

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD

SECTOR ENERGIA

DIRECCION INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO INGENIERIA GEOLOGICA

DEPARTAMENTO INGENIERIA GEOTECNICA

INFORME GENERAL DE AVANCE A LA FACTIBILIDAD DEL

P. H. LOS LLANOS

PRESENTO :

GEOL. CARLOS RODRIGUEZ N.
GEOL. LUIS FDO. SAENZ S.
GEOL. RAFAEL BARQUERO P.
ING. ALVARO CLIMENT M.
ING. JORGE SALAZAR A.

FEBRERO 96

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD

SECTOR ENERGIA

DIRECCION INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO INGENIERIA GEOLOGICA

DEPARTAMENTO INGENIERIA GEOTECNICA

INFORME GENERAL DE AVANCE A LA FACTIBILIDAD DEL
P. H. LOS LLANOS

PRESENTO :

GEOL. CARLOS RODRIGUEZ N.
GEOL. LUIS FDO. SAENZ S.
GEOL. RAFAEL BARQUERO P.
ING. ALVARO CLIMENT M.
ING. JORGE SALAZAR A.

FEBRERO 96

**INFORME GENERAL DE AVANCE GEOLOGICO GEOTECNICO A LA FACTABILIDAD
DEL P.H. LOS LLANOS**

Indice

1.	Introducción.....	1
2.	Panorama Geológico-Geotécnico de la investigación ICE....	2
2.1	Estratigrafía	
2.2	Unidad de Calizas	
2.3	Unidad de Lutitas Calcáreas.....	3
2.4	Unidad de Brechas y Conglomerados.....	5
2.5	Unidad de Brechas Autoclásticas.....	6
2.6	Unidad de Conglomerados y Lutitas Calcáreas.....	7
2.7	Unidad de Lutitas y areniscas Calcáreas	
2.8	Unidad de Conglomerados Continentales.....	8
2.9	Unidad de Depósitos Recientes.....	12
2.10	Estructura Geológica	
3.	Comentarios al Capítulo 7 del Interim Report.....	14
3.1	Análisis de la investigación geológica	
	(7.1) Investigación geológica	
	(7.1.1)Introducción	
	(7.1.2)Resumen de la investigación Geológica	
	(7.1.3)Geología Regional	
3.2	Análisis de Sitio de Presa, Embalse y Conducción.....	15
	(7.1.4) Geología del sitio de presa	
	(7.1.5) Geología del embalse	
	(7.1.6) Geología de la ruta de conducción	
	(7.1.7) Geología de la ruta de tubería de Casa de máquinas	
3.3	Análisis de ensayos.....	17
	(7.1.8) Ensayos "in situ" para fundación en sitio de presa,tubería de presión y casa de máquinas	
	(7.1.9) Prospección geofísica en sito de presa T.O., línea de túnel, tubería de presión y casa de máquinas	

(7.1.10) Ensayos en núcleos

3.4 Algunos comentarios sobre los planos.....20

4. Comentarios al Capítulo 8 del Interim Report.....21

1. INTRODUCCION

El presente documento contiene un panorama general de los resultados de la investigación geológica geotécnica del P.H. Los Llanos, para que sirva de base a lo que será el Informe Final a la Factibilidad de dicho proyecto. Además, incluye los comentarios al "Interim Report", remitido por la Japan International Cooperation Agency (JICA) al ICE en julio de 1995, que es el resultado de la investigación llevada a cabo por la Electric Power Development Co. LTDA, para el P.H. Los Llanos.

Se brinda una secuencia de las distintas unidades litológicas presentes en el área de las obras. También se analiza los capítulos 7 y 8 que corresponden al área geológica geotécnica del Interim Report, y de la cual el ICE ha llevado el peso de la investigación de campo.

Durante los años 1994 y 1995 se ha estudiado el proyecto con el esquema presentado por LGL de Canadá y que inicialmente fue aceptado por JICA. A dicho esquema los expertos japoneses le han realizado estudios económicos para distintas alternativas de ubicación de estructuras y así obtener el proyecto más atractivo desde su punto de vista.

La alternativa de tubería de presión en túnel no ha sido estudiada por el ICE y será necesario profundizar en ésta, para expresar criterio sobre la misma. Adicionalmente nos preocupa la ubicación de la casa de máquinas desde el punto de vista geológico-geotécnico, ya que podría tener problemas de estabilidad debido a la presencia de lutitas deformables con presencia de lentes de arcilla.

La ubicación final del eje de presa necesita una investigación adicional de la margen izquierda ya que no se tiene datos suficientes de ésta margen para tener un criterio completo del sitio de presa.

Estos estudios han modificado el esquema inicial que hemos estado estudiando, por lo que los resultados obtenidos por el ICE no contemplan las modificaciones de JICA, en especial la escogencia de una alternativa subterránea para la tubería de presión y la ubicación de Casa de Máquinas aguas arriba de la original.

2 Panorama geológico-geotécnico de la investigación ICE

Considerando que el panorama geológico-geotécnico presentado en el informe JICA no está actualizado al no tomar los últimos detalles de nuestra investigación, entregados oportunamente a los Geóls. Shibata y Denboya, se presenta a continuación un resumen de cada unidad litológica.

2.1 ESTRATIGRAFIA

Debido a que las litologías aflorantes son estériles micropaleontológicamente, la siguiente caracterización estratigráfica se basa en el principio de la superposición de acuerdo con las observaciones y mediciones de campo plasmadas en la planta geológica general del Proyecto y perfiles respectivos.

La secuencia basal local contiene fragmentos de calizas que nos ubican en una secuencia post-Eocénica de acuerdo a los últimos modelos ecotectónicos (Seyfried, 1987). Para Calvo y Boltz (1992) dichas calizas serían del paleoceno superior o del eoceno inferior.

La secuencia cuspidal por su parte, de naturaleza conglomerádica, está compuesta en un 80% por fragmentos intrusivos de tipo gabroico y aplítico, lo que refleja la erosión post-pleistocénica de la Cordillera de Talamanca y el respectivo transporte de dichos materiales a diferentes cuencas.

2.2 UNIDAD DE CALIZAS

Afloran en el sector SW del área de Casa de Máquinas y consisten de litologías relictas que tienen una orientación NW-SE; en tanto que sus dimensiones oscilan entre anchos de 10 a 70 m y elongaciones de 50 a 140 m, con potencias aflorantes de hasta 36 metros, masivas y en algunos casos se reconocen horizontes tempestíticos de alta energía.

Otros investigadores (Seyfried, 1987) han planteado la hipótesis que determina que éstas calizas se encuentran "in situ" y constituyen indicadores ecotectónicos del Eoceno tardío, asociados a la denominada Formación Fila de Cal, (Sprechmann, 1981).

Se considera que el modelaje de los olistolitos, no constituye ningún problema geológico-ingenieril para el Proyecto, ya que no se involucran (ocurrencia) en ninguna de las obras.

2.3 UNIDAD DE LUTITAS CALCAREAS

Estas han sido ubicadas en el sitio de Casa de Máquinas alternativa #1 y consisten de lutitas calcáreas (margas) masivas con un espesor mínimo de 120m, pobremente estratificadas, con presencia de algunos planos interstratos ondulados y con intercalaciones de capas de montmorillonita cálcica, con espesores entre 0.50 m a 2.5 m.

Afloran en el sector W y SE de dicha obra. Esto se aprecia en la margen derecha del río Paquita y quebradas asociadas en la margen izquierda. Ver figura 7-10 del Interim Report de Julio 1995.

Esta litología es muy susceptible a generar problemas de inestabilidad de laderas, que van desde simples reptaciones hasta deslizamientos importantes con volúmenes movilizados estimados de hasta 700,000 m³. Un ejemplo se ubica en la margen derecha del río Paquita, en el sector de casa de Máquinas 1 (coordenadas 385600 con 454600), cuyo nivel de despeque corresponde con una capa de montmorillonita con espesores variables entre 0.50 m y 1.7m.

Las lutitas también acusan asentamientos diferenciales por su interstratificación con las arcillas mencionadas y también por el agrietamiento por desecación que sufren al perder el confinamiento, degenerándose en pocos días a un regolito de tipo limoso en condiciones ambientales normales. Esta condición geomecánica debe ser tomada en cuenta si el canal de restitución de la alternativa # 1 se excava en estas lutitas. Ver Fotografías #2, #3.

En los núcleos de perforación recuperados, esta litología se comporta como una roca blanda, fácilmente cortable con una cuchilla.

En la perforación PHLL-9-CM, se encontraron evidencias intensas de fricción en planos subhorizontales a profundidades de hasta 31.50 m verticales. La calidad mecánica de esta roca es muy mala con valores de RQD de 0%, salvo escasos niveles decimétricos con RQD cercanos al 25%. Ver fotografía #4.

Los resultados de las observaciones hechas en siete trincheras con profundidades de 3.00 m. y en doce afloramientos de muestreo, rindieron características y resultados similares.

En éstas se observó evidencias de fricción muy recientes y cercanas al suelo orgánico actual, lo que le podría conferir un carácter neotectónico.

La respuesta Geofísica de esta litología se caracteriza por velocidades de onda compresional de 2 a 2.5 Km/seg., la onda de cizalle (S) de 0.9 a 1.1 km/seg y un módulo dinámico de 49 Ton/cm² (49.000 Kg/cm²).

El módulo de compresión estática es de 7.3 Ton/cm² (7.300 Kg/cm²).

Se debe mencionar que éstas lutitas calcáreas por estar sobresaturadas presentan un incremento en la onda compresional que parece reflejar una roca de buena condición física, situación irreal, como se comprueba al comparar con los núcleos de perforación secos y afloramientos con el nivel freático por debajo. En estos casos las velocidades no superaron los 1.5 Km/seg de la onda compresional.

Se realizaron algunos ensayos de clasificación índice de estos materiales en las diferentes perforaciones con los siguientes resultados:

Perforación	G _{ss}	G _b	Absorción
5	2.62	2.56	2.10
6	2.61	2.55	2.40
7	2.54	2.43	4.40
8	2.52	2.41	4.40
9	2.56	2.47	3.4
12	2.53	2.36	7.0

Se realizaron ensayos con Goodman Jack en 7 diferentes profundidades con los siguientes resultados:

Módulo de Deformación Global entre 2152 y 13535 Kg/cm²
 Módulo de Deformación Tangente entre 4610 y 28030 Kg/cm²
 Módulo de Deformación Secante entre 4400 y 22460 Kg/cm²
 Módulo de Deformación Elástico entre 11600 y 30900 Kg/cm²

Los anteriores valores presentan un amplio rango de módulos asociados a zonas blandas dentro de las lutitas que ocasionan mayor deformabilidad en los ensayos, obteniéndose valores bajos.

Hay que mencionar que no fue posible recuperar núcleos para ensayos de compresión incofinada debido a que el material se desintegra al poco tiempo de tener contacto con el medio ambiente.

2.4 UNIDAD DE BRECHAS Y CONGLOMERADOS

Dentro de ésta Unidad se identifican las siguientes subfacies:

- brechas amalgamadas ligeramente calcáreas,
- conglomerados amalgamados ligeramente calcáreos
- lutitas ligeramente calcáreas.

Contienen fragmentos lávicos compactos, con amígdalas que podrían contribuir a una mayor permeabilidad local y en muy bajo porcentaje fragmentos de caliza. En general se presentan masivos y los pocos buzamientos medidos varían desde horizontales, hasta 16° y 36°. Ver fotografías #5 y #6.

Corresponde a la litofacies porcentualmente predominante a nivel de ocurrencia en las obras, aflorando en las alternativas de tubería de presión y línea de túnel, contiene facies de amalgamación, lo que redundaría en una condición fisicomecánica muy buena, dado de que el término hace referencia a una sobreconsolidación del sedimento posterior a su depositación.

Este material fue analizado en afloramientos de quebradas y perforado por las siguientes:
PHLLL-11TP, PHLLL-12CM, PHLLL-13CM, PHLLL-14CM, PHLLL-15CM, PHLLL-16CM, PHLLL-17TP Y PHLLL-18TP, además de un programa detallado de trincheras exploratorias, dirigidas al estudio de una alternativa superficial para la adecuación de un nivel óptimo de fundación de cimientos para la tubería de presión.

Estos materiales poseen además una facies poco densa, la que es muy susceptible a ocasionar problemas de estabilidad de laderas y en el campo se reconoce por su aspecto físico de meteorización (arenitización y/o esferoidal).

Sus características geomecánicas basados en el informe de diciembre de 1993, de la Oficina de Geofísica son las siguientes:

Desde el punto de vista resistivo los valores están comprendidos desde 15 a 40 Ohm-m, las ondas compresionales van de 2.3 a 2.5 Km/seg, alcanzando valores altos de 2.8 a 3.5 Km/seg. Las velocidades de la onda de corte varían de 1.3 a 1.6 Km/seg, con lo cual la Razón de Poisson es de 0.25 a 0.30. Los módulos dinámicos varían desde 80.000 a 290.000 Kgr/cm², cuando están meteorizados bajan considerablemente a 50000 Kgr/cm².

Esta unidad se caracterizó con ensayos de deformabilidad utilizando el dilatómetro Goodman Jack. En la perforación #18TP, se obtuvieron los siguientes resultados:

MODULOS DEFORMACION (KG/CM²)

Profundidad (m.)	Global	Tangente	Secante	Elástico
10.30	37128	41239	33150	41575
10.50	25622	55519	59211	64025
16.10	98083	79254	79254	109599
16.50	107753	131988	72175	70859
22.30	126092	100062	100062	100062
22.50	100776	103224	90882	70686
29.30	91392	80121	77520	112506
29.50	53530	64515	64515	63546

Los anteriores valores muestran una regular deformabilidad de la roca que se pueden relacionar con materiales adecuados para fundar la tubería de presión y la Casa de Máquinas si lograra ubicarse en estos materiales.

Los resultados de Laboratorio indican gravedades específicas entre 2.47 y 2.53, no mostrando grandes variaciones. Las absorciones varían entre 5.41 y 7.24 %, siendo resultados normales para este tipo de roca.

Las compresiones confinadas están en el rango de los 222 a 362 kg/cm², con un valor promedio de 262 kg/cm². Estos ensayos son realizados en núcleos que tienen mayor porcentaje de matriz que de roca sana. Los valores indican una roca de regular condición que corresponden a la fase poco densa de esta unidad.

Es de mencionar que estos materiales se localizan en la línea de túnel tomando el TO hacia la Toma, específicamente de la estación 2+500 m a la 3+400 m, que corresponde a la zona de baja cobertura. A la elevación de la cota de túnel los valores resistivos varían de 30 a 120 Ohm-m, las velocidades sísmicas están en un rango de 3.0 a 4.0 Km/seg.

2.5 UNIDAD DE BRECHAS AUTOCLASTICAS

El término autoclástica hace referencia a una brecha, cuya matriz se encuentra ausente totalmente. (VER FOTO # 7). Es de naturaleza polimíctica, es decir que sus clastos componentes son poligénicos(Lavas, intrusivos, corneanas). Su exposición se atribuye a dos fenómenos bien identificados:

- a- discordancias angulares observadas,
- b- cuñas tectónicas.

Su condición física es de buena a muy buena. La estructura de tanque de oscilación se cimentará en éste material, ya que se emplaza discordantemente sobre la unidad descrita anteriormente.

Este material fue observado en las quebradas aledañas al tanque de oscilación y se describió con más detalle en trincheras exploratorias. Su caracterización geomecánica se describe a continuación: Los valores de resistividad están en un rango de 40 a 150 Ohm-m. Para la onda compresional se tiene que la roca descompresionada con arcillificación presenta valores bajos de 0.6 a 0.8 Km/seg, la roca sana tiene valores altos de 2.5 a 3.6 Km/seg, e incluso superiores a 5.0 Km/seg, por lo que se espera que en la base del tanque la fundación en esta roca sea de muy buena condición física.

2.6 UNIDAD DE CONGLOMERADOS Y LUTITAS CALCAREAS

Aflora en un tramo corto de la traza superficial del túnel, con ocurrencia en profundidad, cotas 4+200m a 4+970m. Su condición física es de regular a buena y su emplazamiento manifiesta una tendencia en la dirección de buzamiento hacia el norte. Muestra una marcada predominancia de las lutitas sobre el conglomerado y podría considerarse como una subfacies de transición de la Unidad de Brechas y Conglomerados.

Esta Unidad hasta el momento no se ha caracterizado desde el punto de vista geofísico porque corresponde a la campaña de 1996 que se inició en enero, se espera tener datos para abril.

2.7 UNIDAD DE LUTITAS Y ARENISCAS CALCAREAS

Constituyen una facies de abanico distal medio y aflora en las partes cuspidales de la topografía de la línea de túnel, salvo en el sector medio, donde por efectos tectónicos ocurre en cotas inferiores a nivel de piso de túnel. Específicamente en la traza se identificaron en las siguientes estaciones: 0+950m a 1+140m, 1+870m a 2+330m, 3+500m a 3+820m. Consisten de paquetes bien estratificados decimétrica a métricamente.

Su condición física es de regular a mala, siendo muy susceptibles a la meteorización, además se muestra muy tectonizada, lo que redundo en características muy marcadas de fisibilidad, por lo cual se le asocian problemas de inestabilidad de laderas y de soporte de túnel. Conformo además un plegamiento muy localizado y de naturaleza competente. Sus características geomecánicas se explican a continuación:

Los valores de estas lutitas son por lo general menores a 80 Ohm-m, en algunos casos el promedio esta entre 30 a 50 Ohm-m los de la onda compresional para las partes meteorizadas son menores a

2.0 Km/seg. Las rocas sanas se encuentran bajo el nivel freático por lo que se consideran saturadas. Esta condición se asocia a un posible incremento en la velocidad, ya que el rango en este material es de 2.2 a 2.5 km/seg.

2.8 UNIDAD DE CONGLOMERADOS CONTINENTALES

Esta unidad aflora en el sector de sitio de presa, el embalse y el primer tramo de la línea de túnel. Comprende una alternancia de conglomerados polimícticos, lutitas y areniscas. Los conglomerados predominan hacia el sitio de presa con fragmentos de diámetro variable entre los 0.15 m hasta 2.5 m.

Esta litología documentó dos fenómenos, que son:

- a- La erosión de una secuencia de naturaleza intrusiva en el retropaís.
- b- El retrabajamiento de un conglomerado de la misma naturaleza.

En general es ligeramente calcáreo y se presenta como litotopos y horizontes muy localizados y sus componentes clásticos son en un 80% de naturaleza gabroica y aplítica. Hacia el sector del embalse es notoria la predominancia de facies más arenaceas. Esta litología se estudió por medio de afloramientos en quebradas y fue cortada por cuatro perforaciones: PHLL-1SP, PHLL-2SP, PHLL-3SP y PHLL-4SP, dos pozos exploratorios y dos galerías exploratorias. Las anteriores perforaciones están distribuidas en los tres ejes de presa alternativos que se estudiaron para la presente etapa de estudio.

Hidrogeológicamente se realizaron ensayos de percolación en perforaciones, determinándose que el material es poco permeable, con rangos en la PHLL-3SP(493.92 m.s.n.m.) de 1 a 9 unidades Lugeon. En la misma se instaló un sistema de doble piezómetro, cuyos datos evidencian la existencia de dos niveles freáticos en margen derecha, a profundidades de 3.27 m y 39.45 m, determinándose un desfase con respecto a los valores medidos en la PHLL-4SP (453.75 m.s.n.m.) de margen izquierda, con un valor del piezómetro profundo de 21.87 m lo que implica un desnivel hidráulico de 17.58 m.

El levantamiento geológico del sitio de presa muestra esta litología con una tendencia muy marcada, en su dirección de buzamiento con rumbo N-NW. La dirección de inclinación de las fracturas, a nivel de los ejes # 2 y # 3, es de 210° a 320°, cerradas, rugosas, rellenos de arcilla y calcita, con persistencias métricas.

Geomecánicamente, ésta litología se caracteriza en tres categorías dependiendo, del grado de meteorización; como se expresa en la tabla ajunta :

MODULOS ELASTICOS- DINAMICOS
SITIO DE PRESA

TIPO DE ROCA	METEOR.	SANA	
		BUENA	EXCELENTE
ONDA COMPRESIONAL (km/seg)	1.9	2.8	4.0
ONDA CIZALLE (km/seg)	0.95	1.5	2.3
RAZON POISSON	0.33	0.28	0.25
DENSIDAD (gr/cm ³)	1.9	2.4	2.7
MODULO DINAMICO (kg/cm ²)	49000	150000	365000
MODULO ESTATICO (kg/cm ²)	7300	82000	292000
MODULO CIZALLE (kg/cm ²)		27000	97000

Esta roca sana se localiza para el eje de presa 1 a una profundidad de 10 a 15 m . En el sitio de presa 3 la roca de sana a excelente aparece más superficial debido a que la cubierta es poca (3 m).

Hay un nivel freático entre la interfase de roca meteorizada y sana en el sitio de presa 1 entre 8 y 13 m.

La roca de fondo presenta un rango amplio de 2.0 a 4.0 km/seg, aunque dentro de la galería de la margen derecha sobrepasa velocidades mayores de los 4.0 km/seg.

Es de destacar que valores en la margen izquierda del sitio de presa no tenemos datos de geofísica.

CARACTERIZACION GEOTECNICA

Sitio de Presa

Se realizaron ensayos de caracterización mecánica y de deformabilidad en los conglomerados que conforman el sitio de presa.

En las perforaciones se realizaron pruebas para determinar gravedades específicas, absorciones, y compresiones inconfiadas.

La perforación PHLL#1SP correspondiente con el eje de presa #1, presenta los siguientes resultados:

Cantidad de ensayos = 7
 Absorciones con rangos entre 0.25 y 1.36%
 Gravedades s.s.s. con rangos entre 2.66 y 2.75
 Compresiones con rangos entre 222 y 560 kg/cm²
 Modulos Elásticos calculados a partir de las compresiones con rangos entre 45000 y 105000 kg/cm²

La perforación PHLL#2SP corresponde con el eje de presa #2, y presenta los siguientes resultados:

Cantidad de ensayos = 6
 Absorciones con rangos entre 1.69 y 2.20%
 Gravedades s.s.s. con rangos entre 2.67 y 2.70
 Compresiones con rangos entre 625 y 1130 kg/cm²

Módulos Elásticos calculados a partir de las compresiones con rangos entre 146000 y 171000 kg/cm²

Se realizaron ensayos con Goodman Jack en 5 diferentes profundidades con los siguientes resultados:

Módulo de Deformación Global entre 61550 y 152300 Kg/cm²
 Módulo de Deformación Secante entre 95000 y 224400 Kg/cm²
 Módulo de Deformación Elástico entre 115000 y 146000 Kg/cm²

Los anteriores resultados no toman en cuenta los valores a 8.70 m. de profundidad ya que serán excavados.

Las perforaciones PHLL#3SP y PHLL#4SP se ubican en el eje #3 y presentan los siguientes resultados:

Perforación PHLL#3SP

Cantidad de ensayos = 17
 Absorciones con rangos entre 0.68 y 2.07 %
 Gravedades s.s.s. con rangos entre 2.62 y 2.79
 Compresiones con rangos entre 255 y 1185 kg/cm²
 Valor promedio de Compresión de 750 kg/cm²

Modulos Elásticos calculados a partir de las compresiones con rangos entre 55000 y 369000 kg/cm²

Se realizaron ensayos con Goodman Jack en 6 diferentes profundidades con los siguientes resultados:

Módulo de Deformación Global entre 80000 y 212000 kg/cm²
 Módulo de Deformación Secante entre 99500 y 256300 kg/cm²
 Módulo de Deformación Elástico entre 73500 y 344000 kg/cm²

Perforación PHELL#4SP

Cantidad de ensayos = 9

Absorciones con rangos entre 0.70 y 3.11 %

Gravedades s.s.s. con rangos entre 2.70 y 2.79

Compresiones con rangos entre 153 y 1206 kg/cm²

Valor promedio de Compresión de 600 kg/cm²

Modulos Elásticos calculados a partir de las compresiones con rangos entre 62000 y 300000 kg/cm²

Se realizaron ensayos con Goodman Jack en 6 diferentes profundidades con los siguientes resultados:

Módulo de Deformación Global entre 34000 y 158000 kg/cm²
 Módulo de Deformación Secante entre 77000 y 250665 kg/cm²
 Módulo de Deformación Elástico entre 83350 y 260600 kg/cm²

Se realizaron ensayos el pozo #2 ubicados en la margen derecha del eje #2, los cuales rindieron los siguientes resultados:

Módulo de Deformación (Kg/cm²)

Ubicación Cara	Global	tangente	Secante	Elástico
12 m.par. H.D.	6100	10600	9200	15900
per. H.I.	1570	3530	2900	6200
12 m.par. H.D.	6300	14400	12500	13600
per. H.I.	18650	35350	31100	29900

Estos valores representan la zona meteorizada del conglomerado, por lo que hay que tomarlo con reserva.

En la galería de margen derecha del eje #3, se ejecutaron ensayos de deformabilidad con el equipo de placa rígida. Los siguientes son los resultados obtenidos:

Módulo de Deformación (Kg/cm²)

Ubicación Cara	Global	tangente	Secante	Elástico
0+015 H.D.	60500	256000	144700	317000
0+015 H.I.	75100	86200	97000	139200
0+028 H.D.	16560	25150	23240	48200
0+028 H.I.	12800	19050	18100	42000

Se aprecia un descenso de los módulos con la estación 0+028, producto de la variación de la mecánica de estos conglomerados.

2.9 UNIDAD DE DEPOSITOS RECIENTES

Esta unidad se encuentra bien desarrollada en el cauce del río Paquita a nivel de casa de máquinas, en donde los espesores son variables desde 4 hasta 10 m.

La granulometría es centimétrica, de 0.10 m hasta de 2 m con un 80% de fragmentos sedimentarios y un 20% de origen volcánico procedente del desmembramiento de los clastos del conglomerado antes descrito.

El río Naranjo, no presenta aluviones desarrollados, en las cercanías del Sitio de Presa ya que se encuentra en la zona media de montañas, en donde se producen fuertes arrastres de estos materiales, no siendo posible la depositación de espesores importantes.

Esta unidad fue caracterizada para su probable uso como agregados de concreto.

Los aluviones del río Paquita, se definen como materiales malos para ser utilizados como agregados ya que los ensayos de abrasión y sanidad indican pérdidas importantes (ver informe Materiales de Préstamo, junio 1995).

Los bancos aluviales del río Naranjo son adecuados para utilizarlos como agregados de concreto, ya que son los de mejor calidad mecánica de la zona.

2.10 ESTRUCTURA GEOLOGICA

Las estructuras identificadas en el área del Proyecto, manifiestan una orientación general NW-SE, con geometría inversa y una población minoritaria con rumbo NE-SB tipo desplazamiento de rumbo.

Con base en el alineamiento de estructuras dentro de la unidad de lutitas calcáreas y en su contacto con la unidad de conglomerados y brechas (ver foto #8), aparece desplazado en algunos afloramientos, se propone una zona de fractura NW-SE. Esta estructura estaría relacionada con la denominada Falla longitudinal de Costa Rica.

Las perforaciones realizadas en éste sector , alcanzaron profundidades de hasta 30.50 m, con evidencias de fricción a lo largo de las mismas.

Con base en estudios recientes del grupo ICE, y a la visita al sitio por parte del Dr. Carlos Costa especialista en neotectónica en noviembre de 1995; hemos confirmado la prolongación de la falla longitudinal de Costa Rica o de un ramal de esta en las cercanías de la Casa de Máquinas. Esta pasa aproximadamente por la Fila la Carpintera (frente de falla con dirección NW-SE), en las cercanías de esa obra. Esta estructura se observa claramente en las imágenes Landsat aportadas por JICA.

Dicha estructura se prolonga e incluso pasa por la Casa de Máquinas del P.H. Pirrís; con evidencias neotectónicas como las terrazas basculadas que se localizan cercanas de la Quebrada Sonzapote.

Es por eso que el grupo ICE, a informado en reiteradas ocasiones al Grupo JICA, mediante publicaciones y en reuniones de trabajo con los expertos del área de Geología-Geotecnia la necesidad de evaluar la reubicación de la Casa de Maquinas.

3. COMENTARIOS AL CAPÍTULO 7 DEL INTERIM REPORT

3.1 Análisis de la investigación geológica

(7.1) Investigación Geológica

7.1.1 Introducción

La investigación geológica realizada por el ICE se efectuó en el período de julio de 1992 a setiembre de 1994, y se prolongó a febrero de 1995 para el estudio de materiales de préstamo en el sitio de Quebrada Azul, cuyos resultados están incluidos en el informe "Materiales de Préstamo" de junio 1995, presentado por la Oficina de Mecánica de Suelos y Rocas y Oficina de Geología de Proyectos.

Cabe mencionar que la misión de JICA determina que las condiciones geológicas de los sitios de obra escogidos son desde el punto de vista geotecnológico aceptables. No obstante, el grupo ICE ha recomendado en diferentes ocasiones la reubicación de Casa de Máquinas, en las visitas al campo de los Geóls. M. Shibata y N. Denboya, a los cuales se les mostró las lutitas recuperadas en las perforaciones de los alrededores de casa de máquinas y en las diferentes trincheras exploratorias con finalidades geológicas. Posición que luego es retomada por la misión japonesa en el apartado 7.1.7 página 7-18, cuarto párrafo.

7.1.3 Geología Regional

(1) Resumen de Topografía.

En relación con la presencia de laderas inestables en el área del proyecto, es criterio de los profesionales involucrados en la investigación por parte del grupo ICE, que en la margen derecha del río Paquita, en el sector de Casa de Máquinas, existe un deslizamiento con un volumen potencial de 700 mil metros cúbicos disponibles a movilizarse en estado de saturación y bajo determinadas condiciones dinámicas, en donde se han encontrado evidencias remanentes de su actividad que incluye represamientos del río Paquita (trincheras, ver foto #1), apoyado con la presencia de depósitos arcilloso lagunares, que podrían haber actuado como superficie de despegue en deslizamientos anteriores.

Además, se observa una morfoestructura neotectónica tipo "pata de elefante" en la margen derecha y un alineamiento de coronas de deslizamientos con orientación E-W, posiblemente controlados por una falla con actividad reciente.

3.2 Análisis del Sitio de Presa, Embalse y Conducción.

(7.1.4) Geología del Sitio de Presa.

Se menciona en el Interim Report que los tres sitios de presa propuestos presentan condiciones geológico-topográficas muy semejantes. Sin embargo escogen el sitio 3, de aguas abajo, como el óptimo sin mencionar el criterio usado para su definición, creemos que sería conveniente indicar si el criterio de selección fue de índole hidráulico.

El ICE ha estudiado las tres alternativas considerando lo siguiente:

- el eje #1 tiene una fuerte cobertura de suelos en la margen derecha evidenciados en la PHLLL#1 y pozo #1.
- el eje #2 presenta mejores condiciones que el eje #1, pero la cobertura de roca meteorizada y suelo residual sigue siendo importante.
- el eje #3 tiene una roca que se investigó con la galería de margen derecha y con la perforación PHLLL#4. Las condiciones son mejores que las otras dos alternativas, pero no se conoce la margen izquierda ya que se inició una galería que excavó 11 m. De estos, 6 m se dejaron a cielo abierto y 5 m en una roca meteorizada.

(2) Sitio Aguas Arriba

Coincidimos con la descripción y valoración de los conglomerados aflorantes, agregando que en la margen derecha el desarrollo de suelos es más potente, de 3 a 5m cerca del río y hasta 25 m en la cresta derecha.

Se aclara que en términos generales en el sitio de presa del eje #3 se ha detectado la presencia de dos niveles freáticos en la margen derecha. El más superficial a menos de 10 m y el más profundo entre 35 y 40 m; los cuales no han sido contemplados en el Informe de Julio 1995 de JICA.

(7.1.5) Geología del Embalse

Con respecto a la estabilidad de laderas del sector del embalse, se considera que, si bien es cierto no hay evidencia de movimientos importantes, las fuertes pendientes, la alta precipitación y su régimen hidrodinámico, obliga a tener un levantamiento de coronas de deslizamientos para descartar definitivamente el peligro de deslizamientos que afecten el embalse y el proyecto en general.

(7.1.6) Geología de la ruta de conducción

El mapa geológico del grupo japonés no contempla en la quebrada Jilgero, que constituye una zona de baja cobertura, la existencia de varias complicaciones tales como:

- 1.- Cambio litológico, que pone en contacto las brechas y conglomerados, de una calidad mecánica entre regular y buena, con una secuencia turbidítica de mala condición física (Unidad de Lutitas y areniscas Calcáreas).
- 2.- Estructura de falla vertical de tipo sinistral orientada NW-SE, transversal a la línea de túnel, en correspondencia con una anomalía geoelectrica (i+ 800 m).

Vale aclarar que la alternancia de arenisca/lutita no desaparece a la profundidad del túnel, como se indica, sino que en realidad por la disposición de los estratos éstos no serán atravesados por el túnel.

Con respecto a las fallas y pliegues, estos ya han sido identificados y cartografiados por el ICE, de lo cual los consultores tienen constancia dado que se les entregó la información correspondiente. Consideramos que este aspecto debe ser discutido más ampliamente, por las implicaciones que tienen para las obras.

En este momento ya se ha logrado obtener una correlación efectiva entre 4 de las 9 fallas cartografiadas y las anomalías geofísicas, cuyos anchos oscilan entre 30 y 60 m.

Así mismo, cerca del tanque de oscilación se ha cartografiado una falla paralela a la ruta de conducción, entre las estaciones 0+00 (T.O.) y 0+400 m, 40 m al sur de la línea de túnel; con correlación geofísica. Su traza y fracturación asociada probablemente conllevaría problemas de excavación en el túnel, infiltraciones de agua, etc.

(7.1.7) Geología de la ruta de tubería de presión y casa de máquinas.

Se debe recalcar que los estudios geológicos-geotécnicos llevados a cabo por el ICE fueron enfocados a una alternativa de tubería de presión superficial como se había esquematizado por parte de la Oficina de Proyectos Hidroeléctricos. Sin embargo, la misión japonesa se decidió por una alternativa subterránea; posterior a las campañas. Lo anterior ocasiona que nuestros datos no sean extrapolables a las nuevas profundidades.

(1) Tanque de oscilación

Donde dice "volcanic conglomerate" se debe entender que es un conglomerado volcanoclástico y no una roca de origen volcánico. El término conglomerado se aplica en el léxico local a rocas sedimentarias.

(2) Sitio de Casa de Máquinas.

Creemos conveniente discutir más ampliamente la ubicación de la obra planteada por JICA, debido a las consideraciones geoestructurales, dada su cercanía a la falla longitudinal de Costa Rica, accidente tectónico de envergadura regional y fallas neotectónicas asociadas a esta.

Asimismo, el potencial sísmico asociado al proceso de subducción activa de la cercana fosa mesoamericana. Un caso reciente es el evento con M 5.1 y profundidad de 30 km del 28 de diciembre de 1994, en las cercanías de Quepos.

En igual sentido los resultados de estudios de avenidas y nuevos deslizamientos generados durante el invierno de 1995 y cuyo alineamiento de coronas, sugiere algún control estructural, el cual es muy evidente en las fotografías aéreas.

3.3 Análisis de ensayos

(7.1.8) Ensayos *in situ* para fundación en sitio de presa, tubería de presión y casa de máquinas.

Lo presentado en éste capítulo del Interim Report corresponde con los resultados de ensayos Goodman realizados en las perforaciones de sitio de presa, tubería de presión y casa de máquinas. Se incluyen también comentarios de ensayos con placa rígida en la galería de margen derecha del sitio de presa y en el pozo #2.

Los valores indicados son los obtenidos por el ICE a excepción del alto valor en el Módulo Secante de la Estación 0+015 de la galería de margen derecha, en donde se señala un valor de 1,441.700 kg/cm², siendo lo correcto 144.700 kg/cm².

Los valores obtenidos en el pozo son el resultado de la roca meteorizada, la cual es recomendable remover.

Las características de deformabilidad del sitio de presa indican que son adecuadas para la fundación de la presa.

Los valores presentados en las perforaciones PHLLL#18TP y PHLLL#19CM, no coinciden con los presentados por el ICE en éstas perforaciones. Se puede atribuir a un posible error en la comunicación con la misión japonesa.

En la perforación PHLLL#18TP tenemos que el módulo Global varía entre 25.600 y 126.092 kg/cm², el tangente entre 33.150 y 100.062 y el elástico entre 41.575 y 109.600. Estos valores no coinciden con el rango entre 36.000 y 145.000 kg/cm², indicadas en el informe de JICA.

En la perforación PHLLL#19CM el módulo Global varía entre 2152 y 13.535 kg/cm², el tangente entre 4.610 y 28.030, el secante entre 4.400 y 22.460, el elástico entre 11.600 y 30.900 kg/cm². No coinciden tampoco el rango indicado en el informe, que señala la variación entre 3.000 y 9.000 kg/cm².

Los valores de los módulos, especialmente de la perforación PHLLL#19CM, indican que la roca es deformable y que debe estudiarse esta situación para definir las características de fundación de la casa de máquinas, tal y como se indica en el informe.

Hay que hacer mención especial de la perforación PHLLL#13CM de 50 m de profundidad y en donde se intentó realizar ensayos con el gato Goodman. Debido a la mala condición del material no fue posible, realizar ningún ensayo. Se introdujo el equipo a 46.00, 45.50, 40.50, 35.00, 30.00 y 20.00 m de profundidad pero la alta deformabilidad del material, no se pudo completar ningún ciclo.

Esta perforación se ubica aproximadamente a 30 m de la propuesta de JICA para la ubicación de casa de máquinas. A partir de 44.80 m de profundidad (elevación 57.23 m.s.n.m.), se encontraron las lutitas caracterizadas anteriormente, que se asocian con posibles problemas de fundación.

No hay que despreciar situaciones similares para la estabilidad de las laderas de corte, ya que a lo largo de toda la perforación existen fuertes evidencias de fricción.

Además, la cercanía del río con la nueva ubicación incrementa el peligro de inundación de la obra propuesta por JICA en las épocas de lluvia.

- (7.1.9) Prospección geofísica en sitio de presa, T.O. línea de túnel, tubería de presión y casa de máquinas.

La diferencia en la interpretación, en los métodos y objetivos de la investigación ha generado resultados un tanto diferentes, específicamente en lo referente al número de capas sísmicas

obtenidas. Esto se explica por los diferentes métodos y modelos empleados por el ICE y JICA. (ver tablas 7-10 a 7-13, informe JICA julio 94)

(7.1.10) Ensayos en Núcleos

La primera sección de éste capítulo señala los rangos de las gravedades específicas, absorciones y compresiones inconfiadas, los cuales corresponden con los resultados de las perforaciones #1, #2, #3, #4 del sitio de presa. Se coincide en el concepto expuesto en el informe con respecto al sitio de presa, en todos los ejes de presa.

Con respecto al conglomerado de la tubería de presión y casa de máquinas, se analizan los resultados de núcleos de las perforaciones PHLL#10 CM, PHLL#11 CM, PHLL#12 CM, PHLL#13 CM, y PHLL#14 CM.

Los rangos de gravedades específicas y absorciones no indican problemas. Los resultados de compresión inconfiada en el informe indican que son adecuados para la fundación de la casa de máquinas, sin embargo los valores promedios de cada perforación son bajos, como se indica a continuación:

PERFORACION	N	Qu (promedio) Kg/cm ²
10	7	200
11	6	130
12	1	134
13	1	172
14	8	315

Hay que diferenciar entre los conglomerados de la tubería de presión y las lutitas de casa máquinas. En los primeros se pudo recuperar núcleos para ensayos mientras que en los segundos no fue posible, ya que el material al contacto con la superficie se desintegra.

La resistencia de la roca de casa de máquinas, alternativa #1, es baja no siendo necesariamente adecuada para la fundación de la casa de máquinas.

3.4 Algunos Comentarios sobre los Planos Incluidos en el "Interim Report"

PLANO 7-7 : Este plano tiene una versión mejorada y además fue entregada a los miembros de la misión de JICA.

PLANO 7-8 : No aparecen buzamientos indicados. Llama la atención el patrón de afloramiento de la alternancia de Lutitas- Areniscas, ya que pasa súbitamente de buzar al norte a inclinaciones prácticamente verticales en distancias cortas, lo cual no es explicado en el texto y tendría implicaciones en el túnel.

PLANO 7-10: No aparecen buzamientos indicados.

PLANO 7-13: Idem

4. COMENTARIOS AL CAPITULO 8 DEL INTERIM REPORT

Sismicidad

El capítulo de sismicidad se puede considerar aceptable para el nivel de estudio en que se encuentra el proyecto. Sin embargo, para efectos de diseño final de las obras civiles, se deberá preparar un estudio más detallado y específico.

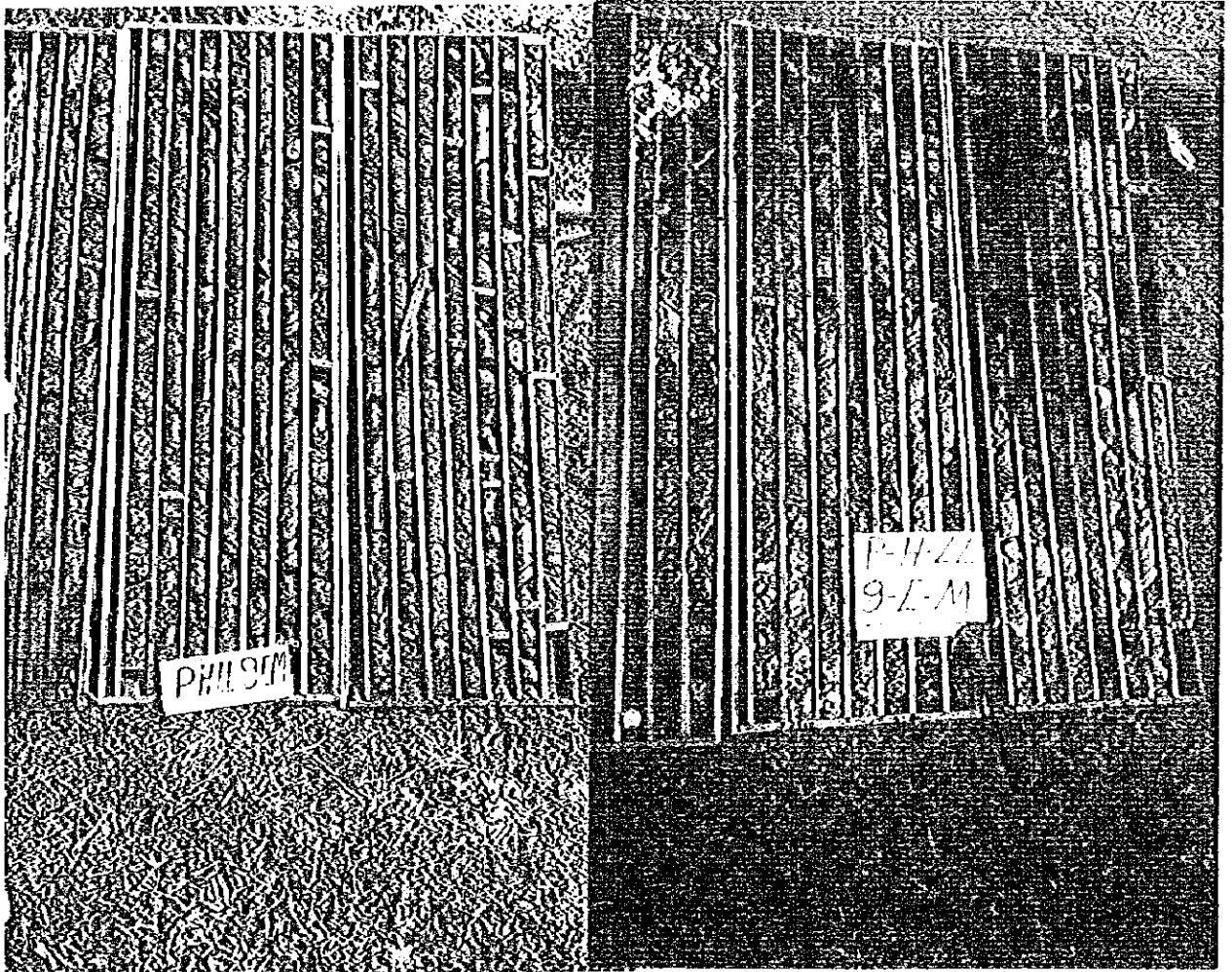
Se deberá realizar un estudio de amenaza sísmica que incluya los siguientes puntos que no fueron considerados en el Interim Report de julio 1995:

- 1- Confección y utilización de mapas tectónicos regionales y locales actualizados, incluyendo la determinación de las fuentes sísmicas más importantes (fallas activas por ejemplo). Esta información es fundamental para cualquier estudio de amenaza sísmica, ya sea por el método determinístico y/o probabilístico.
- 2- Utilización del banco de datos sismológicos de Costa Rica, que incluye relocalizaciones de eventos importantes. Este banco es muy completo y confiable, significativamente superior en cantidad y calidad con respecto al banco de datos de la Red Mundial.
- 3- Utilización de la ecuación de atenuación desarrollada para América Central, la cual incluye información mayoritariamente de Costa Rica.
- 4- Utilización de una metodología probabilística para el análisis de la amenaza sísmica, que permita considerar y cuantificar, los principales rasgos tectónicos regionales y locales, como por ejemplo la metodología de Cornell (1968).
- 5- Considerar la incertidumbre de la información utilizada, realizando un análisis de árbol de lógica.
- 6- Finalmente, queremos hacer notar que los valores de aceleración pico máxima estimada en el estudio de los japoneses son un poco bajos y no comparables con las aceleraciones registradas en el país durante las crisis sísmicas de los últimos años.



FOTOGRAFIA # 1:

Trinchera # 13, localización, margen izquierda, casa de máquinas, alternativa # 1; coordenadas de referencia: 385234- 54857. Punto de muestreo mediante difracción de rayos X. Montmorillonita cálcica fina con estructuras sedimentarias que documentan un ambiente de depositación de aguas tranquilas, baja energía y en posición semi horizontal, (14°). Corresponde con la secuencia de colmatación de ambientes de estancación, evidenciado por la presencia de materia orgánica de tipo vegetal. Un evento pretérito de represamiento del río Paqúita a nivel de casa de máquina, alt. # 1.

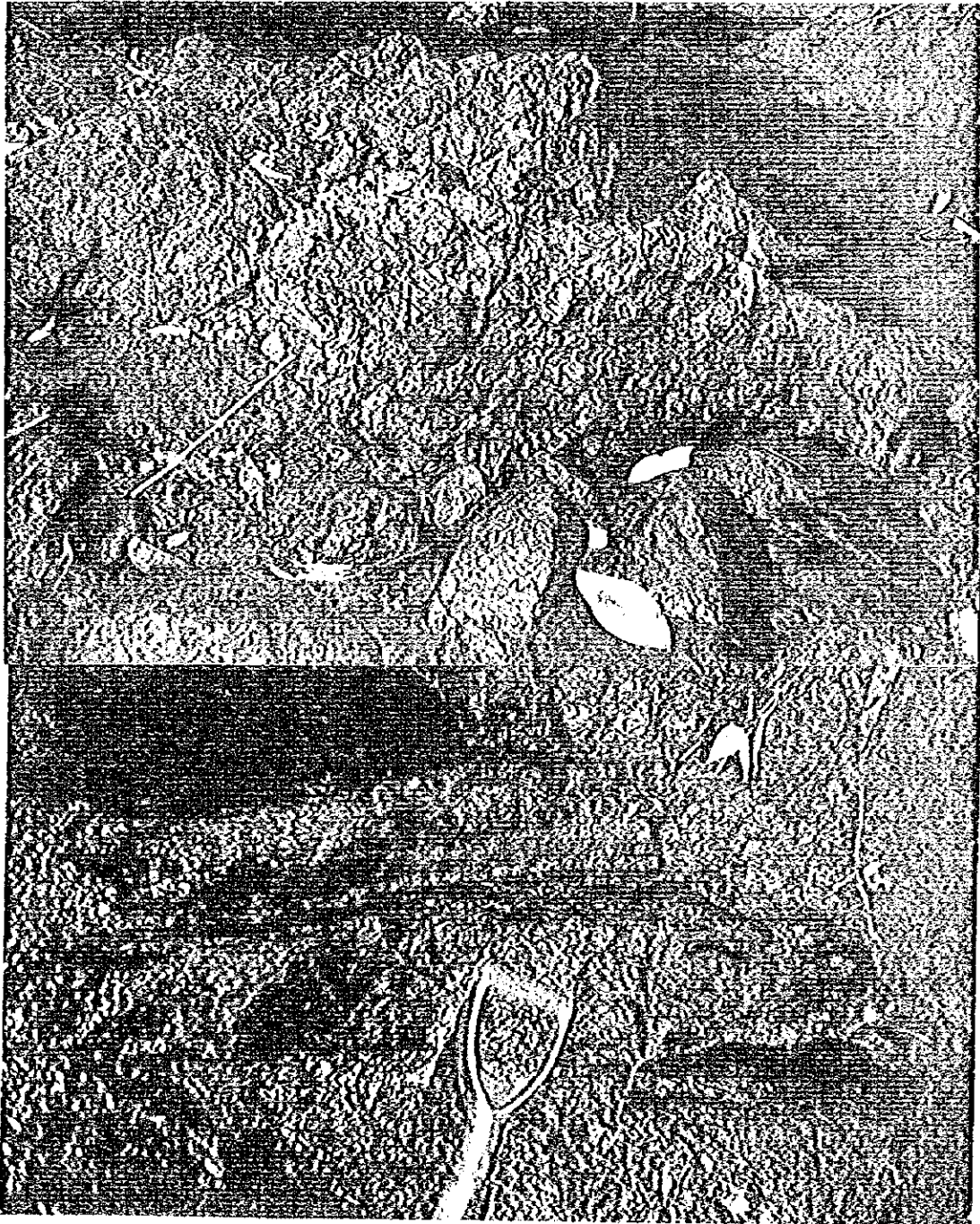


FOTOGRAFIA § 2-3.

Perforación PHP-9CH.1, Las fotografías corresponden a los núcleos recuperados en dicha perforación con fotos tomadas con un intervalo de tiempo de una semana. Nótese la degradación mecánica del material en cuentión (margas) y el comportamiento de roca blanda con respecto a la penetración mediante una cuchilla. Foto izquierda, rocion terminada la perforación; foto derecha, tomada una semana después, en condiciones normales ambientales. (sombra).

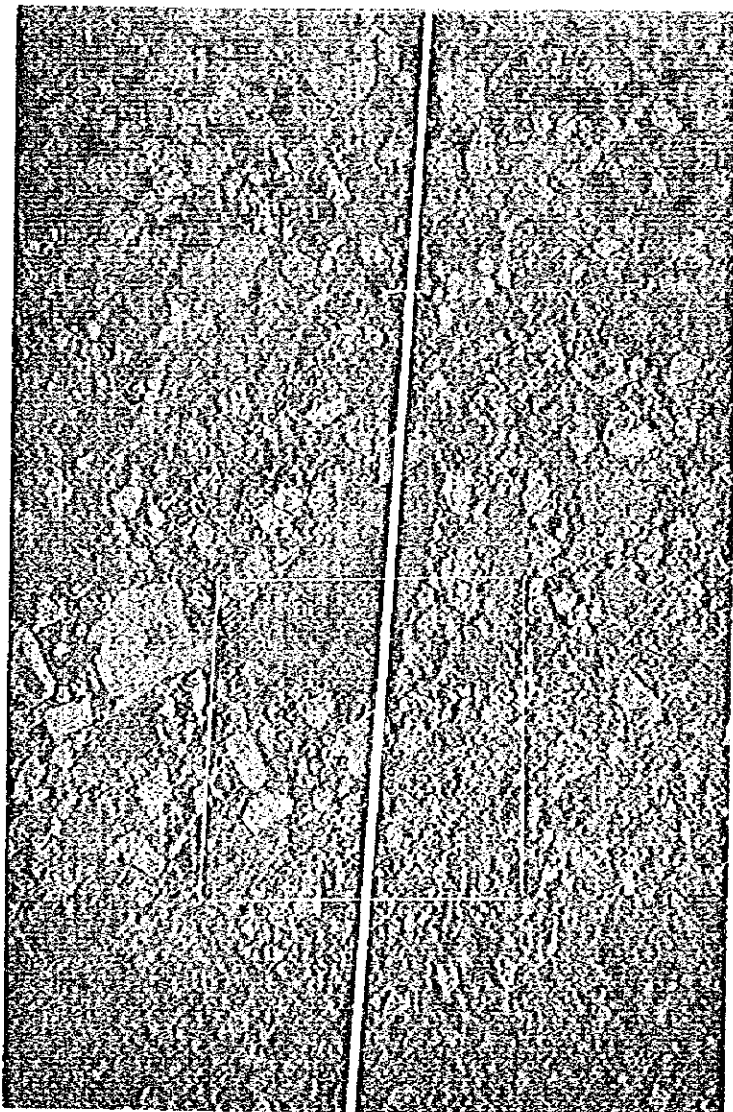


FOTOGRAFIA # 4.
PHLL-9CM. EVIDENCIAS DE FRICCIÓN EN NUCLEOS A
UNA PROFUNDIDAD DE 31.50 METROS; PERFORACION ,
CERCANA AL PUNTO CENTRO DE CASA DE MAQUINAS,,
ALTERNATIVA # 1



FOTOGRAFIA # 5 y 6

Facies de brechas y conglomerados, la fotografía superior muestra la característica de amalgamación que evidencia la compactación post-diagenética del sedimentos post-depositación; el material semeja un "cemento ciclópeo", nótese el contacto puntual de los clastos componentes. La fotografía inferior muestra la subfacies de lutitas ligeramente calcáreas; nótese el alto grado de consolidación del sedimemento.

**FOTOGRAFIA # 7.**

Unidad de brechas autoclásticas. La fotografía fue tomada en una trinchera cercana al tanque de oscilación, la misma se profundizó hasta los 9.5 metros notándose la estabilidad de cortes verticales en un intervalo de tiempo de 60 días, teniéndose que aterrizar al abandonar el proyecto, por razones de seguridad, siempre mantuvo la estabilidad. La condición que se observa es en el estado de arcillificación. Nótese los contactos interclastos, de naturaleza puntual, plana o interpenetrada, evidencia de la sobreconsolidación, (tectónica o post-diagenética?). El cuadro observado tiene dimensiones de 50 x 50 cms.

**FOTOGRAFIA # 8**

Zona de contacto entre la litofacies de lutitas calcáreas y la unidad de brechas y conglomerados,, coordenadas de referencia 385234-455044. Trincherera realizada con el objetivo de conocer la naturaleza del mismo, que consiste en una estructura de falla de naturaleza inversa buzante hacia aguas arriba del río Paquita, con un ángulo de inmersión de 48°. La secuencia inicialmente citada sobreyace a la unidad de lutitas calcáreas
A nivel de la alternativa # 1 de casa de máquinas esta estructura tuvo control con la perforación PHLL-13SP, con un ángulo de inmersión de 45°, en la misma dirección.

COMMENTS ON
"INFORME GENERAL DE AVANCE"

Geology Section

Electric Power Development Co., Ltd.

1. Geology and Construction Materials

(1) Descriptions of Geological Units

Purely geological descriptions of individual geological units have been made in detail. The JICA Study Team does not think of anything especially requiring addition or modification in this regard. In the text of Final Report, such geological descriptions are omitted except for points directly affecting design, and the minimum degree of purely geological description is made.

(2) Physical Property Values of Rock Mass

In case of compiling physical property values of the rock mass (modulus of deformation, modulus of elasticity, unconfined compressive strength, etc.), it is proposed that compilation not be done only by rock type, but by each rock classification upon carrying out rock mass classification. Further, regarding measuring points which have indicated extraordinary values, the causes should be investigated and, depending on the case, omission from calculation of average values should be considered. It is proposed that after omitting such abnormal values, in order also to show the scatter in data, the maximum and minimum values should not merely be given, but all data should be shown in the form of a list or a graph.

Regarding the results of Goodman jack tests at PHLL19CM, the data furnished to the JICA Study Team from ICE are only stress vs deformation diagram. The values of modulus of deformation and modulus of elasticity calculated by the JICA Study Team based on these are used in the Final Report. Although there are slight differences from the values calculated by ICE, the approximate values are in agreement, and the design in the Final Report are not affected.

As for the drill core tests of PHLL18TP and PHLL19CM, no data have been obtained by the JICA Study Team. Judging from what is written in the information from ICE, it is considered that the design in the Final Report will not be affected, but it is recommended that the data be compiled in the form of a list clearly indicating depths of sample collection and rock classifications for using the data at later stages.

The data up to PHLL17TP furnished to the JICA Study Team by ICE are all given in the Final Report in the form of compilation by rock classification.

The results of Goodman jack tests at PHLL18TP are reflected in the text of the Final Report.

(3) Geophysical Prospecting

The results of seismic prospecting were reflected in the Final Report for the purpose of estimating the condition of the rock mass (weathered or fresh, etc.). However, a part of the headrace tunnel route has very thick overburden and is thought to exceed the deep limit of prospecting to be done and thus is given only as reference.

Regarding specific resistivity survey, the value of resistivity of a rock mass is not an index directly indicating the physical properties themselves, and although it is effective in case of extracting hydrothermally altered zones in fresh rock, such a place is not found inside the project area, and so these were given only as reference.

(4) Groundwater Level at Dam Site

Among the data furnished to the JICA Study Team by ICE, there is one data on water level obtained in drillhole at the right bank of the dam site (PHLL3SP). An analysis is made in the Final Report based on this.

Although it is thought there will be no effect on the design in the report even if there were to be two water levels, it is recommended that in case of carrying out drilling investigations at stages after the Feasibility Study, continuous and careful water level measurements and permeability tests be conducted. Particularly, water level measurements during drilling are important, and it is recommended that records be kept on cementation and other items also.

Investigations to be made after the feasibility study stage are described in Chapter 15.

(5) River Deposits

A description is given in 7.2, Chapter 7, of the Final Report with regard to the possible use of river deposits as concrete aggregates. As is stated in that clause, it is recommended that areas in a short-distance range from the place of use (the dam in this case) be studied as prospective sites for collecting aggregates.

(6) **Landslide Topography of Right Bank of Rio Paquita**

It has been designed for immediately below the land-slide topography by old landslide at the right bank of the Rio Paquita opposite the powerhouse site to be made a disposal area, and it is thought there is little risk of re-sliding.

(7) **Selection of Dam Site**

The topographical and geological features of the three locations proposed as dam sites and the background of selection of the final proposal are described in 7.1.4 of the Final Report.

(8) **Geology of Reservoir**

It has been thought up to now that there are no unstable slopes of large scale inside the reservoir area and it is considered unnecessary for additional investigations to be made. Details are given in the Final Report.

(9) **Geology of Headrace Tunnel Route**

At present, the only data available for estimating the geological condition of the headrace tunnel route are those from surface geological reconnaissances. Accordingly, since it is considered the accuracies of parts with thick overburden are not good, it is recommended that the accuracies be improved using drilling investigation data at stages after the Feasibility Study. At such times it will be necessary for attention to be paid to the fact that there will be the following features regarding geophysical explorations:

- There is a limit to the depth which can be explored by seismic prospecting.
- Accuracy of locational information in resistivity survey is poor while a direct relationship has not been obtained between resistivity and rock mass physical (mechanical) properties.

Further, of the faults shown on the geological plan prepared initially by ICE, a number of faults were found not to exist in joint surface geologists reconnaissances by an ICE geologists and the JICA study team. The geological plan has been prepared reflecting the results of those surface geological reconnaissances.

It is recommended that regarding faults expected to exist in the vicinity of the headrace tunnel route and influences of those faults, a study be made based on data of investigations after the Feasibility Study.

(10) Conglomerate (Volcanic)

The term "conglomerate (volcanic)" is used herein taking up the feature that practically most of the component gravels are volcanic rocks. It does not mean that the rock is a product of volcanic activity. In any event, the name of conglomerate does not affect the geotechnical evaluation of this Project.

(11) Investigation of Powerhouse Site

It is recommended that the rock mass conditions at the powerhouse site and penstock route proposed in the Final Report, be examined during subsequent stages.

As described in detail in 7.1.4 of the Final Report, excavation at the powerhouse site in the design is to be as far as the depth of distribution of conglomerate, and excavation of marlstone has not been done. The conglomerate has ample strength as the foundation rock for the powerhouse, and it is considered there will be no problem from a geotechnical standpoint.

In the event a design change is made in the future for excavation to be done to the depth of marlstone distribution, the rock will have ample strength unless it is under stress free or in a state of repetitive wetting and drying, and it is considered this can be dealt with by exercising care in executing work.

Further, the vicinity of the boundary between conglomerate and marlstone has an outcrop showing a fault sheared zone condition nearby, but according to a wide-area surface geological reconnaissance carried out jointly by ICE geologists and the JICA study team, the relationship between the two formations is thought to be of conformity or local unconformity.

Neither is a large-scale sheared zone confirmed at PHLL13CM. Accordingly, it is thought unnecessary for an engineering measure to be forcibly taken for a sheared zone in this case.

The penstock is designed to be entirely underground in conglomerate, and it will be possible to make an evaluation based on the results of additional investigations at later stages.

(12) Goodman Jack Test at PHL13CM

It is not possible for an examination to be made since there is no description in the information of ICE regarding when a Goodman Jack test was performed at PHL13CM. But generally, with rock such as marlstone having a tendency to deteriorate from stress-free or repetitions of wetting and drying, it would be recommended for testing to be done immediately upon drilling a borehole. Evaluation of results is difficult with a test done after a period of time has elapsed.

2. Seismicity

- 1 Preparation and utilization of latest regional and local crustal structure map including explanation of most important earthquake source (e.g.: active fault). This information will be the basis of investigation for all seismic measures such as decision theory and/or stochastic methods.

In case of carrying out earthquake-resistant design of a structure such as a dam, great earthquakes occurring at plate boundaries and near-field earthquakes occurring inland are important as earthquakes which should be hypothesized. Great earthquakes which occur at plate boundaries are considered to occur on the order of once in 100 or 200 years because the relative motion speeds of plates are fast (several centimeters per year). Therefore, with regard to great earthquakes occurring at plate boundaries, it is possible to evaluate seismic risk with comparatively good accuracy by seismic risk analysis using historical earthquakes.

On the other hand, near-field earthquakes occurring inland are considered to be of very long return periods (on the order of 1,000 years or 10,000 years). Accordingly, it is not necessarily possible for inland near-field earthquakes to be properly evaluated by seismic risk analysis using historical earthquakes. In order to properly evaluate inland near-field earthquakes, evaluations of active faults, strictly speaking, determination of whether or not they are earthquake source faults, and determination of particulars (parameters) of earthquakes occurring from earthquake source faults will be necessary.

However, determination of whether or not it is an earthquake source fault, and determination of the particulars of earthquakes occurring from the earthquake source faults are extremely difficult problems to resolve with the present technological levels of seismology and geology.

As have been pointed out, explanation of active faults, and explanation of regional and local crustal structures are very important matters. Accordingly, it is thought necessary hereafter to study what methods (scientific methods, engineering methods) can be adopted so that these problems can be resolved, and how much expense and investigation time will be required.

2 Utilization of earthquake data bank of Costa Rica including retransfer of principal phenomena. This data bank is very complete, is reliable, and is of considerable excellence both qualitatively and quantitatively in relation to the data bank of the worldwide network.

Regarding occurrences of earthquakes, since there are regional characteristics of the respective regions, it is wished to utilize by all means the earthquake data bank of Costa Rica in carrying out future studies. It is requested that earthquake data be furnished.

In this latest seismic risk analysis, the study was carried out based principally on earthquake data of NOAA and adding earthquake data of Costa Rica (furnished by ICE) available at this time. Of earthquakes occurring in the past, those of large scale have been incorporated in the seismic risk analysis with almost no exception. Consequently, it is judged that there will be little effect seen in seismic risk analysis.

3 Utilization of equation of attenuation developed especially for Central America. The greater part of information on Costa Rica is included in this.

Since there are regional characteristics of the respective regions in equations of attenuation also, it is thought that with regard to the equation of attenuation developed especially for Central America, evaluations are to be made hereafter applying the equation to confirm the appropriateness of the present seismic risk analysis. It is requested for information related to the equation of attenuation to be furnished.

Further, in the present analysis, in order to give consideration to uncertainties concerning regional characteristics, seismic risk analyses were made using four kinds of equations of attenuation proposed in the United States and Japan as mentioned in p8-6 of the Final Report. And, engineering evaluations on the conservative side were made in a manner to envelope the respective results.

- 4 Utilization of stochastic methods for analysis of the frightfulness of earthquakes. By doing so, it will be possible to examine and quantify the principal features of regional and local crustal structures. (e.g.: Cornell's method, 1968)

The seismic risk analysis for the Los Llanos site was carried out by a stochastic method based on Gumbel's extremum theory.

Cornell's method is one type of stochastic method. In this method the time series of earthquake occurrence is assumed as a Poisson process, a hypocentral area having an expanse in location of occurrence is considered, and the seismic risk is based on the hypothesis that earthquakes will occur uniformly and at random in that area. In general, this method is used mostly when earthquake data are scarce.

With regard to Costa Rica, many earthquakes have occurred in the past because it is located on the Circum-Pacific Earthquake Belt, and it is possible to use plentiful earthquake data covering a long period of time. So, it is thought a reasonable seismic risk analysis has been made possible through seismic risk analysis based on Gumbel's extremum theory.

- 5 Performance of logic tree analysis taking into consideration the uncertainty of information utilized.

Seismologically and geologically, there are many unexplained matters remaining with regard to earthquakes and active faults. Accordingly, there are various uncertainties regarding evaluation of seismic risk. It is thought that one method of covering uncertainties due to the present technological levels of seismology and geology is that of taking an engineering approach.

Seismic risk evaluation is the first step of earthquake-resistant design. Regarding problems which cannot be completely explained seismologically or geologically, it is thought that by giving thorough aseismic engineering considerations in future earthquake-resistant design, it will be possible to overcome uncertainties, and electric power facilities (dams and others) possessing ample earthquake resistance can be constructed.

6 Finally, it will be stated that the maximum peak acceleration estimated in the investigation by the JICA study team was slightly low and cannot be compared with accelerations recorded in the country during recent earthquakes.

In the Interim Report, the value of 300 gal was presented as the conclusion regarding the maximum acceleration estimable for the site. However, it should be noted that the 300 gal is a value defined at the surface of hard basement rock in the hypocentral area. Consequently, in case the rock mass is soft, in case there is prominent relief of the terrain, in case of responses of a structure, this would be amplified by 2 to 3 times, or depending on the conditions, by several times.

In Japan also, accelerations of several hundred gal or even more than 1,000 gal have been observed in past earthquakes at surfaces of soft ground, crests of dams, upper parts of buildings, etc. These acceleration values, however, include amplifications at ground surface layers and responses of structures.

In earthquake-resistant design, the problem of how inland near-field earthquakes are to be evaluated, in other words, the degree of the maximum acceleration in the hypocentral area, is of great importance. It is reported in studies concerning the Kobe Earthquake which occurred on January 17, 1995 in Japan, that the maximum acceleration of the surface of hard basement (rock mass) in the hypocentral area was about 300 gal. Such reports provide precious information in considering future earthquake-resistant design.