

REVISTA ENERGETICA

27

Septiembre - Octubre/82
September - October/82



Organización Latinoamericana de Energía
Latin American Energy Organization

EL DESARROLLO DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO DEL RIO CARONI **olade**
DEVELOPING THE HYDROELECTRIC POTENTIAL OF THE CARONI RIVER **olade**
CARBON, LIGNITO Y TURBA EN BRASIL **olade** COAL, LIGNITE AND PEAT IN BRAZIL
olade CUENCAS SEDIMENTARIAS Y POTENCIAL PETROLERO EN GUATEMALA **olade**
olade SEDIMENTARY BASINS AND THE OIL POTENTIAL OF GUATEMALA **olade**
MOLINOS DE VIENTO PARA BOMBEO DE AGUA **olade** WINDMILLS FOR PUMPING
WATER

EL DESARROLLO DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO DEL RIO CARONI

La urgente necesidad nacional de contar con energía eléctrica en cantidades suficientes para el desarrollo económico y social de Venezuela y que además pudiera generarse a bajo costo y con garantía de provisión a largo plazo, motivó al Estado a investigar las posibilidades de desarrollo hidroeléctrico del río Caroní.

En este sentido la primera central hidroeléctrica construida fue Macagua I, situada muy cerca de la ciudad de Puerto Ordaz que, desde 1960 cuando se concluyó su construcción, tiene una capacidad instalada de 370.000 kilovatios.

Estos proyectos forman parte del Sistema Interconectado Nacional que tiene como objetivo el intercambio de energía entre las principales empresas generadoras del país para superar los déficits en las llamadas horas "pico" o de electricidad mayor demanda y los ocasionados por imprevistos.

El desarrollo hidroeléctrico del río Caroní, y en general de todos los ríos venezolanos con potenciales atractivos, cobra importancia en la medida en que se demuestra el ahorro teórico de barriles de petróleo equivalentes que se hace posible, gracias a la generación de electricidad por medio del agua. Como muestra, la ya mencionada producción de electricidad de Edelca en 1980 los 13.800.000 de kilovatios/hora, generados 42,5 o/o dentro del total nacional fue equivalente a 28.842.000 barriles de petróleo, lo que repre-

sentó un ahorro teórico de 3.720.618.000 bolívares durante ese año, si se toma como referencia un precio ponderado de 129 bolívares por barril de exportación.

Cuando esté terminada la Etapa Final de la Presa de Guri, esa sola central generará el equivalente a 85 millones de barriles al año o casi 233 mil barriles diarios de crudo, lo que teóricamente ahorrará, si se utiliza el mismo precio conservador citado, unos 11.000 millones de bolívares anuales.

La tarea de la empresa de electrificación del Caroní (EDELCA) es la de aprovechar íntegramente el vasto potencial hidroeléctrico del Caroní, y su política es la de promover el agua como fuente alterna de energía en Venezuela, para disminuir el uso de combustibles fósiles en la generación de electricidad, puesto que esos hidrocarburos podrían ser mejor invertidos en la exportación, en la industria petroquímica o sencillamente, dejándolos en el subsuelo como futuras reservas.

EL RIO CARONI

La fuente energética renovable más importante de Venezuela, nace cerca de la frontera con Brasil, y tiene un largo recorrido de sur a norte de aproximadamente 640 kilómetros hasta su desembocadura en el río Orinoco, cerca de Puerto Ordaz, Estado Bolívar.

La parte del río denominado Bajo Caroní, que son los últimos 215 kilómetros de recorrido,

posee un potencial hidroeléctrico de 16.220.000 de kilovatios, característica afortunada y especial que ubica este tramo del río entre uno de los principales del mundo en su género.

Los estudios realizados en la década del 40 y durante la primera mitad de la del 50 confirmaron las apreciaciones iniciales sobre el potencial hidroeléctrico del río Caroní y desde entonces se pensó firmemente en desarrollarlo con fines energéticos, idea cuya realización ha posibilitado la creación del emporio industrial de Guayana, en el Estado Bolívar.

Las características del río Caroní pueden resumirse así:

a) Posee una gran hoya hidrográfica que cubre aproximadamente 94.500 kilómetros cuadrados, de los cuales 47.000 corresponden al denominado Alto Caroní desde su nacimiento hasta la confluencia con La Paragua; 32.500 kilómetros cuadrados a la hoya de este último río y 15.000 kilómetros cuadrados al llamado Bajo Caroní, entre su unión con La Paragua y su desembocadura con el Orinoco.

b) Cuenta con una gran precipitación media anual en la hoya, que de acuerdo con los registros históricos alcanza a 2.561 milímetros al año.

c) Tiene un importante desnivel estimado en 912 metros desde su cabecera hasta su desembocadura en el río Orinoco, con una pendiente de 1,43 metros por kilómetro de recorrido. En la sección de mayor potencial hidroeléctrico, la correspondiente al Bajo Caroní, hay un desnivel de 240 metros en 215 kilómetros, es decir que la pendiente es de 1,12 metros por kilómetro de recorrido.

d) El río tiene numerosas caídas y raudales naturales a lo largo de su curso entre los que se

destacan Merecual, Merecotos, Morocure, Necuima, Cocuiza, Arimagua, Salto del Diablo, Tocomá, Caruachi y Macagua.

e) Cuenta con varios sitios favorables para la construcción de presas, entre los cuales se destacan Guri, Macagua, Tocomá y Caruachi en el Bajo Caroní; y en el Alto Caroní, los sitios de Tayucay, Aripichí, Eutobarima y Carroa.

f) El área drenada por el río está ocupada por un extenso bosque selvático de aproximadamente 62.500 kilómetros cuadrados de extensión, lo que garantiza un caudal natural regular durante todo el año.

g) El río corre por un excelente lecho de roca "gneiss granítico" que lo hace apto para las grandes construcciones de las presas.

h) Existen grandes depósitos de roca, arena y arcilla útiles para la construcción en las cercanías de los sitios de la presa.

i) Para la utilización de la tierra y del agua de la zona, prácticamente no existen restricciones, debido a la escasa población y al escaso desarrollo de la actividad agrícola.

PROYECTOS FUTUROS DE DESARROLLO DEL RIO CARONI

Ya han sido estudiados los posibles sitios de presa existentes en el Bajo Caroní y en las cuencas altas de los ríos Caroní y La Paragua. Los resultados y adelantos de tales investigaciones se ofrecen a continuación:

a) EN EL BAJO CARONI

Los llamados proyectos intermedios del río Caroní tienen como objetivo el desarrollo del potencial hidroeléctrico existente entre los actuales

embalses de Guri y Macagua y consisten fundamentalmente en la construcción de presas en los sitios Macagua II, Caruachi y Tocoma, entre las cuales se podrá alcanzar en conjunto una capacidad instalada total de 6.985.000 kilovatios, los cuales, sumados a los kilovatios que ya estarán instalados en Guri y en Macagua I, totalizarán más de 16.000.000 de kilovatios.

La secuencia en la construcción de estos aprovechamientos será Macagua II, Caruachi y Tocoma. Se calcula que la construcción de Macagua II tardaría seis años y se podría obtener energía de sus primeras unidades al cabo de los primeros cinco. Para los proyectos de Caruachi y Tocoma se requeriría aproximadamente un plazo de construcción de ocho años y sus primeras unidades podrían empezar a generar al final de los primeros seis.

Las características principales de estos proyectos intermedios son:

MACAGUA II

Aproximadamente a unos 18 kilómetros por carretera de Puerto Ordaz en el Estado Bolívar y al lado de la actual presa de Macagua I se construirá otra casa de máquinas con trece unidades y una capacidad instalada de 2.300.000 kilovatios en su desarrollo; se le adicionarán tres unidades más para generar una potencia de 2.570.000 kilovatios.

El área máxima de embalse será de 58 kilómetros cuadrados, y el nivel del agua estará a cota 54,5. Esta presa resulta ser la más económica de los proyectos intermedios y por eso se le dará prioridad.

CARUACHI

Cerca del paso de Caruachi y a 43 kilómetros de distancia aguas abajo de la presa hidroeléctrica

de Guri se encuentra el sitio de Caruachi, donde se construirá una presa y una casa de máquinas con dieciocho unidades para generar 2.660.000 kilovatios. El nivel de embalse estará aproximadamente a una cota de 96 metros y el área máxima afectada por este será de 427 kilómetros cuadrados.

TOCOMA

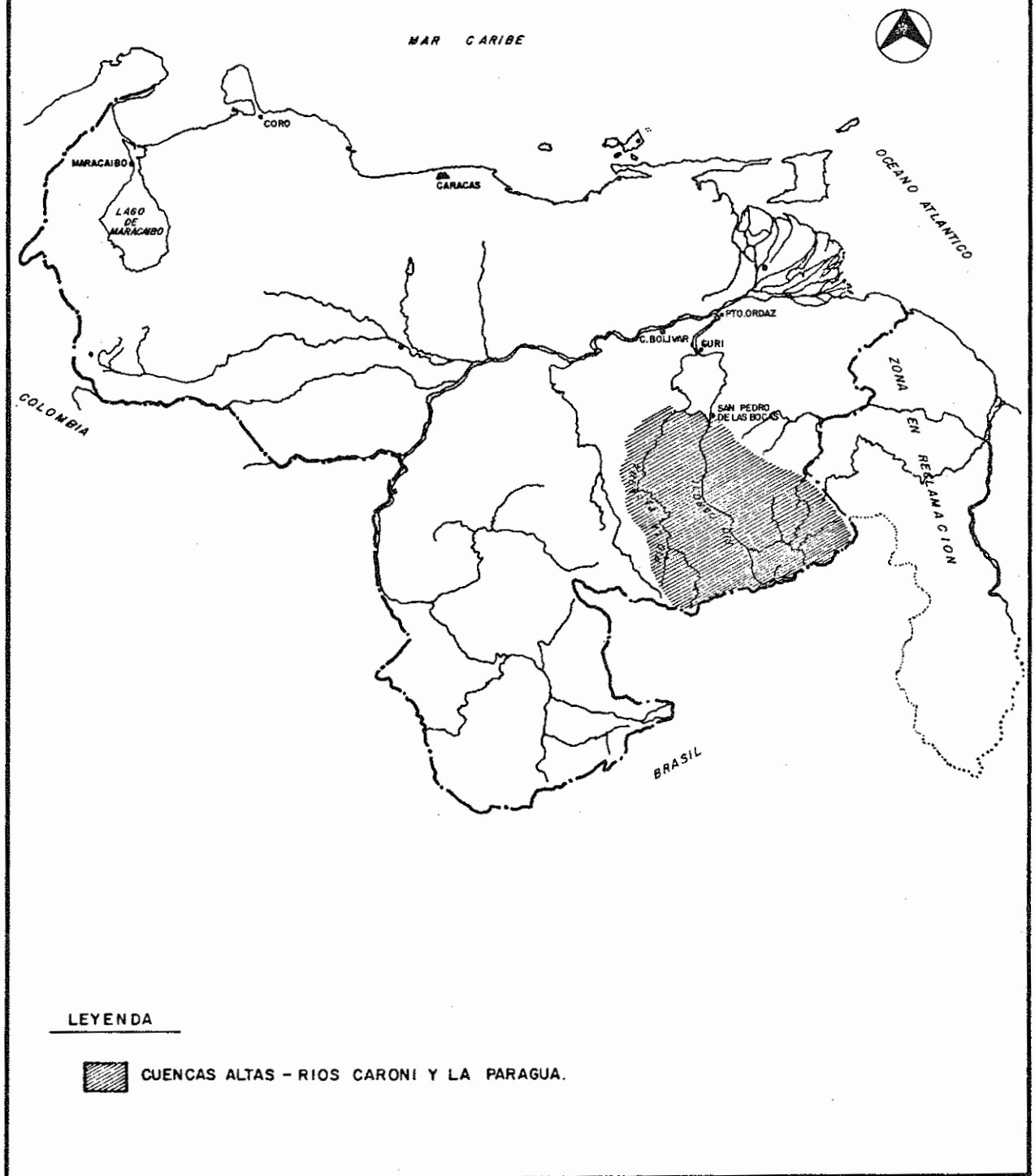
El sitio de Tocoma queda a unos 9 kilómetros de distancia aguas abajo de Guri. Se caracteriza por tener muchos islotes por lo que para embalsar el agua será necesario construir cuatro tapones. La casa de máquinas tendrá nueve unidades de generación en su desarrollo inicial y tres más en el final. La potencia instalada en su primera etapa será de 1.320.000 kilovatios y en la segunda se le sumarán 435.000 kilovatios para un total de 1.755.000 kilovatios. La cota del espejo de agua estará aproximadamente a 125 metros sobre el nivel del mar, y la superficie máxima del área afectada por el embalse será de 88 kilómetros cuadrados.

LAS CUENCAS ALTAS DEL CARONÍ Y LA PARAGUA

El inventario del potencial hidroeléctrico realizado en las cuencas altas de los ríos Caroní y La Paragua arroja como resultado la selección de seis sitios aprovechables cuya potencia instalable total sería de unos 8.900.000 kilovatios. El aprovechamiento hidroeléctrico de estas cuencas constituye los proyectos futuros de desarrollo del río Caroní, que están antecedidos por los proyectos intermedios del Bajo Caroní y por Guri, que es el proyecto en ejecución, los cuales, por razones económicas y prácticas, son prioritarios.

El área ocupada por estas cuencas se ubica políticamente en los distritos Heres, Piar y Roscio del Estado Bolívar y cubre una superficie total de 84.489 kilómetros cuadrados. (Ver gráfico anexo). Su relieve se caracteriza por tener frecuen-

UBICACION DE LAS CUENCAS ALTAS DE LOS RIOS CARONI Y LA PARAGUA



tes desniveles respecto a los valles circundantes, donde la vegetación es baja y generalmente densa. El clima es templado en las formaciones montañosas y tepuyes en la Gran Sabana, pero el predominante en la cuenca es el clima lluvioso cálido.

Los centros poblados que existen en el área están constituidos por campamentos misioneros, indígenas y mineros.

Las posibilidades de desarrollos agrarios fueron descartadas debido al bajo contenido de nutrientes en el suelo, que como máximo, según un estudio realizado por el Instituto Agrario Nacional en 1971, sirven para permitir una economía de subsistencia.

APROVECHAMIENTOS SELECCIONADOS EN EL ALTO CARONI Y LA PARAGUA

Del total de los 34 sitios de posible aprovechamiento incluidos en el inventario, fueron descartados 28 y seleccionados los siguientes: en la subcuenca del Caroní, los sitios escogidos fueron Tayucay, Aripichí, Eutobarima, Carrao No. 1 y Carrao No. 2, y en la subcuenca de La Paragua se seleccionó el sitio de Tonoro.

Una consecuencia importante del desarrollo de estos sitios sería la regulación del caudal que entra a Guri, que hasta entonces sería natural como lo es actualmente. Es decir, que debido a que los futuros embalses estarán situados en el Alto Caroní, los aportes de agua serían regulados a partir de estos aprovechamientos, lo cual aumentaría aproximadamente en un 10 o/o la energía generada en Guri para ese momento.

La construcción de los embalses seleccionados inundaría una extensión de aproximadamente 5.700 kilómetros cuadrados, que constituyen el 6,8 o/o del total de las cuencas de los ríos Caroní y

La Paragua aguas arriba de San Pedro de Las Bocas, por lo tanto, su impacto ambiental deberá ser evaluado paralelo a la etapa de prefactibilidad.

DESCRIPCION DEL PROYECTO DE LA CENTRAL HIDROELECTRICA "RAUL LEONI"

El sitio de Guri, donde se está llevando a cabo el proyecto de la presa "Raúl Leoni", está localizado a unos 90 kilómetros aguas arriba de la confluencia del Caroní con el Orinoco en Ciudad Guayana. La ejecución total de este proyecto hará posible regular hasta un 95 o/o del caudal anual del río en beneficio de Macagua I y de las futuras centrales Macagua II, Caruachi y Tocomá que serán los próximos aprovechamientos del Bajo Caroní.

Para poder construir la central hidroeléctrica "Raúl Leoni" fue necesario represar las aguas del río Caroní en el sitio de Guri, embalse que dio origen a un lago de 800 kilómetros cuadrados. Cuando se produjo la inundación por causa del represamiento, se realizó la llamada "Operación Rescate" mediante la cual fueron rescatadas de la zona más de 18.000 animales y una apreciable cantidad de valiosos petroglifos.

Plan Inicial de Desarrollo

Originalmente el Proyecto de Guri fue concebido para construirlo en tres etapas sucesivas, que eran las siguientes:

Primera Etapa: Con este nombre se designó al proyecto de la Presa actualmente en funcionamiento, que tiene una cota de 215 metros y una casa de máquinas que alberga 10 unidades generadoras. Comenzó a construirse en noviembre de 1968 y quedó totalmente en servicio a finales de 1977. La capacidad instalada en esa primera

etapa es la misma que ahora posee, 2.565.000 kilovatios.

Segunda Etapa: Se llamaba de esta manera a la fase de desarrollo del proyecto según la cual se pensaba elevar el nivel del embalse 20 metros más hasta llevarlo a la cota 235. También en esta segunda etapa se proyectaba instalar seis unidades generadoras en una segunda casa de máquinas, con lo que se añadirían 2.200.000 kilovatios.

Tercera Etapa: Sería la última fase del proyecto. Se trazaba como objetivo realzar la presa hasta la cota 265 y adicionar otras ocho unidades generadoras en la Segunda Casa de Máquinas, para completar un total de 6.500.000 kilovatios instalados en Guri.

EL PROYECTO ACTUAL: LA ETAPA FINAL

El Proyecto tal como está concebido actualmente, es diferente al inicial y consiste en el desarrollo continuo de la segunda y tercera etapas previstas anteriormente, con ciertos ajustes en cuanto al nivel del embalse y al tamaño, capacidad y número de unidades.

Razones como el aumento de los precios del petróleo, la conciencia clara de las necesidades energéticas del país y los adelantos tecnológicos ocurridos, modificaron varias pautas del proyecto original, como la elevación de la cota y la potencia de las unidades hidrogeneradoras. La cota máxima del embalse prevista en un principio, decidió elevarse 7 metros más para llevarla a los 270 metros con el fin de generar en el sitio la mayor cantidad posible de energía. Asimismo, las unidades seleccionadas en aquel entonces tenían una capacidad no mayor de 450.000 kilovatios cada una. Ahora, en el proyecto de la Etapa Final está previsto instalar generadores de 700.000 kilovatios de potencia, cambios estos con los cuales

se logrará aumentar la capacidad de generación de Guri aproximadamente hasta unos 10.000.000 kilovatios.

En general, el Proyecto Guri-Etapa Final consiste en:

- a) Realzar la Presa de Gravedad Principal y el Aliviadero existentes hasta la cota 272.
- b) Construir dos nuevas presas de gravedad a la margen derecha e izquierda del río.
- c) Construir una nueva casa de diez máquinas al pie de la nueva Presa de Gravedad, situada en la margen derecha del río.
- d) Construir dos Presas de Tierra y Enrocamiento en los estribos de las Presas de Gravedad.
- e) Construir diques en la margen derecha e izquierda del embalse.

Se calcula que entre todas las estructuras de concreto de la Etapa Final serán colocados unos 6.600.000 metros cúbicos de concreto.

Las compuertas de toma de las unidades 1, 2 y 3 de la primera casa de máquinas serán modificadas para soportar la carga adicional impuesta por los nuevos niveles del embalse y todos los mecanismos de operación de las compuertas serán reubicados para que la construcción de la Etapa Final no interfiera en el funcionamiento de las 10 unidades ya instaladas.

Una vez que todas las estructuras del embalse y control de agua hayan alcanzado el nivel actual de la presa, podrá procederse a la remoción de la Presa de Enrocamiento existente hasta el nivel inferior de las nuevas tomas.

Obras Preliminares

La importancia del proyecto, la magnitud y corto plazo de ejecución de las obras y las necesidades del sitio derivados de su ubicación, obligaron a planificar y subsecuentemente construir una serie de obras preliminares dedicadas a prestar servicio al proyecto durante su ejecución y servir de vías de acceso de mano de obra y suministro de materiales. También se ha juzgado necesario adquirir y montar aquellos equipos y plantas de construcción que requieren extensos plazos de tiempo para entrar en condiciones de operación, tales como una planta de producción de agregados con una capacidad de 2.700 toneladas métricas por hora; una planta de producción de concreto con una capacidad de 500 metros cúbicos por hora; una planta de producción de hielo de 540 toneladas por día para enfriamiento de concreto; y el viaducto de construcción que es una estructura metálica de 11.000 toneladas de acero con un ancho de 14 metros y una longitud de 1.600 metros, por donde se desplazan los trenes que transportan el concreto y 8 grandes grúas para el vaciado.

Se consideró conveniente la construcción de carreteras que, en lo posible, dentro del plan de vialidad regional, enlazaran más directamente los centros poblados de Guayana —como Ciudad Bolívar, Puerto Ordaz y Upata— con Guri. También se efectuó la construcción de accesos temporales y permanentes dentro del sitio, debido a que una vez comenzados los trabajos se perderían los accesos existentes sobre la Presa y las nuevas áreas de construcción.

Además, se requería ampliar las instalaciones y los servicios para dar facilidades a un personal que se estima actualmente cercano a las 20.000 personas. Para ello se construyeron nuevos campamentos para trabajadores y contratistas que en el futuro podrán ser punto de partida de un centro turístico.

Casa de Máquinas No. 2

La nueva Casa de Máquinas, construcción que servirá de albergue a los equipos generadores, tendrá 58 metros de ancho por 280 metros de largo, y en su interior estarán ubicadas 10 unidades, exactamente aguas abajo de la Presa de Gravedad Principal, al este de la Casa de Máquinas existente.

Los vanos para la ubicación de los generadores están aguas abajo de los monolitos 1, 2 y 3 y desde el No. 22 hasta el No. 28. Las galerías para los canales de ventilación, cables y módulos de interruptores están ubicados en la sección inferior de la estructura. Las extensiones verticales de las vigas del techo sirven como sostén de las líneas de transmisión que salen al Patio de Distribución.

La mayoría de las instalaciones de servicio están ubicadas en la nave de montaje que a su vez se divide en dos áreas: la sala de generadores o sección aguas arriba y la sección aguas abajo. La sección aguas arriba se destinará para la estación de bombeo, almacenamiento e instalaciones de purificación de aceite, compresores de aire, estación de baterías, taller y almacén eléctrico, taller mecánico, área de construcción y área de descarga. La sección aguas abajo consta de cuatro pisos e incluye la toma de aire, planta de tratamiento de aguas negras, galería para extensión de cables, oficinas e instalaciones.

Realzamiento del Aliviadero:

El aliviadero actual, que tiene un ancho total de 183,76 metros, está dividido en tres canales, característica que le permite ser realzado progresivamente mediante un adecuado programa de construcción, manteniendo siempre dos canales en operación. La capacidad máxima de descarga de cada canal del aliviadero es de 31.000 metros cúbicos por segundo y la creciente máxima probable establecida del río con un pico de 48.100 m³/seg.

y un volumen en 23 días de 45.400 millones de metros cúbicos, con lo que se garantiza el regular mantenimiento del nivel del embalse, conveniente a los trabajos de construcción.

Cada canal del aliviadero tiene tres "vanos" de 15,24 metros de abertura, y cada vano está equipado con compuertas radiales idénticas de 20,76 metros de altura que son operadas eléctricamente y se abren o cierran de acuerdo a las necesidades de operación del embalse.

El realzamiento de esta estructura se efectuará por etapas: primero se levantarán los muros y las pilas y, sobre estas bases posteriormente serán reubicados los mecanismos de operación de las compuertas.

Otros aspectos del Proyecto

A la salida de las tuberías de la segunda Casa de Máquinas y a la derecha del Canal de Descarga existente, se excavará el Canal de Descarga No. 2, cuyo volumen de excavación en roca será de aproximadamente 15.610.000 metros cúbicos.

Para la segunda Casa de Máquinas se ha previsto un Canal de Descarga separado del primero y ubicado en el lecho seco del río a la derecha del Canal de Descarga existente, al cual se unirá aproximadamente a 2.500 metros aguas abajo de su origen.

El nuevo Canal de Descarga está diseñado para proporcionar, en condiciones operativas de pico, el máximo nivel del agua aprovechable sin intensificar con el nivel de la primera Casa de Máquinas. El suelo, a lo largo de la ruta del canal, está construido por una alta capa de gneiss que alcanza la superficie exterior por lo que la mayoría de las excavaciones son realizadas en roca.

En los estribos derecho e izquierdo del sitio de la Presa, se requiere construir grandes presas con material de relleno, las cuales para unir las con las presas de concreto necesitarán una sección de enrocamiento. Es importante ejecutar una excavación considerable para establecer la fundación adecuada de estas estructuras, la cual será preparada, inyectada y drenada dependiendo de la geología del subsuelo y de la topografía de la zona.

El Patio de Distribución actual está ubicado en la margen izquierda del Canal de Descarga No. 1 y para alojar las instalaciones de los circuitos de interconexión entre las nuevas unidades y las Líneas de Transmisión, se ha previsto ampliar el Patio de Distribución aproximadamente 300 metros aguas abajo del patio existente.

DATOS SIGNIFICATIVOS DEL PROYECTO GURI

Embalse	1a. Etapa		Etapa Final	
Area de la Cuenca	85.000	Km ²	85.000	Km ²
Nivel mínimo de operación	195	m	240	m
Nivel normal máximo	215	m	270	m
Nivel máximo de creciente	219,50	m	271,60	m
Area a nivel normal máximo	765	Km ²	4.260	Km ²
Volumen a nivel normal	17.700	MMC	135.000	MMC
Volumen a nivel mínimo	5.900	MMC	5.900	MMC

PRESA DE CONCRETO

Tipo de Presa	Gravedad		Gravedad	
Nivel de la carretera	220	m	272	m
Nivel del parapeto	220,91	m	273,30	m
Altura desde la fundación	110	m	162	m
Altura desde el lecho del río	100	m	152	m
Longitud de la presa de grav. derecha	493	m	996	m
Longitud de la presa de grav. izquierda	179	m	164	m
Pendiente nominal aguas abajo	0,75	H: IV	0,75	H: IV
Ancho de la cresta presa grav. derecha	2,50	m a 16,25 m	2,50	m a 21,00 m
Ancho de la presa de gravedad izquierda	3	m	11,45	m
Profundidad máxima cortina de inyección	75	m	100	m
Volumen de concreto	1.127.000	m ³	5.325.000	m ³

Aliviadero

Tipo	Ojiva		Ojiva	
Tipo de Compuertas	Radiales		Radiales	
Nivel de la Cresta	195,2	m	250,20	m
Tamaño de las compuertas	15,24 x 20,76	m	1524 x 20,76	m
Capacidad de carga normal	28.000	m ³ /seg.	28.000	m ³ /seg.
Capacidad máxima	40.000	m ³ /seg.	33.000	m ³ /seg.
Volumen de concreto	327.000	m ³	746.000	m ³

PRESA DE TIERRA Y ENROCAMIENTO DERECHA

	1a. Etapa		Etapa Final	
Longitud de la cresta	220	m	3.944	m
Altura máxima desde la fundación	90	m	110	m
Nivel de la cresta	221,30	m	277	m
Ancho de la cresta	12	m	11	m
Pendiente aguas arriba	2,50	H: IV	3	H: IV
Pendiente aguas abajo	1,75	H: IV	2,50	H: IV
Volumen total	2.089.000	m ³	45.000.000	m ³

PRESA DE TIERRA Y ENROCAMIENTO IZQUIERDA

	1a. Etapa		Etapa Final	
Longitud de la cresta	---		2.000	m
Altura máxima desde la fundación	---		90	m
Nivel de la cresta	---		276	m
Ancho de la cresta	---		11	m
Pendiente aguas arriba	---		3	H: IV
Pendiente aguas abajo	---		2,50	H: IV
Volumen total	---		18.000.000	m ³



CASA DE MAQUINAS No. 1

Número de unidades	10		----
Separación entre las unidades	23	m	----
Excavación	638.000	m ³	----
Concreto	240.300	m ³	----
Turbina tipo	Francis		----

Capacidad nominal Turbinas		
Unidades 1 a 3	180,2	MW
Unidades 4 a 6	223	MW
Unidad 7	340	MW
Unidades 8 a 10	370	MW

Capacidad nominal Generadores		
Unidades 1 a 3	185	MVA
Unidades 4 a 6	230	MVA
Unidades 7 a 10	360	MVA

Factor de Potencia	
Unidades 1 a 6	0.95
Unidades 7 a 10	0.90

Capacidad de transformadores (1 y 2)	203.500	KVA
Capacidad de transformador (3)	212.000	KVA
Capacidad de transformadores (4 y 6)	265.000	KVA
Capacidad de transformador (5)	255.000	KVA
Capacidad de transformadores (7 a 10)	420.000	KVA

CASA DE MAQUINAS No. 2

Número de unidades	----	10	
Separación entre las unidades	----	28	m
Excavación	----	1.006.000	m ³
Concreto	----	614.000	m ³
Turbinas tipo	----	Francis Vertical	
Capacidad nominal Turbinas	----	610	MW
Capacidad nominal generadores	----	700	MVA
Factor de Potencia	----	0,90	
Capacidad de Transformadores (11 a 20)	----	805,50	MVA

GRUAS DE LAS CASAS DE MAQUINAS	1a. Etapa	Etapa Final
Número	1	2
Polipastos	2	4
Capacidad del gancho	325 TM	375 TM
Capacidad total	650 TM	1.500 TM
Fabricante	Nippon, Japón	Hitachi, LTD

TURBINAS FORZADAS CASA DE MAQUINAS No. 1

Material	----	ASTM-A516 Gr 70
Número	----	10
Diámetro (13 y 14)	----	10,5 m a 8,48 m
Diámetro (11, 12, 15 a 20)	----	11,4 m a 8,48 m
Espesor plancha (11 a 20)	----	30 mm a 58 mm
Peso de cada tubería (13 y 14)	----	1.544 TM
Peso de cada tubería (11, 12, 15 a 20)	----	1.776 TM

CANAL DE DESCARGA No. 1

Longitud	1.500	m	----
Ancho del fondo	70	m	----
Volumen de excavación	2.350.000	m ³	----

CANAL DE DESCARGA No. 2

Longitud	----	2.637	m
Ancho de Fondo		180	m
Volumen de Excavación	----	15.610.000	m ³

DIQUES MARGINALES

Longitud de la cresta		32.000	m
Altura máxima desde la fundación		45	m
Nivel de la cresta		275	m
Ancho de la cresta		7	m
Pendiente aguas arriba		3	H = IV
Pendiente aguas abajo		2,5	H = IV
Volumen total		13.000.000	m ³

RESUMEN DEL CONTRATO DE CONSTRUCCION

	1a. Etapa		Etapa Final	
Excavación total	3.130.000	m ³	16.616.000	m ³
Presas de tierra y enrocamiento	2.089.000	m ³	76.000.000	m ³



DEVELOPING THE HYDROELECTRIC POTENTIAL OF THE CARONI RIVER

The urgent need to provide Venezuela with a guaranteed long-term supply of low-cost electricity, for national socioeconomic development, motivated the State to investigate the possibilities for developing the hydro power potential of the Caroní River.

The first hydro power station built was Macagua I, located near the city of Puerto Ordaz, in the state of Bolívar. Since 1966, when construction was completed, it has had an installed capacity of 370,000 kilowatts.

Later began the construction of a second hydroelectric plant: the Guri Dam, located in the Necuima Canyon, 100 kilometers from Macagua. The "Raúl Leoni" Hydro Power Station of Guri has an installed capacity of 2,565,000 kilowatts. Its final stage is currently underway, i.e., its expansion and elevation, and the incorporation of 10 new generator units. With these changes, its rated (nominal) capacity will be 8,865,000 kilowatts, ready for 1986.

This project forms part of the National Interconnected System (OPSIS), whose objective is to exchange energy among the country's major power companies, in order to overcome deficits in the so-called "peak-demand" hours or deficits caused by unforeseen circumstances.

The hydroelectric development of the Caroní River and, generally, of all the rivers of Venezuela with attractive potentials, gains importance in

light of the theoretical savings in terms of barrels of oil equivalent, which becomes possible thanks to water-based electricity generation. In the year 1980, 13,800,000 kWh were generated: 42.5 o/o of the national total and equivalent to 28,842,000 barrels of oil. This output represented a theoretical savings of 3,720,618,000 bolívares* during that year, if we take a reference price of 129 bolívares per exported barrel of oil.

When the final stage of the Guri Dam has been concluded, this station alone will generate the equivalent of 85 million barrels a year, or nearly 233,000 barrels of oil per day. In theory, if the same conservative figure is used, some 11 billion bolívares will be saved annually.

The task of the Caroní Electrification Company (EDELCA) is to tap all of the vast hydroelectric potential of the Caroní; and its policy is to promote water as an alternative source of energy in Venezuela, in order to reduce the use of fossil fuels for electricity generation purposes, since hydrocarbons could be better invested in exports or in the petrochemical industry, or could simply be left in the ground as future reserves.

The Caroní River

The most important renewable energy source of Venezuela emerges near the border with Brazil

* 1 US\$ = 4.3 bolívares

and runs north-to-south for approximately 640 kilometers until it empties into the Orinoco River, near Puerto Ordaz, in the state of Bolívar.

The part of the river known as the Lower Caroní, which embraces the last 215 kilometers of this waterway's full length, has a hydro power potential of 16,220,000 kilowatts. This is a very fortunate circumstance and places this section among the main rivers of its kind in all the world.

The studies conducted during the 1940's and the first half of the 1950's confirmed initial estimates of the river's hydroelectric potential, and this gave rise to a firm intention to develop it for energy purposes.

In making this idea a reality, the industrial complex of Guayana was created in the state of Bolívar.

The features of the Caroní River can be summarized as follows:

a) It has a large hydrographic basin which covers approximately 94,500 square kilometers, of which 47,000 correspond to the Upper Caroní, from the source of the river to where it merges with the Paragua; 32,500 square kilometers to the basin of the Paragua; and 15,000 square kilometers to the Lower Caroní, between its union with the Paragua and the place where it empties into the Orinoco.

b) It can count on a large average annual rainfall, which, according to historical records, amounts to 2,651 millimeters per year.

c) It has an important difference in elevation, estimated at 912 meters, from the source to where it empties into the Orinoco, with a slope of 1.43 meters per kilometer of length. In the section

having the greatest hydroelectric potential (that corresponding to the Lower Caroní there is a split-level elevation dropping from 240 meters to 215 meters, i.e., the slope is 1.12 meters per kilometer of length.

d) The river has numerous falls and natural heads along the watercourse, among which the following are notable: Mercual, Merecotos, Morocure, Necuima, Cocuiza, Arimagua, Salto del Diablo (Devil Falls), Tocoma, Caruachi and Macagua.

e) It has several sites favorable for the construction of dams, including Guri, Macagua, Tocoma, and Caruachi, on the Lower Caroní; and Tayucay, Aripichí, Eutobarima, and Carrao, on the Upper Caroní.

f) The drainage area of the river is occupied by an extensive jungle rain forest, of some 62,500 square kilometers; and this guarantees a regular natural waterflow throughout the year.

g) The river runs along an excellent bed formed by granitic gneiss rocks, and this makes it suitable for the construction of dams.

h) There are large rock, sand, and mud/clay deposits which are useful for construction near the dam sites.

i) There are almost no restrictions for the use of the land and water in this area, due to the sparse populations and the slight development of agricultural activities.

Future Development Projects for the Caroní River

Possible dam sites have been studied on the Lower Caroní River and in the high basins of the Caroní and Paragua Rivers. The results or advances of these investigations are detailed briefly below:

a) On the Lower Caroní

The so-called "intermediate" projects of the Caroní River are aimed at developing the hydroelectric potential existing between the Guri and Macagua dams; and they basically consist of constructions at the sites Macagua II, Caruachi, and Tocoma, which together will be able to generate a total of 6,985,000 kilowatts. This capacity, when added to that already installed at Guri and Macagua I, will amount to more than 16,000,000 kilowatts.

The construction sequence for these dams will be as follows: Macagua II, Caruachi, and Tocoma. It is calculated that the Macagua II construction will take six years, and that energy will be obtained from the first units at the end of the fifth year. For the Caruachi and Tocoma projects, a construction period of some eight years will be required; but its first six units will be able to start generating electricity after six years.

The main features of these intermediate projects are listed below:

Macagua II

Approximately 18 kilometers, by highway, from Puerto Ordaz, in the state of Bolívar, and alongside the dam Macagua I, another powerhouse will be built, with thirteen units and an installed capacity of 2,300,000 kilowatts, during development, and an additional three units later, to generate a power output of 2,570,000 kilowatts.

The maximum reservoir area will be 58 kilometers, and the head will reach a height of 54.5 meters. This dam should prove to be the most economical of the intermediate projects; and for that reason, it has been given priority.

Caruachi

Near the Caruachi Pass, 43 kilometers downriver from the Guri Hydroelectric Dam, we find the site of Caruachi, where a dam and 18-unit powerhouse will be built to generate 2,660,000 kilowatts. The reservoir level will be approximately 96 meters, and the maximum area affected will total 427 square kilometers.

Tocoma

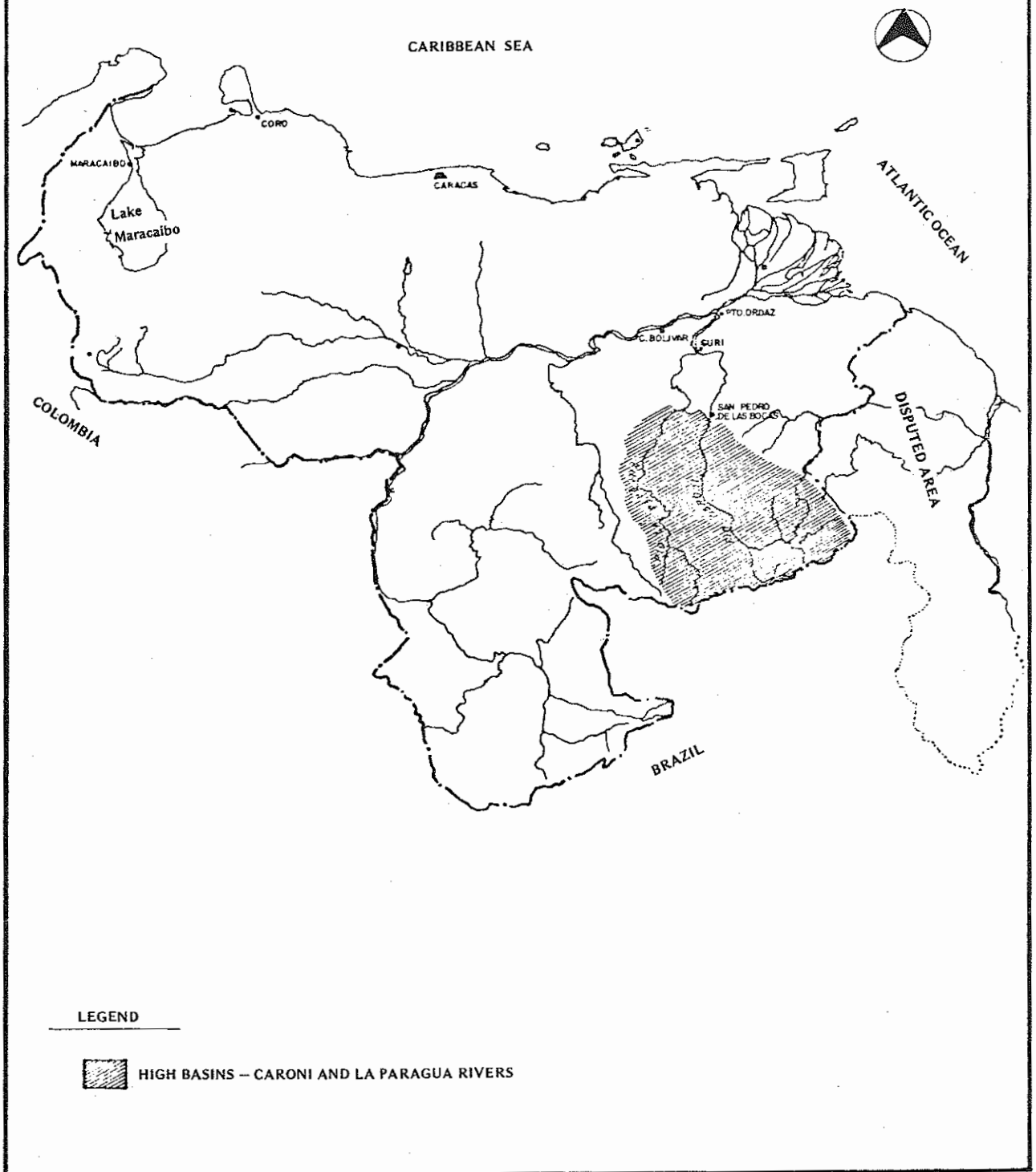
The site of Tocoma lies 9 kilometers downriver from Guri. It is characterized by many small islands, so that in order to form a reservoir, it will be necessary to build four retaining walls (bulkheads). The powerhouse will have nine generating units during initial development and three more later. The installed power capacity for the first stage will be 1,320,000 kilowatts; and in the second stage 435,000 kilowatts will be added, for a total of 1,755,000. The water surface will be approximately 125 meters above sea level, and the maximum surface area affected by the dam and reservoir will be 88 square miles.

b) In the High Basins of the Caroní and Paragua Rivers

The inventory of the hydro power potential undertaken in the high basins of the Caroní and Paragua Rivers resulted in the selection of six sites which can be tapped for a total installed capacity of some 8,900,000 kilowatts. The hydroelectric development of these basins constitutes the future program for the Caroní River, following on the intermediate projects of the Lower Caroní and Guri (already underway), since all of the latter are priority areas due to economic and practical reasons.

The region occupied by these basins is located politically in the districts of Heres, Piar, and

LOCATION OF THE HIGH BASINS OF THE CARONI AND LA PARAGUA RIVERS



Roscio in the state of Bolívar, covering a total surface area of 84,489 square kilometers. It is characterized by frequent differences of elevation with respect to surrounding valleys, where vegetation is low and usually dense. The climate is temperate in the mountainous formations and "tepuyes" and in the Great Savanna, but the predominant climate in the basin is hot and rainy.

The population centers of the area are constituted by missionary camps, Indian villages, and mining towns. The possibility of agricultural development was discarded due to the low content of soil nutrients, which, according to a study done by the National Agrarian Institute in 1971, would only permit, at most, a subsistence economy.

Sites Selected on the Upper Caroní and Paragua Rivers

Of a total of 34 possible hydroelectric development sites included in the inventory, 28 were screened out and the following were selected: in the Caroní sub-basin, Tayucay, Arichipí, Eutobarima, Carrao I and Carrao II; and in the Paragua sub-basin, Tonoro.

An important consequence of the development of these sites would be the regulation of the waterflow that enters Guri, which until then would be a natural flow, as it is currently. In other words, due to the fact that future dams and reservoirs would be located on the Upper Caroní, the water input would be regulated on the basis of these developments, and would increase the energy now generated at Guri by approximately 10 o/o.

Description of the "Raúl Leoni" Hydro Power Station Project

Guri, where the "Raúl Leoni" Dam is being built, is located some 90 kilometers upriver of the

place where the Caroní and the Orinoco Rivers merge, at Ciudad Guayana. The total execution of this project will make it possible to regulate as much as 95 o/o of the annual waterflow of the river in benefit of Macagua I and the future stations of Macagua II, Caruachi, and Tocoma, which would be the next development sites on the Lower Caroní.

In order to build the hydroelectric station "Raúl Leoni" it was necessary to dam the waters of the Caroní River at Guri, and this gave rise to a lake converging an area of 800 square kilometers. When the area was dammed and flooded, the so-called "Operation Rescue" was implemented and more than 18,000 animals were salvaged, along with a considerable amount of invaluable petroglyphs.

Initial Development Plan

Originally, the construction of the Guri Project was conceived in the following three stages:

First Stage: This phase referred to the dam which is currently operative. The dam has an elevation of 215 meters and a powerhouse that includes 10 generating units. Construction began in November 1968 and the dam began operating in 1977, with an original installed capacity of 2,565,000 kilowatts.

Second Stage: This stage included further development of the project, to raise the reservoir level 20 more meters (to 235) and to install six generating units in a second powerhouse, so as to add 2,200,000 kilowatts.

Third Stage: This would constitute the final stage of the project, whose objective would be to raise the dam to 265 meters and add another eight generating units to the second powerhouse,

in order to attain a total installed capacity of 6,500,000 kilowatts for the Guri station.

THE FINAL STAGE NOW UNDERWAY

The project, as conceived currently, is different from the initial concept; it consists of the continued development of the second and third stages anticipated previously, with certain adjustments in terms of reservoir level and size, capacity, and number of units. Reasons such as oil price increases, a clear awareness of the country's energy needs, and technological advances, modified several aspects of the original project, such as, for example, the elevation and power capacity of the hydro-generating units. It was decided to raise the maximum reservoir level formerly anticipated another 7 meters (to 272 meters) in order to generate at the site the largest amount of energy possible. Likewise, the units selected at that time did not have a capacity any greater than 450,000 kilowatts each. Now, with the project in its final stage, it is thought to install generators with a 700,000-kW capacity. With these changes, the generation capacity of Guri will manage to reach some 10,000,000 kilowatts.

Thus, the final stage of the Guri Project consists of:

- a) Raising the main gravity dam and spillway, already existing, to an elevation of 272 meters.
- b) Construction of two new gravity dams on the right and left sides of the river.
- c) Construction of a new powerhouse at the foot of the new gravity dam on the right side of the river.
- d) Construction of two earthen-rock dams alongside the gravity dams.
- e) Construction of dikes to the left and right of the reservoir.

It is estimated that all of the concrete structures of the final stage will require 6,600,000 cubic meters of concrete.

The intake gates of Units 1, 2 and 3 of the first powerhouse will be modified to support the additional load imposed by the new reservoir levels; and all of the mechanisms to operate the gates will be relocated so that the construction of the final stage will not interfere with the functioning of the 10 units already installed.

Once all of the reservoir and water control structures have reached the current level of the dam, the rock dam now existing can be moved to the lower level of the new intakes.

Preliminary Structures

The importance of the project, the magnitude and short execution period for the structures, and the needs of the site derived from its location obliged planning and building a series of preliminary structures to provide services to the project during its execution, including access for labor and materials. It was also judged necessary to purchase and mount equipment and plants requiring extensive lead times, e.g., a plant to produce concrete, with a capacity of 500 cubic meters per hour; a plant to produce 540 tons of ice per day, to cool the concrete; and a construction viaduct, a metal structure with 11,000 tons of steel, 14 meters wide and 1600 meters long, along which the cars that transport the concrete move, with 8 large cranes to empty these.

It was considered convenient to construct highways which, insofar as possible within regional roadway plans, would tie in Guri directly to

population centers of Guayana such as Ciudad Bolívar, Puerto Ordaz and Upata.

Temporary and permanent access roads were also built within the site, due to the fact that once the work started the existing accesses would be lost to the dam and new construction sites.

In addition, it was necessary to expand facilities and services for personnel estimated at nearly 20,000 persons. For this purpose, new camps were built for workers and contractors, camps which in the future could be a starting point for a tourist center.

Powerhouse No. 2

The new powerhouse construction, which will house the generating equipment, will be 58 meters wide and 280 meters long; and 10 units will be located inside, precisely downriver of the main gravity dam, east of the present powerhouse.

The vanes for locating the generators are downriver of markers 1, 2 and 3 and switch modules are located on the lower section of the structure. The vertical extensions of the roof beams support transmission lines that exit to the distribution patio.

Most of the service facilities are located in the assembly yard which, in turn, is divided into two areas: the generator room, or upriver section, and the downriver area. The upriver section will be destined to a pumping station, storage, and oil purification installations, air compressors, battery stations, a workshop and electrical storage, a mechanical workshop, a construction area and a discharge area. The downriver section consists of four floors and includes the air intake, the sewage treatment plant, a gallery for cable extensions, offices and other installations.

Elevation of the Spillway

The current spillway, which has a total width of 183.76 meters, is divided into three canals. This permits it to be progressively elevated by means of a suitable construction program, while always maintaining two canals in operation. The maximum discharge capacity of each spillway canal is 31,000 cubic meters per second; and the maximum probable, river rise has been established as a peak of 48,100 cubic meters per second, with a volume in 23 days of 45,400 million cubic meters, which guarantees that the reservoir level at a height convenient for construction work.

Each canal of the spillway has three vanes with an opening of 15.24 meters; and each vane is equipped with identical radial gates 20.76 meters high, which are operated electrically and which open and close according to the reservoir's operating needs.

This structure will be raised in stages: first, the walls and piles will be raised, and on these bases the gate operation mechanisms will later be relocated.

Other Aspects of the Project

A second canal will be dug at the penstock exit of the second powerhouse, to the right of the existing discharge canal. The volume of excavated rock will amount to approximately 15,610,000 cubic meters.

For the second powerhouse, a discharge canal separate from the first has been anticipated. It will be located in the dry river bed to the right of the existing discharge canal, which it will join approximately 2500 meters downriver of its origin.



The new discharge canal is designed to provide, under peak operating conditions, the maximum water level that can be used without interfering with the level of the first powerhouse. The ground along the canal route is constituted by a high layer of gneiss, which reaches the outside surface, so that most of the excavations are done in rock.

On the right and left sides of the dam site, it is necessary to build large dams with fill material, which will have to be joined to concrete dams by means of rock sections. It is important to excavate a considerable space in order to establish a suitable foundation for these structures; and this will be prepared, injected and drained in keeping with the subsurface geology and topography of the area.

The current distribution patio is located on the left side of Discharge Canal No. 1; and to house the installations of the interconnection circuits between the new units and the transmission lines, there are plans to broaden the distribution patio approximately 300 meters downriver of the existing patio.

SIGNIFICANT DATA ON THE GURI PROJECT

RESERVOIR

	First Stage		Second Stage	
Basin area	85,000	km ²	85,000	km ²
Minimum operating level	195	m	240	m
Maximum normal level	215	m	270	m
Maximum flood level	219.5	m	217.6	m
Area at maximum normal level	765	km ²	4,260	km ²
Volume at normal level	17,700	MMC	135,000	MMC
Volume at minimum level	5,900	MMC	5,900	MMC

CONCRETE DAM

Type of Dam	Gravity		Gravity	
Road level	220	m	272	m
Parapet level	220.91	m	272.3	m
Height from foundation	110	m	162	m
Height from river bed	100	m	152	m
Length of right-hand gravity dam	493	m	996	m
Length of left-hand gravity dam	179	m	164	m
Nominal downriver slope	0.75	H: IV	0.75	H: IV
Width of right hand gravity dam	2.50	m-16.25 m	2.50	m-21.00 m
Width of left hand gravity dam	3	m	11.45	m
Maximum depth of injection curtain	75	m	100	m
Volume of concrete	1,127,000	m ³	5,325,000	m ³

SPILLWAY

Type	Ojiva		Ojiva	
Type of gates	radial		radial	
Level of crest	195.2	m	250.2	m
Size of gates	15.24x20.76	m	15.24x20.76	m
Normal load capacity	28,000	m ³ /s	28,000	m ³ /s
Maximum capacity	40,000	m ³ /s	33,000	m ³ /s
Volume of concrete	327,000	m ³	746,000	m ³

RIGHT-HAND EARTHEN DAM AND ROCK WALL

	First Stage		Second Stage	
Length of crest	220	m	3,944	m
Maximum height from foundation	90	m	110	m
Level of crest	221.3	m	277	m
Width of crest	12	m	11	m
Downriver slope	2.50	H: 1V	3	H: 1V
Upriver slope	1.75	H: 1V	2.50	H: 1V
Total volume	2,089,000	m ³	45,000,000	m ³

LEFT-HAND EARTHEN DAM AND ROCK WALL

	First Stage		Second Stage	
Length of crest	----		2,000	m
Maximum height from foundation	----		90	m
Level of crest	----		276	m
Width of crest	----		11	m
Downriver slope	----		3	H: 1V
Upriver slope	----		2.50	H: 1V
Total volume	----		18,000,000	m ³

POWERHOUSE No. 1

Number of units	10	----
Separation between units	23	m
Excavation	638,000	m ³
Concrete	240,300	m ³
Turbine types	Francis	----
Rated turbine capacity		
Units 1 to 3	180.2	MW
Units 4 to 6	223	MW
Unit 7	340	MW
Units 8 to 10	370	MW
Rated generator capacity		
Units 1 to 3	185	MVA
Units 4 to 6	230	MVA
Units 7 to 10	360	MVA
Power factor		
Units 1 to 6	0.95	
Units 7 to 10	0.90	
Transformer capacity (1 & 2)	203,500	KVA
Transformer capacity (3)	212,000	KVA
Transformer capacity (4 & 6)	265,000	KVA
Transformer capacity (5)	255,000	KVA
Transformer capacity (7 to 10)	420,000	KVA

POWERHOUSE No. 2

	First Stage	Second Stage
Number of units	----	10
Separation between units	----	28 m
Excavation	----	1,006,000 m ³
Concrete	----	614,000 m ³
Turbine types	----	Vertical Francis
Rated turbine capacity	----	610 MW
Rated generator capacity	----	700 MVA
Power factor	----	0.90
Transformer capacity (11 to 20)	----	805.50 MVA

POWERHOUSE CRANES

	First Stage	Second Stage
Number	1	2
Polyplasts	2	4
Hook capacity	325 MT	375 MT
Total capacity	650 MT	1,500 MT
Manufacturer	Nippon, Japan	Hitachi, Ltd.

PENSTOCKS FOR POWERHOUSE No. 1

Material	ASTM-A201-61T	----
Number	10	----
Diameter (1 to 3)	7.5 m to 5.7	m
Diameter (4 to 10)	7.5 m to 6.5	m
Sheet thickness (1 to 3)	16 mm to 40	mm
Sheet thickness (4 to 10)	16 mm to 48	mm
Weight of each penstock (1 to 3)	703	MT
Weight of each penstock (4 to 6)	832	MT
Weight of each penstock (7 to 10)	798	MT



**PENSTOCKS FOR
POWERHOUSE No. 2**

First Stage

Second Stage

Material	----	ASTM-A516 Gr 70
Number	----	10
Diameter (13 & 14)	----	10.5 m to 8.48 m
Diameter (11, 12, 15-20)		11.4 m to 8.48 m
Sheet thickness (11 to 20)		30 mm to 58 mm
Weight of each penstock (13 & 14)		1,544 MT
Weight of each penstock (11, 12, 15-20)		1,776 MT

DISCHARGE CANAL No. 1

Length	1,500	m	----
Width at bottom	70	m	----
Volume of excavation	2,350,000	m ³	----

DISCHARGE CANAL No. 2

Length	----	2,637	m
Width at bottom	----	180	m
Volume of excavation	----	15,610,000	m ³

MARGINAL DIKES

Length of crest		32,000	m
Maximum height from foundation		45	m
Level of crest		275	m
Width of crest		7	m
Upriver slope		3	H= 1V
Downriver slope		2.5	H= 1V
Total volume		13,000,000	m ³

SUMMARY OF CONSTRUCTION CONTRACTS

Total excavation	3,130,000	m ³	16,616,000	m ³
Earthen dams and rock walls	2,089,000	m ³	76,000,000	m ³