos y árboles), etc.

Tabla I. Estudios de Evaluación Ambiental del proyecto hidroeléctrico Porce II. Medidas de mitigación ambiental propuestas.

Nombre	Objetivo	Breve contenido y alcance
13. Control biológico de macrofitas acuáticas en el embalse	Prevenir y controlar por medios biológicos (peces, mamíferos), en caso de ser necesario el desarrollo de malezas acuáticas en el embalse, cuya proliferación pueda afectar la calidad del agua y provocar problemas de operación del embalse y la central.	Inicialmente se determinarán las posibilidades de realizar este tipo de control en el embalse teniendo en cuenta las condiciones de calidad de agua que se tendrán. Posteriormente, y en caso de ser factible, se formulará un programa completo que pueda ser desarrollado en caso de que sea necesario.
14. Control y vigilancia de la caza y la pesca	Conservar el recurso faunístico existente y permitir su enriquecimiento paulatino, sobre todo en las zonas de protección que se conformarán y en las corrientes de agua que drenan directamente al embalse.	Se diseñará una campaña de prevención, control y vigilancia de la caza y la pesca aplicable a los trabajadores del proyecto, a la comunidad residente en la zona y a los visitantes ocasionales, que contenga acciones de tipo educativo, señalización, promoción y vigilancia.
15. Fomento forestal y conservación de zonas boscosas	Permitir el enriquecimiento y la conservación del recurso forestal de los alrededores del proyecto (en las tierras que no van a ser de propiedad de EPM), con el fin de incrementar el área forestal y mejorar el recurso en una zona muy pobre en áreas boscosas.	Se montará una campaña de fomento forestal con especies nativas y exóticas similar a las que se adelantan en otras zonas de EPM. También se diseñará un programa con los propietarios de las tierras tendiente a lograr la conservación de las actuales zonas boscosas, mediante la aplicación de algunas acciones que permitan utilizar los recursos de la Ley 56/81 como: incentivos, colaboración, asistencia técnica, etc. Se incluirá también un programa de control de incendios con participación de la comunidad y la colaboración de EPM.
16. Educación ambiental, comunitaria y turística	Concientizar y sensibilizar a la comunidad residente y visitante a la zona del proyecto en la necesidad y obligación que tienen de participar en la conservación del medio ambiente, lo cual redundará en beneficios para el proyecto. Además se busca mejorar las condiciones de vida de la comunidad enseñándole y promoviendo buenas normas de higiene, seguridad y salud.	Se diseñará un programa educativo con diferentes modalidades y medios de promoción y divulgación para ser desarrollado en la zona del proyecto, que indique: formas de promoción, equipos, personal requerido, etc. Para un mayor logro y alcance se debe lograr la vinculación de diferentes entidades al programa.
17. Estudios de salud pública	Proponer acciones tendientes a prevenir y controlar la aparición y desarrollo de problemas sanitarios y de salubridad que se puedan presentar por la construcción y la operación del proyecto.	De este trabajo ya se han cumplido las fases de recopilación de información, investigación de campo y formulación de soluciones y recomendaciones y la ejecución de algunos programas de educación. Sólo falta por cumplir la fase de ejecución o implementación de las acciones propuestas.

Tabla 1. Estudios de Evaluación Ambiental del proyecto hidroeléctrico Porce II. Medidas de mitigación ambiental propuestas.

Nombre	Objetivo	Breve contenido y alcance
18. Salud y seguridad ocupacional	Establecer unas condiciones óptimas de salubridad y seguridad para los trabajadores del proyecto en todos sus frentes de trabajo especialmente en las obras subterráneas, que reduzcan o eliminen los riesgos de ocurrencia de enfermedades o accidentes de trabajo.	Diseñar, promocionar y aplicar programas de medicina preventiva, de medicina de trabajo e higiene y de seguridad industrial, de carácter obligatorio para los contratistas, que incluyan: campañas educativas, exámenes periódicos, dotación y suministro de elementos y equipos de seguridad, señalización de zonas de riesgo, etc.
19. Estudio de los ecosistemas de humedales (ciénagas)	Identificar y evaluar los probables efectos que puede tener la regulación de caudales y la retención de nutrientes y sedimentos en el embalse sobre los sistemas de ciénagas existentes en la parte baja del río Nechí.	El estudio se realizará para los sistemas de ciénagas influenciadas por el río Nechí o sea entre Dos Bocas y el río Cauca. Inicialmente se hará un trabajo de recopilación y procesamiento de información, luego se hará una investigación sobre una ciénaga típica y por último se analizarán los efectos del proyecto Porce II sobre ellas, tomado éste individualmente y asociado a otros proyectos propuestos en el mismo río y en el Nechí.
20. Usos alternos del embalse y alrededores	Optimizar y racionalizar los beneficios adicionales que puede generar el proyecto en relación con la recreación, el turismo, la investigación, la comunicación regional, etc.	Se adelantará un estudio que identifique y evalúe otros usos alternos del embalse y los alrededores, teniendo en cuenta todos los condicionantes de tipo ambiental y operacional que puedan surgir. Para los usos identificados como posibles, se formulará un programa de factibilidad específico que permita su implementación.
21. Definición de reglas de operación de la central	Establecer unas normas de operación de la central que no creen conflictos con la navegación en la parte baja del río Porce y en el río Nechí, por la probable disminución de caudales, sobre todo en las épocas de verano.	Se hará una revisión, ajuste y actualización de los estudios de caudales realizados para esta zona, con el fin de precisar niveles y períodos críticos del río y su relación con la navegación y de como puede ser afectado esto por la operación del proyecto. También se deberán hacer estudios sobre las características de la navegación (tipo de naves, calado, frecuencia de viajes, etc.). Luego se establecerán los caudales mínimos que debe garantizar el proyecto para no afectar esta situación.
22. Mantenimiento de vías adyacentes al proyecto	Asegurar la operación en condiciones normales de las vías adyacentes al proyecto con el fin de evitar dificultades de transporte y comunicación a las personas y comunidades que las utilizan.	Programar y realizar un mantenimiento permanente de las vías públicas que puedan resultar afectadas por la construcción del proyecto. Así mismo, se deben programar y notificar anticipadamente los cierres temporales.

Tabla 1. Estudios de Evaluación Ambiental del proyecto hidroeléctrico Porce II. Medidas de mitigación ambiental propuestas.

Nombre	Objetivo	Breve contenido y alcance
23. Monitoreo de las condiciones climáticas de la zona	Evaluar posibles cambios en algunas de las variables del clima por efecto de la formación del embalse.	Instalar con suficiente anticipación al llenado del embalse dos estaciones climatológicas que registren las condiciones actuales del clima en la zona, para tener un punto de comparación en el futuro cuando ya esté construido y en funcionamiento el proyecto.
24. Control de roedores no deseables (ratas y ratones)	Prevenir y controlar problemas de salubridad y daños que puedan ser ocasionados por estos animales, los cuales encontrarán unas condiciones favorables para su desarrollo en las orillas del embalse por la acumulación de basuras; desde donde pueden desplazarse a las zonas vecinas (viviendas, cosechas, etc) y ocasionar los problemas indicados.	Identificar y evaluar la posibilidad de desarrollo de dichas especies bajo las condiciones ambientales y de operación que se tendrán en el embalse y formular recomendaciones para su control.
25. Salvamento de fauna durante el llenado del embalse	Salvar el mayor número de animales poco móviles o en peligro de muerte durante el llenado del embalse, para mitigar un poco el impacto del proyecto sobre este recurso.	Conformar un grupo humano y suministrarle el equipo necesario (hotes, redes, nasas, etc.) que se dedique a recolectar y poner a salvo animales en peligro de muerte por la inundación.

TABLA 2. ESTUDIOS DE EVALUACION AMBIENTAL DEL PROYECTO HIDROELECTRICO PORCE II. RESPONSABILIDAD Y PROGRAMACION DE ACTIVIDADES DE MITIGACION PROPUESTAS (continuación)

MEDIDA PROPUESTA	RESPONSABILIDAD		DISEÑO (años)	CONSTRUCCION (años)								OPERACION (años)	
	PLANIFICACION	EJECUCION		1	2	3	4	5	6	7	8		
19. Estudio de los ecosistemas de humedales	UPRN												
20. Usos alternos del embalse y los alrededores	UPRN												
21. Definición y aplicación reglas de operación de la central	DP2-DPE												
22. Mantenimiento vías adyacentes al proyecto	DP2	DP2-Contratista											
23. Monitoreo condiciones climáticas de la zona	DMA	DMA											
24. Control roedores no deseables (ratas y ratones)	DMA	DMA											
25. Salvamento de fauna durante el llenado del embalse		DMA											
26. Plan de seguimiento y control (monitoreo)	UPRN-UPSH	DMA-DPE											
	UPD-DP2												

CONVENCIONES:

————— : Etapa de diseño y planificación de la actividad propuesta
 : Etapa de ejecución y operación de las actividad propuesta

UPRN : Unidad Planeación Recursos Naturales
 UPSH : Unidad Planeación Saneamiento Hídrico
 UPD : Unidad Planeación Desarrollo
 DP2 : División Porce II
 DMA : División Medio Ambiente
 DPE : División Producción Energía
 DSSI : Departamento de Salud y Seguridad Industrial

DATOS IMPORTANTES DEL PROYECTO:

691715/EIAPORCE

Duración de la construcción : 8 años

Llenado del embalse : fin del año 6

Desviación del río : inicio del año 4

**INFORME SC&A 023
CONCEPTO-ESTUDIOS PROYECTO PORCE II**

ANEXO N° 6

**INFORME DEL INGENIERO
GERMAN SILVA FAJARDO**



COMISION NACIONAL DE ENERGIA

INFORME SOBRE LAS ESTRUCTURAS HIDRAULICAS DEL PROYECTO
PORCE II

POR : ING. GERMAN SILVA FAJARDO.

Las estructuras hidráulicas principales que conforman el proyecto PORCE II, están constituidas por la presa, el vertedero, las obras de toma, la descarga de fondo, el túnel de presión, y el túnel de fuga. La presa, será analizada en forma detallada por el Ingeniero Jorge Hancelas, por lo cual, el presente informe se referirá al vertedero, las obras de toma, la descarga del fondo las obras de desviación, la casa de máquinas y los conductos de presión y de fuga.

1. ALCANCE DEL INFORME Y METODOLOGIA.

El presente documento sintetiza la información que nos fue entregada sobre el tema, y con base en el cual se rinde el concepto sobre el cubrimiento y alcance de las investigaciones y los diseños realizados por Empresa Públicas de Medellín y sus consultores, sobre la Central Hidroeléctrica Porce II.

La investigación realizada por el grupo comprendió la revisión de la información suministrada por los Empresas Públicas de Medellín a la Comisión Nacional de Energía, una visita de 3 días a las oficinas de las Empresas Públicas y de Integral S.A., la lectura de algunos informes suministrados por EPM y por Integral, así como la inspección superficial de los planos y documentos de licitación.

El informe contiene una descripción de las características principales de las estructuras, y mi opinión sobre el grado de detalle y alcance de los estudios realizados así como algunos comentarios relacionados con investigaciones que en mi opinión son interesantes de realizar, para despejar incertidumbres sobre algunos aspectos puntuales del diseño de algunas estructuras.

2. COMENTARIOS SOBRE LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS REALIZADOS PARA LAS OBRAS HIDRAULICAS DEL PROYECTO.

Los comentarios sobre el alcance y profundidad de los estudios realizados para las diversas estructuras hidráulicas, son los siguientes :

2.1. OBRAS DE DESVIACION.

Las obras de desviación temporal del río consisten en la construcción de un túnel de desviación de 266 m. de longitud, una preatagüa construida con rocas de gran tamaño, tales que permitan desviar el río, una atagüa de concreto compactado con rodillo y un relleno de material de enrocado que involucra en una sola estructura la atagüa con la preatagüa.

El portal y la estructura de entrada del túnel de desviación se construirá normal a la dirección del río, tiene forma rectangular, dividido en 2 vanos de 5.00 m. de ancho por 6.90 m. de altura, sobre la cual se han previsto las guías para 2 compuertas rectangulares con ruedas, las cuales permitirán el cierre definitivo del conducto. Este conducto inicial en corto trecho se convierte en un túnel de sección en "D" de 5.80 m. de diámetro. Debido a la gran pendiente del río entre el sitio de derivación y el sitio de entrega se ha previsto realizar una estructura inicial de caída mediante la construcción de 2 codos verticales contiguos empalmados entre si por una superficie parabólica, con el fin de que el flujo en el conducto de desviación sea uniforme. La pendiente del conducto a partir de la estructura de caída mencionada es del 2.5%, y el caudal máximo desviado cuando se presente la creciente máxima de diseño de 5 años es de 400 m³/seg.

La entrega se realiza al Río Porce, aguas abajo de la presa, directamente, a flujo libre y sin ninguna estructura de disipación de energía, solamente un canal excavado que entrega diagonalmente en el Río.

Los documentos suministrados y analizados fueron los siguientes :

- Gestión de Financiación : Volumen I - Capítulo II - Estudios Básicos y Descripción de las obras y Equipos. (Numerales 16.5 y 16.7)

Volumen II - Capítulo II - Planos (planos 986- P2-DT-OD-TA (01 a 03) 986- P2-DT-OD-EE- (01 a 03) y 986- P2-DT-OD-ES-ES-01.
- Documentos de Licitación: P2 - Construcción de la presa y obras anexas Volumen II parte 6 - Especificaciones Técnicas.
- Planos para Licitación : 986-P2-EO-66-02.(plano Geológico).

Comentario : El nivel de detalle de los planos de licitación y de las especificaciones técnicas es suficiente y adecuado, acorde con la práctica corriente en este tipo de obras. El túnel de desviación opera como un túnel a flujo libre convencional. Cuando se presenten caudales cercanos al máximo de diseño y el control del flujo se realice aguas arriba en la estructura de entrada, seguramente se presentará una transición entre flujo a presión y flujo libre en alguna parte de la estructura de caída, lo cual puede generar en el agua flujos transitorios u oscilantes, y flujos no permanentes y rápidamente variados de aire.

En el punto de entrega al río, dada las altas velocidades y el probable cambio de régimen torrencial a lento, se pueden generar grandes turbulencias. Dado que en esta zona existe un depósito de coluvión sobre la roca cornubiana, eventualmente se pueden presentar problemas de socavación en la margen derecha.

Favorece el hecho de que esta es una estructura temporal, que solamente operará durante el período de construcción. De todas formas considero que hubiera sido interesante verificar el comportamiento hidráulico del conducto y de la estructura de entrega en un modelo reducido.

2.2. VERTEDERO.

El vertedero es una estructura incorporada en la presa de concreto compactado con rodillo, del tipo vertedero de cresta ancha, controlado con compuertas radiales. Se diseñaron 6 compuertas radiales de 11 metros de ancho por 14.5 m. de altura.

En canal de evacuación es convergente hacia aguas abajo de forma tal que las 2 compuertas centrales tienen un canal rectangular continuo, mientras que las 2 laterales tienen un canal asimétrico. El deflector del salto de Sky, tiene un ángulo de salida de 16° , está ubicado a la cota 872, casi 70 m. por encima del nivel del fondo del río.

Se han previsto ranuras y guías para colocar tableros de cierre en cada uno de los tramos del vertedero, para poder revisar las compuertas radiales o para inspeccionar y reparar la superficie del vertedero.

El caudal de diseño del vertedero es de $9.860 \text{ m}^3/\text{s}$ que corresponde al caudal laminado de evacuación de la creciente máxima probable.

Se ha previsto la construcción de una toma de aire en la abscisa 124.38, coincidiendo con el extremo aguas abajo de las pilas, con el fin de reducir problemas de cavitación cuando la velocidad sobrepase 25 m/s.

Los documentos suministrados y analizados fueron los siguientes :

- Gestión de financiación : Volumen I - Capítulo II - Estudios Básicos y Descripción de las obras y equipos, Numeral 16-8.
Volumen II - Capítulo II - Planos : P2-DT-PV-VE (01 y 02)
- Documentos de Licitación: P2 - 986 Construcción de la presa y obras anexas, Volumen III parte 6 - Especificaciones Técnicas.
- Planos para Licitación : 986-P2-PU-PV (01 y 02)

Comentarios : El tipo, forma y control del vertedero es convencional, existen precedentes en el país de estructuras del tamaño y tipo del seleccionado para Porce II. Sin embargo la forma del canal de evacuación, con canales laterales convergentes puede generar ondas transversales que pueden provocar sobreelevación del flujo por encima del nivel de los muros o perturbaciones en el chorro de salida. Igualmente, el punto de ubicación del deflector a 70 m. de la altura sobre el fondo del río puede afectar sus márgenes aguas abajo, si se presentan vientos cruzados en el cañón.

La ubicación alta deflector implica volúmenes importantes de concreto, localizados en un punto alto y en la cara aguas abajo de la presa, lo cual induce esfuerzos adicionales concentrados en la presa, especialmente durante eventos sísmicos horizontales. No parece a primera vista que una solución con el deflector ubicado en el fondo del cañón, pueda resultar más costosa, y en mi opinión facilita la entrega en el río.

Como durante el año 1993 se realizarán pruebas de esta estructura utilizando un modelo hidráulico reducido, estas incertidumbres seguramente serán resueltas satisfactoriamente, obteniendo así un diseño confiable y seguro.

Los planos de licitación del vertedero inspeccionados, tienen un grado de detalle adecuado para fines de licitación, aunque probablemente deberán ser revisados con base en los resultados obtenidos en el modelo hidráulico reducido.

2.3. DESCARGA DE FONDO.

Se ha previsto construir una descarga de fondo ubicada casi en el nivel 830 m., casi en el fondo del embalse, excavada en la roca del contrafuerte del estribo izquierdo, diseñada para evacuar en un periodo no mayor de 20 días el volumen del embalse cuando se presenten condiciones de flujo promedio en el Río Porce, o de mantener el nivel del embalse por debajo de la cota 900.4, durante el periodo de caudales altos, lo cual garantiza la posibilidad de reparar la estructura de la captación.

La descarga de fondo es un conducto circular de 3.20 m. de diámetro, de 110 m. de longitud aproximada, controlada mediante 2 compuertas, una rectangular deslizante de 3.2 x 2.2 m. y una radial de 2.20 m. de ancho y 2.58 m. de alto. La compuerta rectangular estará permanentemente cerrada y se abrirá totalmente cuando se requiera operar la descarga de fondo; la regulación del caudal de descarga se realizará mediante la compuerta radial.

Se ha previsto además un compuerta auxiliar o de emergencia ubicada aguas arriba, del tipo rectangular con ruedas laterales y frontales, para garantizar su operación en un plano inclinado como es la cara de aguas arriba de la presa. Esta compuerta se operará solamente cuando sea necesario inspeccionar el túnel de descarga o las compuertas principales.

Fueron analizadas 3 alternativas de ubicación de la descarga de fondo a saber :

- En el cuerpo principal de la presa debajo del deflector del vertedero (cota 851).
- En el conducto de desviación.
- En el fondo, excavada en el contrafuerte de la margen izquierda.

Por razones constructivas con miras a eliminar interferencias en la colocación del CCR, para lograr vaciar la casi totalidad del embalse lo cual permite inspeccionar y reparar en caso necesario casi toda la presa y las obras de toma, y adicionalmente por la mayor facilidad de acceso, se seleccionó la alternativa ubicada en el fondo, en el contrafuerte de la margen izquierda.

Los documentos suministrados y analizados fueron los siguientes :

- Gestión de financiación :• Volumen I - Capítulo II - Estudios básicos y Descripción de las obras y equipos, Numeral 16.9.
- Volumen II - Planos 986-P2-DT-PU-DF-01.

- Documentos 7411-01 : Instalación de una descarga de fondo en la presa, análisis de localización.
- No fueron suministrados planos de Licitación de esta estructura.

Comentarios : No fueron suministrados planos de esta estructura. sin embargo, el nivel de detalle probablemente debe ser compatible con el de los demás componentes del proyecto. Analizado el Documento 7411-01, se encuentra que durante la condición de caudales mínimos, el chorro caerá 30 m. aguas abajo de la presa y a 90 m. cuando el embalse está a su máximo nivel, zona en donde se podrá producir socavación de las márgenes del Río Porce.

Como en la margen izquierda aparecen en superficie coluviones, consideramos que hubiera sido interesante verificar el comportamiento de esta estructura mediante un modelo hidráulico reducido, para buscar la menor afectación del estribo izquierdo, por efecto del impacto del chorro.

La cabeza de diseño para la compuerta radial está en los límites de experiencias precedentes, por lo cual será un elemento de especial seguimiento durante los procesos de Interventoría e inspección de fabricación de los equipos hidromecánicos, y durante las pruebas.

2.4. BOCATOMA.

Las obras de captación consisten en una estructura semi-circular adosada a la presa de concreto, en la cual la aducción del agua se realiza radialmente a través de 5 orificios vertederos sumergidos que confluyen en un conducto circular de 7.20 m. de diámetro, casi vertical, adosado y siguiendo la misma inclinación de la cara aguas arriba de la presa IV:01.H, y hasta el nivel de fundación de la misma; allí empalma con un pozo vertical de 25.4 m. de longitud y 7.20 m. de diámetro excavando en la roca. El pozo vertical empalma con un codo vertical de 90° y 11 m. de radio medio, el cual conecta el pozo de aducción con el túnel de carga.

En el codo inferior descrito se ha previsto una trampa de aire, conectada a un ducto de expulsión de 1.50 m. de diámetro que asciende paralelo al pozo de aducción.

Cada orificio de aducción cuenta con una reja vertical de 5.08 m. de ancho por 8.21 de altura, removibles para realizar su limpieza, y una compuerta de tablero plano deslizante de 3.17 x 4.00 m. de altura, las cuales son operadas desde el piso superior de la estructura, mediante una grúa polar.

No se previeron limpiarreas automáticas por considerar que la trampa de basuras, retendrá la gran mayoría de las basuras flotantes transportadas por el Río Porce, y las que pasan esta barrera, dado la longitud del recorrido, 10 km., la mayoría se depositarán en el fondo o se vararán en las orillas del embalse sin llegar a la bocatoma.

Los niveles máximos y mínimos de operación previstos son el 925 y el 911.40, lo cual significa una oscilación máxima de 13,60 m. Los umbrales de los orificios de aducción están ubicados en las cotas 904.40 y 900.40, con lo cual las compuertas y rejas operarán en condiciones corrientes, dentro de los límites de experiencias precedentes.

Los documentos suministrados y analizados sobre la bocatoma son los siguientes :

- Gestión de financiación : Capítulo II - Volumen I - Estudios Básicos y Descripción de las obras y equipos, Numeral 16-10.
Volumen II - Diseño conceptual
Planos 986-P2-DT-CO-CA (01-02)
986-P2-DT-CO-TC (01-02)
- Licitación P2 : Documentos de Licitación
Especificaciones Técnicas.
- Planos de Licitación : 986-P2-CO-CA (01,04)
986-P2-CO-PC - 01

Comentarios : La forma, y características de esta estructura son convencionales, sus dimensiones están comprendidas entre las experiencias precedentes.

Como especial se anota la forma de incorporación y fijación a la estructura de la presa, la cual concentra una carga puntual en la zona superior de la presa que puede generar

esfuerzos adicionales de tracción durante la ocurrencia de sismos horizontales. En el informe "Status of the Dynamic Analysis of Porce II Dams" - Abril 1991, no se encontró referencia alguna sobre el efecto de esta carga puntual.

Teniendo en cuenta la procedencia de las aguas, parece conducente diseñar y especificar equipos automáticos de limpieza de las rejas de toma.

2.5. CONDUCCION.

La conducción está constituida por :

- Un túnel de presión de 4.262 m. de longitud, 7.20 m. de diámetro interno, revestido en concreto simple y en algunos tramos reforzado.
- Un pozo blindado y un túnel entre las abscisas 4226,00 y 4358,51 revestidos en lámina de acero, embebida en concreto y diámetro interno de 5.60 m.
- Un distribuidor de 3 ramales en serie, con diámetro variable entre 5.60 m. y 3.00 m. Los 3 ramales de alimentación de las turbinas tienen un diámetro interno de 3.00 m.

Se ha previsto construir una almenara conectada al túnel de presión en la abscisa 4015.26, la cual está compuesta por un tanque vertical de 15 m. de diámetro y 107 m. de altura, y una conexión con el túnel de presión mediante un pozo vertical de 6.5 m. de diámetro, un codo y un tramo semi horizontal de túnel de 15.45 m.

En el punto de conexión del pozo vertical con la almenara se ha previsto un orificio restrictivo de 3,60 m. de diámetro.

La pendiente general del túnel es del 1.8% hasta el codo y pozo, a partir de los cuales, toma una pendiente del 7%.

El túnel será excavado en su mayoría en rocas intrusivas del batolito Antioqueño y en el tramo final en cornubianas.

Los documentos suministrados y analizados fueron los siguientes :

- Gestión de financiación : Capítulo II - Volumen I -
Estudios Básicos y Descripción
de las obras y equipos-Numeral
17.

Volumen II - Diseño Conceptual
Planos : 986-P2-DT-EI-66
(02-05,07) 986-P2-DT-CO-TC (01
a 10), 986-P2-DT-CO-AL (01 a
04).
- Planos de Licitación : 986-P2-CO-AL (01,06,09,10)
986-P2-CO-TC (05-12-16-17).

No fueron suministrados los pliegos de Licitación de estas obras.

Comentario : Este conducto por su dimensiones, y características, presiones y tipo de geología se puede considerar como convencional, con precedentes similares en el mundo y en Colombia, donde un túnel similar se excavó para la vecina Central Guadalupe IV, en la misma formación intrusiva del batolito Antioqueño. Por estas razones no se esperan problemas especiales durante su construcción y operación.

No encontré en los documentos analizados una explicación clara sobre el porque se diseñó la curva vertical en proximidades de la casa de máquinas. Aparentemente el túnel hubiera podido desplazarse verticalmente alargando el pozo de aducción, para lograr un túnel de pendiente uniforme, lo cual facilitaría en mi opinión una eventual construcción con topo.

Los planos presentan un detalle suficiente para licitación, acorde con la práctica corriente.

2.6. CASA DE MAQUINAS.

La caverna de casa de máquinas aloja las tres unidades generadoras, compuestas por turbinas tipo francis de eje vertical y generadores sincrónicos, la sala de montaje, los transformadores de potencia, el puente-grúa, los servicios auxiliares de la central, las oficinas y los servicios

sanitarios. Tiene 92,10 m. de longitud, 21,3 m. de ancho y 43,0 m. de altura, medidos desde la corona de la bóveda.

Los equipos estarán montados sobre una estructura de concreto reforzado. La sala de montaje está ubicada en el extremo occidental y las unidades generadoras se localizan adyacentes a ésta. El edificio consta de los siguientes niveles : piso de válvulas en la cota 670,60, piso de turbinas en la cota 677,00, piso de generadores en la cota 682,00 y piso principal en la cota 686,50.

- En el piso de válvulas, se alojarán las válvulas esféricas y sus servomotores así como las plantas de tratamiento de aguas negras y potables. Debajo de la sala de montaje estarán instalados los transformadores principales de potencia y el área para el montaje del rotor, con escotillas para izaje de los equipos y los transformadores.
- En el piso de generadores, se ubicarán estos equipos, los de excitación y debajo de la sala de montaje, algunos servicios auxiliares eléctricos.
- En el piso principal se encuentran los tableros de control para la operación de las unidades.

Los documentos suministrados y analizados fueron los siguientes :

- Gestión de financiación, Diseño Conceptual, Capítulo II :
 - Volumen 1 - Estudios Básicos y Descripción de las obras y equipos - Numeral 18.
 - Volumen 2 - Planos 986-P2-DT-CM-OC (01 al 15)
- Planos de Licitación : 986-P2-E00-CM-TA (02 y 64)
986-P2-E00-CM-OC(01,04,08,09,10,15
986-P2-E00-CM-OC(16,27,30,31,33,34
986-P2-E00-CM-OC (37,40,42,65)
986-P2-E00-CM-66 (01-02)

Comentarios : Teniendo en cuenta las dimensiones de la caverna principal de la casa de máquinas, su sección sería una de las más grandes de Colombia, ligeramente más ancha y más alta que la del proyecto Guavio, aunque su longitud es menos de la mitad que la de este proyecto o la del proyecto San Carlos. Sin embargo el tipo y calidad de la roca donde se va a excavar, de acuerdo con las investigaciones geológicas y geotécnicas realizadas, parece ser muy superior a la encontrada en el proyecto Guavio y permite esperar una ejecución sin problemas. Existen experiencias precedentes de casa de máquinas subterráneas excavadas en la geología del batolito Antioqueño como fueron las de Guatepé, Jaguas y Playas o en Gneises como la del proyecto San Carlos. Además en el mundo existen precedentes de cavernas y casas de máquinas similares y mayores.

La galería de exploración que se encuentra en proceso de ejecución y será terminada durante el año próximo, permitirá conocer con precisión las características del bloque geológico donde se excavará la caverna y definir su orientación en debida forma, con lo cual se optimizará el diseño y se despejará cualquier duda e incertidumbre sobre la calidad del bloque donde se implantará.

La disposición interna de la caverna, con los transformadores ubicados al lado de los generadores ya fue ensayada con éxito en el proyecto Playas.

Las previsiones sobre ventilación forzada y aislamiento de la caverna de la almenara aguas abajo, permiten esperar que sean controlados los efectos nocivos de los gases y emanaciones de las aguas negras turbinadas sobre los equipos electrónicos.

Los planos inspeccionados durante la consulta y los suministrados a los consultores muestran un nivel de detalle suficiente para iniciar el proceso de licitación.

2.7. TUNEL DE FUGA Y ALMENARA AGUAS ABAJO.

El conducto de fuga está compuesto por una almenara aguas abajo, la cual está localizada a la salida de los tubos de aspiración de las turbinas, es del tipo simple con sección transversal rectangular. Las dimensiones de esta almenara son : longitud 83 m, ancho 12 m. y de altura 31,45 m.

En el costado de aguas arriba de la almenara se ha previsto instalar compuertas de cierre de los tubos de aspiración, las cuales son operadas por servomotores.

La aireación de la almenara se hará por medio de un sistema de ventilación forzada, utilizando la ventana de construcción del túnel de presión y un túnel de aireación con sección de 3 m. de ancho por 3 m. de altura, con una longitud de 180 m. y pendiente del 10%.

El túnel de descarga se inicia en el extremo oeste de la almenara. El túnel tiene una longitud de 562,34 m. y tiene una pendiente del 4,5%, con descenso en el sentido del flujo.

La sección transversal hidráulica es circular de 7,20 m. de diámetro, revestida en concreto simple en los tramos excavados en roca de buena calidad, y reforzado en los tramos de mala calidad y en la parte final próxima a la intersección con el pozo.

La descarga en el Río Porce se realiza mediante un pozo vertical que empalma con el túnel de descarga en la cota 643,50 mediante un codo de 12 m. de radio, y con la estructura de descarga en la cota 675,00.

La estructura de entrega tiene 43,50 m. de longitud con un tramo inicial de 25,0 m. conformado por una expansión con ancho variable entre 7,20 y 18,20 m. El tramo final, es de 18,20 m. de ancho y dispondrá en el extremo de aguas arriba de un azud de control que garantiza una sumergencia de las turbinas francis.

La estructura empalma con un canal trapezoidal excavado en tierra, con longitud aproximada de 120 m., de los cuales los primeros 30 metros de este canal se protegerán con enrocado, tanto en el fondo como en los taludes.

Los documentos suministrados y analizados fueron los siguientes :

- Gestión de financiación, diseño Conceptual, Capítulo II:
 - Volumen 1 - Estudios Básicos y Descripción de las obras y equipos - Numerales 18-3 y 19.
 - Volumen 2 - Planos : 986-P2-DT-CM-OD (01 a 09)

INFORME SC&A-023
CONCEPTO - ESTUDIOS PROYECTO PORCE II

Comentarios : Las dimensiones y características de esta obra tienen experiencias precedentes, y el material en el cual será excavado es cornubiana, para la cual no se esperan dificultades especiales durante su construcción y operación.

Existe un depósito de terraza y aluvión en la ladera próxima a la estructura de entrega, el cual deberá observarse y monitoriarse para evitar problemas de inestabilidad.

3. ALCANCE DE LOS DISEÑOS Y ESTADO ACTUAL.

El estado actual de los diseños realizados y su alcance se evaluó con base en la información suministrada durante la visita, los documentos y planos que se inspeccionaron superficialmente en las oficinas de Integral, los documentos y planos suministrados por la Empresas Públicas de Medellín, y por Integral S.A. y se complementó con la lista de documentos producidos y entregados por Integral a las EPM.

En los cuadros anexos se presenta para cada estructura hidráulica analizada, si existen o no los documentos básicos de diseño como son :

- Enunciado de alcance
- Diseño conceptual
- Especificaciones y planos de lecturas
- Presupuesto

Se ha diferenciado en el cuadro los documentos que fueron leídos y analizados de aquellos que solamente se conoce su existencia, por estar dentro de la lista de documentos entregados a las EPM por sus consultores.

4. CONCLUSIONES.

- Considero de especial significación el que el proyecto se inicie con todas sus vías de acceso terminadas y pavimentadas, lo cual contribuye muy positivamente al cumplimiento del programa de trabajo y facilita su ejecución.
- La estructura hidráulica más compleja del proyecto, es la presa de concreto compactada con rodillo, la cual es analizada en detalle por el Ing. Jorge Hacelas; sin embargo considero como un gran avance los análisis detallados de mezclas que se vienen realizando con la cooperación de los fabricantes y posibles suministradores de cemento, así como los análisis de esfuerzos dinámicos y térmicos realizados para la presa los cuales permiten reducir de antemano incertidumbre sobre la presa el elemento más complejo de todo el proyecto Porce II.
- El modelo hidráulico reducido del vertedero que se iniciará próximamente, permitirá despejar las dudas sobre flujos y ondas transversales en el canal de evacuación, operando a capacidad máxima, así como la trayectoria y puntos de impacto del chorro cuando se presenten vientos en el cañón. Igualmente el modelo permitiría estudiar la conveniencia de mantener o modificar la ubicación actual del deflector, lo cual contribuirá a eliminar factores de incertidumbre en esta estructura del proyecto.
- La construcción de la galería de inspección a lo largo del túnel de acceso y de la casa de máquinas, y el montaje del laboratorio para realizar los ensayos sobre propiedades geomecánicas de las rocas. Permitirá conocer con precisión las características del bloque geológico, y en consecuencia definir la orientación definitiva de las cavernas.
- Las previsiones sobre ventilación forzada, presurización de la caverna de máquinas, y aislamiento de la almenara aguas abajo permiten tener un razonable optimismo sobre el control de los efectos nocivos que pudiera ocasionar la emisión de gases provenientes de las aguas negras turbinadas.

- Con estas investigaciones en curso, en las obras consideradas como complejas del proyecto se reducen los riesgos e incertidumbres. Cuando todas estas investigaciones estén terminadas a finales del año 1993, el mayor conocimiento del proyecto permitirá aumentar la certidumbre sobre los porcentajes de imprevistos establecidos en los presupuestos de la obra.
- Las dimensiones, características, tipo de formación geológica, equipos, etc. del proyecto son corrientes, con experiencias precedentes exitosas, por lo cual se considera que existe una alta probabilidad de que su ejecución se realice sin contratiempos.
- Se considera que el alcance de los estudios y diseños realizados para el proyecto Porce II son suficientes y adecuados para iniciar el proceso de licitación, acorde con la práctica corriente en este tipo de proyectos. Igualmente se considera como muy bueno el nivel de detalle de los diseños y planos de licitación, lo cual permite esperar que la ejecución del proyecto se realice dentro de los plazos estimados, y que los costos finales resulten, en precios constantes, comparables con los presupuestados, incluyendo los porcentajes de imprevistos esperados.

GERMAN SILVA FAJARDO

ESTADO ACTUAL DE LOS DISEÑOS DEL PROYECTO PORCE II

ESTRUCTURAS HIDRAULICAS PRINCIPALES

LOTE	OBRA	ENUNCIADO DE ALCANCE	DISEÑO CONCEPTUAL	ESPECIFICACIONES PLANOS	PRESENTE
7201	Carreteras de acceso	E	E	X	X
7301	Túnel de desviación	E	N	X	X
7403	Ataguía	E	N	X	X
7404	Vertedero	E	E	X	X
7411	Descarga de fondo	E	X	E	X
7501	Estructuras y pozo de captación.	E	N	X	X
7503	Túnel de carga-Distribución.	E	X	X	X
7504	Almenara Aguas arriba	E	E	X	X
7606	Túnel de fuga y obras descarga.	N	N	X	X
7607	Casa de Máquinas	E	E	X	X
7608	Almenara Aguas abajo	N	N	X	X

CONVENCIONES :

X - Documentos o planos suministrados y/o examinados por los consultores.

E - Documentos relacionados en la lista de Documentos entregados a las Empresas Públicas de Medellín.

N - Documentos sobre los cuales no tuvimos información.

ANEXO N° 7

LISTA DE FUNCIONARIOS
 ENTREVISTADOS



ESTADO ACTUAL DE LOS DISEÑOS DEL PROYECTO PORCE II

ESTRUCTURAS HIDRAULICAS PRINCIPALES

LOTE	OBRA	ENUNCIADO DE ALCANCE	DISEÑO CONCEPTUAL	ESPECIFICACIONES	PRELIMINAR
7201	Carreteras de acceso	E	E	X	X
7201	Túnel de desviación	E	N	X	X
7402	Ataduz	E	N	X	X
7404	Vertedero	E	E	X	X
7411	Descarga de fondo	E	X	E	X
7501	Estructuras y pozos de captación.	E	N	X	X
7502	Túnel de carga-Distribución.	E	X	X	X
7504	Almendra Aguas arriba	E	E	X	X
7606	Túnel de fuga y obras de descarga.	N	N	X	X
7607	Casa de Máquinas	E	E	X	X
7608	Almendra Aguas abajo	N	N	X	X

CONVENCIONES :

X - Documentos o planos suministrados y/o examinados por los consultores.

E - Documentos relacionados en la lista de Documentos entregados a las Empresas Públicas de Medellín.

N - Documentos sobre los cuales no tuvimos información.

A N E X O 7

LISTA DE PERSONAS ENTREVISTADAS :

1. FUNCIONARIOS DE LAS EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN.

DR. DIEGO URIBE	GERENTE GENERAL EPM
DR. JAIME VELEZ	GERENTE DE ENERGIA
DR. LUIS FERNANDO MUNERA	DIRECTOR DE PLANEACION
DR. JORGE ALBERTO GARCIA	DIRECTOR PROYECTO PORCE II
DR. ALBERTO GUTIERREZ	JEFE OBRAS CIVILES
DR. NELSON BRICEÑO	ASISTENTE PROYECTO PORCE II
DR. JAIME PELAEZ	JEFE DPTO. EQUIPOS
ING. HERNAN DARIO RAMIREZ	JEFE RECURSOS NATURALES
ING. JORGE ARBOLEDA	TECNICO PLANEACION - RECURSOS NATURALES
SR. ALVARO SALAZAR	COORDINADOR UNIDAD PLANEACION
SRA. NORA LUCIA VILLEGAS	SECCION ESTUDIOS ECONOMICOS

2. FUNCIONARIOS DE INTEGRAL S.A.

ING. FABIO VILLEGAS
ING. GUSTAVO BARBOTO
ING. GUILLERMO SANCHEZ
ING. CAMILO TEJADA
ING. IVAN DARIO SANCHEZ
ING. ROBERTO VILLARRAGA

Informe SC&A-023concepto estudios proyecto
Porce IISilva Carrero & Asociados Ltda.

333.91415 S586i Ej.1

CATALOGADO POR: HELP FILE LTDA

FECHA

FECHA