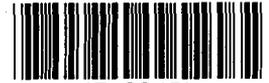


627.151
Q5

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**DEPARTAMENTO DE INGENIERIA, DE GEOLOGIA,
MINAS Y PETROLEOS**



TESIS

**Previa a la obtención del Título
de
INGENIERO GEOLOGO**

TEMA:

**“Geología y Geotecnia en Proyecto Hidroeléctrico
Toachi - Pilaton”**

**Estudio de Factibilidad para la construcción de la Presa
en Arco**

Presentada por:

LUIS QUEVEDO NOLIVOS

1975

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEOS

T E S I S

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE
INGENIERO GEOLOGO

T E M A :

"GEOLOGIA Y GEOTECNIA EN PROYECTO HIDROELECTRICO
TOACHI - PILATON". ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA
LA CONSTRUCCION DE LA PRESA EN ARCO.

PRESENTADA POR:

L U I S Q U E V E D O N O L I V O S

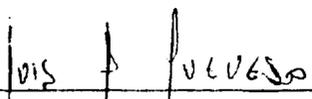
1975

"GEOLOGIA Y GEOTECNIA EN PROYECTO HIDROELECTRICO
TOACHI - PILATON", ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA
LA CONSTRUCCION DE LA PRESA EN ARCO.

T E S I S

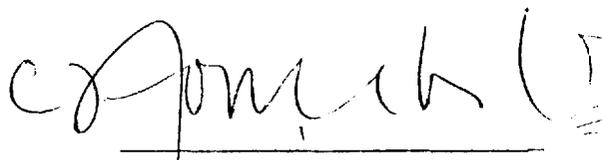
APROBADA POR EL DEPARTAMENTO DE ING. DE
GEOLOGIA, MINAS Y PETROLEOS DE LA ESCUELA
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

AUTOR



LUIS QUEVEDO NOLIVOS

DIRECTOR DE TESIS



GEOLOGO CARLOS LEITE G.

AGRADECIMIENTO:

A MIS ABNEGADOS PADRES

LA RESPONSABILIDAD POR LOS HECHOS, IDEAS Y DOCTRINAS EXPUESTAS EN ESTA TESIS, CORRESPONDEN EXCLUSIVAMENTE AL AUTOR.

LA PROPIEDAD INTELECTUAL DE ESTA TESIS CORRESPONDE A LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.

(ART. TEXTO DEL REGLAMENTO DE EXAMENES Y TITULOS PROFESIONALES DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL).

LUIS QUEVEDO NOLIVOS

GUAYAQUIL, ENERO DE 1975

"GEOLOGIA Y GEOTECNIA EN EL PROYECTO HIDROELECTRICO TOACHI - PILATON"

C O N T E N I D O

	Pág.
I. INTRODUCCION	
1.1. Objeto del estudio	1
1.2. Agradecimientos	2
1.3. Descripción del proyecto	3
1.4. Localización del área del proyecto y vías de acceso.	4
1.5. Clima y vegetación	5
1.6. Morfología	5
1.7. Estudios geológicos anteriores	6
II. INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOTECNICOS SOBRE EL DISEÑO DE PRESAS EN ARCO.	
2.1. Factores generales	7
2.1.1. Topografía	8
2.1.2. Problemática geotécnica y su influencia sobre las propiedades mecánicas de las rocas - la masa rocosa y la investigación de sus discontinuidades.	9
2.1.3. Procedimientos exploratorios directos e indirectos.	12
2.2. Consideraciones generales, relativas al diseño de las presas en arco.	14

	Pág.
2.2.1. Suposiciones de diseño	15
2.2.2. Métodos de diseño	16
2.2.3. Efectos de elasticidad	18
2.2.4. Módulo de elasticidad	18
2.2.5. Coeficiente de Poisson	20
2.3. Pruebas de la determinación de las propiedades elásticas.	21
2.3.1. Pruebas estáticas en el terreno	21
2.3.2. Pruebas estáticas en el laboratorio	22
2.3.3. Pruebas dinámicas en el laboratorio	22
2.3.4. Pruebas dinámicas en el terreno	23
2.3.5. Evaluación de las pruebas	24
2.3.6. Conclusiones	25
III. GEOLOGIA REGIONAL	
3.1. Consideraciones generales	26
3.1.1. Naturaleza y distribución de las principales unidades litológicas.	28
3.1.2. Estructuras principales	29
3.1.3. Historia geológica regional	30
IV. GEOLOGIA DEL SITIO DE LA PRESA Y DEL EMBALSE	
4.1. Ubicación	35
4.2. Morfología	35
4.2.1. La vertiente derecha (Este)	35
4.2.2. La vertiente izquierda (Oeste)	36

	Pág.
4.3. Unidades geotécnicas	37
4.3.1. Las rocas volcánicas del cretaceo	38
4.3.1.1 Petrografía	39
4.3.1.2 Origen y clasificación	41
4.3.2. La brecha tobácea	41
4.3.3. Depósitos superficiales	43
4.3.3.1 Suelos transportados	43
4.3.3.1.1 Aluviones	44
4.3.3.1.2 Coluvios	44
4.3.3.2 Suelos residuales	45
4.3.3.2.1 Meteorización de las rocas del substrato	47
4.4. Fracturación	47
4.4.1. Generalidades	48
4.4.2. Margen izquierda apoyo del arco y camino de acceso.	48
4.4.3. Margen derecha	49
4.5. Problemas diversos	50
4.5.1. Aguas subterráneas	50
4.5.2. Estabilidad de los taludes en las vertientes.	50
4.6. Zona del embalse	52
V. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO "LUGEON Y LEFRANC"	
5.1. Metodología de los ensayos	56

	Pág.
5.2. Recomendaciones generales para la ejecución de los ensayos "Lugeón y Lefranc".	57
5.2.1. Aparatos de medida	60
5.2.2. Frecuencia de realización de los ensayos "Lugeón y Lefranc".	60
5.2.3. Colocación del obturador	61
5.2.4. Conexión del medidor de agua y manómetro.	63
5.2.5. Anotación exacta de los elementos del dispositivo utilizado.	63
5.3. Establecimiento de una hoja de registros de ensayos.	64
5.4. Ensayos de agua tipo "Lugeón"	64
5.4.1. Medición de profundidades en el caso de una horadación inclinada.	64
5.4.2. Cálculo de las verdaderas presiones de inyección.	66
5.4.3. Interpretación de los ensayos "Lugeón".	74
5.4.3.1 Definición de la "Unidad Lugeón".	74
5.4.3.2 Método de cálculo aproximado de las unidades Lugeón.	75
5.5. Observaciones paralelas a la realización de los ensayos de permeabilidad tipo "Lugeón y Lefranc".	78

	Pág.
5.5.1. Pérdidas de agua	79
5.5.2. Pérdida de testigo	79
5.5.3. Napa freática	80
5.6. Forma de presentación de los datos de permeabilidad obtenidos a partir de los ensayos tipo "Lugeón y Lefranc"	81
VI. OBSERVACIONES GEOTECNICAS EN LOS TESTIGOS DE SONDEO	85
6.1. Registro de fracturas	87
6.2. Designación de la calidad de la roca (R.Q.D.)	88
6.3. Alteración	89
6.4. Litología y estructura	91
6.5. Forma de presentar los datos obtenidos	93
6.6. Perfiles	93
VII. OBSERVACIONES EN LAS GALERIAS	95
7.1. Litología	96
7.2. Estructuras	97
7.3. Alteración	97
7.4. Cantidad de agua y temperatura en las galerías.	98
7.5. Esfuerzos instalados en la masa rocosa	102
VIII. UBICACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION	107
8.1. Consideraciones generales	107
8.1.1. Prospección	108

	Pág.
8.1.2. Cubicación	109
8.1.3. Factor económico	110
8.2. Agregados para hormigón	111
IV. CONCLUSIONES	115
9.1. Morfología	115
9.2. Litología	115
9.3. Meteorización de las rocas del substrato	116
9.4. Estructuras	116
X. RECOMENDACIONES	118
XI. APENDICE	121
MAPAS 1, 2	
PERFILES 1,2, 3, 4	
XII. BIBLIOGRAFIA	127

I. INTRODUCCION

1.1. OBJETO DEL ESTUDIO

La presente obra busca resaltar la importancia de los estudios geológicos en el campo del diseño y construcción de pequeñas y monumentales estructuras ingenieriles a lo que solo recientemente se ha dado la debida atención en nuestro país.

Los estudios geológicos preliminares de un proyecto hidroeléctrico tiene por finalidad esencial la descripción de los múltiples materiales que constituyen los sitios de obras, considerando las características y propiedades que pueden influenciar en el diseño, seguridad y economía de las mismas.

En el sitio del embalse, se deben considerar esencialmente problemas de estanquidad y estabilidad de las vertientes, la búsqueda de las formaciones permeables, forma de los contactos y extensión de los distintos tipos de rocas y estudio de las discontinuidades en las masas rocosas, etc.

Para las obras subterráneas (túneles y obras auxiliares) es importante hacer previsiones considerando las posibles condiciones geológicas y tectónicas, geometría de las formaciones, la orientación de las fallas principales y sus

repercusiones sobre la facilidad con que el material será excavado, existencia de agua subterránea y ocurrencia de tramos que necesitarán de soporte o revestimiento.

Es muy importante establecer la petrografía y estructura propias de cada tipo de rocas, así como el grado de la meteorización en las quebradas aledañas al trazado de los túneles.

Para apoyar la previsión, se realizan trabajos de prospección sísmica y mecánica con el fin de precisar, en ciertos puntos importantes, el espesor de la cubierta sobre la roca firme, profundidad de la meteorización, calidad de la roca, existencia y extensión de zonas de fractura, contactos geológicos, etc.

En el sitio de la presa se llevan a cabo estudios sistemáticos muy desarrollados en la roca de fundación, con el objeto de localizar zonas fracturadas, zonas meteorizadas, grandes fallas, tipos petrográficos y describir los diferentes sistemas de discontinuidades, en cuanto a tipos, frecuencia, relleno y grado de abertura de las mismas.

1.2. AGRADECIMIENTOS

Durante el trabajo de campo, el autor contó con la cooperación de los directivos del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) que facilitaron e hicieron posi

ble la permanencia en el sitio de las obras durante los meses de abril a junio de 1974. Durante este lapso de tiempo colaboraron también con el autor los profesionales Ing. Marco Verdesoto y Dr. H. Gohran, pertenecientes al proyecto Toachi.

El autor agradece la asistencia de los profesionales del Departamento de Ing. de Geología, Minas y Petróleos de la Escuela Superior Politécnica del Litoral: Dr. Rudolph Trouw, Ing. José Herrera y en especial al Geólogo Carlos Leite, director de la presente tesis.

1.3. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) se halla empeñado en la realización de grandes proyectos hidroeléctricos que surtirán la energía suficiente para el desarrollo industrial y económico del país.

Uno de estos proyectos es el de los ríos Toachi-Pilatón, ubicado en el flanco oeste de la Cordillera Occidental, al Noroeste del país en la provincia del Pichincha, que represará las aguas de estos ríos y las conducirá por medio de túneles a Alluriquin, donde se ubican los generadores para la producción de 200 M Kw.

Actualmente se hallan concluidos los estudios de factibilidad del proyecto y se realizaron los siguientes traba

jos en dicha zona: mapeo de superficie, de galerías y pozos, descripción geotécnica de los sondeos mecánicos efectuados e investigación geofísica.

Las perforaciones mecánicas fueron efectuadas por Swiss-boring Overseas CO. Ltd. y la investigación geofísica (sísmica de refracción) por Geotest Ag., Berna. La supervisión de todos los trabajos estuvo a cargo de Motor Columbus.

1.4. LOCALIZACION DEL AREA DEL PROYECTO Y VIAS DE ACCESO.

El área estudiada está situada en la parte norte de la hoya del río Toachi que está encerrado entre la Cordillera Occidental y la Cordillera de Chugchilán los mismos que se sueldan al sur en los páramos de Zumbahua y en cuyo vértice se alza el volcán Quilotoa.

El sitio de la presa está ubicado en el río Toachi a unos 8 Kms. aguas arriba de su confluencia con el río Pilatón y a unos 500 m. aguas abajo de la confluencia con el Sarapullo.

Para llegar al área de estudio se parte de San Antonio de Toachi en el Km. 100 de la carretera Quito-Santo Domingo, por un desvío de rumbo Sur hasta llegar al recinto Palo Quemado. Esta vía es de verano y para vehículos de doble tracción; en invierno, de Diciembre a Junio, el

acceso es difícil por los derrumbes de los taludes en especial, cerca del sitio del proyecto.

1.5. CLIMA Y VEGETACION

En la zona de estudio, el clima es subtropical con temperaturas que fluctúan alrededor de los 19°C. En invierno las precipitaciones son abundantes comprendida entre los meses de Diciembre a Junio; en verano las lluvias son pocas. La flora corresponde al tipo montañoso, existe madera fina como cedro, guayacán y otros. Existen muchas hectáreas desmontadas y sembradas de pasto y caña de azúcar.

1.6. MORFOLOGIA

El relieve de la zona en general es irregular; de formas topográficas muy pronunciadas. El proceso dinámico de la erosión fluvial, ayudado por la meteorización ha dado lugar al relieve irregular de la hoya del Toachi.

El Toachi, río principal tiene su recorrido paralelo a la configuración de la hoya, la que se puede considerar formada en varias etapas geológicas.

Los movimientos orogénicos que actuaron a fines del terciario levantaron la Cordillera Occidental y sus ramales. Al terminar el tercer glacial pleistocénico (W. Sawyer) los estratos rocosos habían subido algunos miles de metros so

bre el nivel del mar al mismo tiempo que los agentes de meteorización destruían las rocas, por lo que el río Toachi aumentaba su gradiente y su caudal, erosionando los suelos superficiales hasta alcanzar la roca compacta más profunda, formando de esta manera un típico valle en "V" y en algunas partes en cañones; más al norte cambia de rumbo (sitio de la presa) antes de unirse al río Pilatón, juntos se transforman en tributarios del río Esmeraldas transportando materiales de sedimentación tales como gravas, arenas y limo. En la zona encontramos terrazas correspondientes a cauces antiguos del río, el modelado existente en la zona levantada geológicamente ha adoptado una configuración muy propia resultante de los movimientos corticales epirogenéticos y de la continua erosión fluvial; la morfología en general es dendrítica producto de la alteración química de los minerales petrográficos en un ambiente de clima cálido y húmedo.

1.7. ESTUDIOS GEOLOGICOS ANTERIORES

Ing. José Herrera por INECEL "Informe Geológico Preliminar de la zona Toachi, Alluriquín y las Pampas".

Dr. H. Takeda y S. Aguayo "Geología del área del proyecto hidroeléctrico del río Toachi".

II. INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOTECNICOS SOBRE EL DISEÑO DE PRESAS EN ARCO

2.1. FACTORES GENERALES

Si los estudios geológicos preliminares indican que la ubicación es adecuada para la construcción de una presa, - debe determinarse el tipo de presa. El sitio ideal para una presa de arco debe reunir las siguientes características y ventajas:

- *Un cañon estrecho donde la relación entre el ancho del valle en el coronamiento o cresta de la presa y la altura máxima de la presa no exceda de 4:1*
- *Empotramientos simétricos. Sin embargo, a veces, resulta económicamente como también deseable desde el punto de vista de la estabilidad, de perfilar un empotramiento asimétrico y construir un bloque que resista a los esfuerzos.*
- *En casos donde haya que desviar gran volumen de agua durante la construcción, una presa de arco puede resultar más económica que otro tipo porque puede utilizarse un corto túnel de desviación.*
- *Donde la topografía es adversa para vertederos, a menudo, se puede emplear un coronamiento de concreto como ubicación económica para el vertedero.*
- *Abastecimiento adecuado de cemento y agregado para concreto de buena calidad situado a una distancia donde sea*

económico transportarlo.

- Temperatura y clima moderados. El espesor relativamente pequeño del arco puede hacerlo susceptible a los efectos de heladas y deshielos.
- Roca de fundación con propiedades elásticas aceptables.
- Mano de obra razonable. Las presas de arco requieren mayor cantidad de formado por m^3 , que los embalses de gravedad, pero menor que lo que necesitan las presas de contrafuertes.
- Otros factores a tomar en cuenta son: actividad sísmica, profundidad del relleno y altura de la construcción. Sin embargo, éstos factores no influyen mayormente en la selección definitiva.

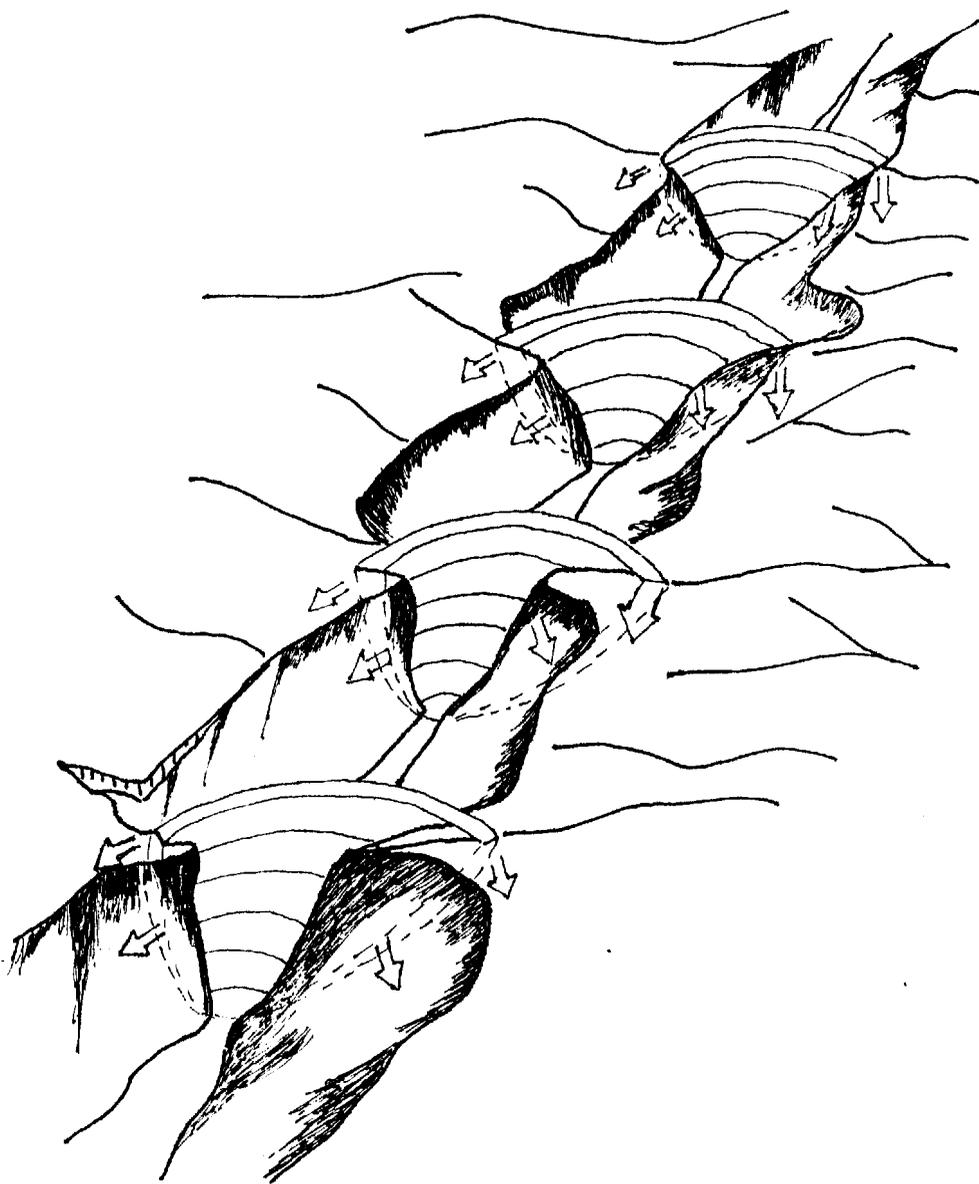
2.1.1. Topografía

Los considerables esfuerzos que ejerce una presa de arco sobre los empotramientos de roca constituye un factor importante. Las salientes topográficas que forman los empotramientos deben ser lo suficientemente anchas para resistir estos esfuerzos. Si es muy angosta, la roca puede ceder y aún ser completamente removida por las excavaciones de fundación. Por esta última razón no es conveniente ubicar una presa en el punto más estrecho de una garganta; los empotramientos de concreto deben asentarse

en la quebrada en dirección aguas arriba de las salientes. En caso que la excavación remueva gran parte de la roca de empotramiento en el coronamiento de la presa, es necesario construir bloques de concreto macizo. Estos bloques distribuyen la carga de los arcos en forma que reducen a los esfuerzos por metro cuadrado para no sobrepasar la elasticidad de la roca. También se emplean los bloques resistentes a los esfuerzos por metro cuadrado para no sobrepasar la elasticidad de la roca. También se emplean los bloques resistentes a los esfuerzos para reemplazar roca cuyo módulo de elasticidad sea menor que el de una formación subyacente, en el supuesto que ambos tipos de roca reciben los esfuerzos transmitidos por el arco.

2.1.2. Problemática geotécnica, y su influencia sobre las propiedades mecánicas de las rocas. La masa rocosa y la investigación de sus discontinuidades.

La complejidad de las obras a construirse y la previsión de futuros problemas que amenazan la estabilidad y buen funcionamiento de los mismos, nos conduce a la investigación de las discontinuidades de la masa rocosa que debe ser llevada a cabo después del trabajo geológico de superficie, o de manera combinada, considerando su íntima relación. Esta investigación de las discontinuidades es la operación por la cual se reúnen datos con los cuales



Consideraciones topográficas para seleccionar lugares de presas en arco (W.R. Judd, ingeniero geólogo, Dpto. del Interior EE.UU. de América, Denver - Colorado).

se puede construir un modelo físico o matemático de la masa rocosa, por tanto los factores que actúan sobre la ma

sa rocosa pueden ser considerados y sus efectos determinados. Estos datos pueden ser obtenidos primeramente mediante una investigación de superficie. Posteriormente se pueden utilizar sondeos de rotación, con observación de sus testigos, para luego emitir criterios sobre las discontinuidades y su disposición en la masa rocosa, junto con la perforación se pueden realizar estudios de pérdidas de agua, con lo que se obtienen otros criterios sobre las características de las discontinuidades de la masa rocosa.

Con estos estudios tenemos elementos de juicio suficientes para resolver problemas geológicos tales como los relacionados con la excavación de la estructura geológica, y la relación entre la geología y los esfuerzos ejercidos por la presa.

Generalmente, la operación de excavar la roca de fundación se denomina "perfilar la garganta para el arco". Es aconsejable efectuar la excavación preferentemente sobre un plano continuo a realizarla en una serie de gradas. Este último procedimiento puede crear altas concentraciones de fatigas con el consecuente agrietamiento o resquebrajamiento del concreto. Pueden ocurrir deslizamientos si la excavación remueve el apoyo interior de formaciones con estratificación o juntas que buzcan hacia el área excavada. Rocas trituradas por fallas, capas o estratos de arci

lla, o roca muy alterada, la acción de remover la sobrecarga mediante excavación puede producir alivio de esfuerzos instalados en los empotramientos, causando un lento movimiento hacia afuera de grandes masas de roca.

El segundo problema puede originarse por la posible compresión de estratos de arcilla o roca muy blanda con sentidos aproximadamente, normales al empuje; como resultado, puede haber deflexión y fracturamiento tensional del arco. Si las vetas corren paralelas a la dirección de los esfuerzos transmitidos por el arco, puede correrse aguas abajo el empotramiento debido al bajo coeficiente de fricción a lo largo del estrato. Además, las capas y capitas blandas dificultan las operaciones de relleno con lechada de cemento, a menos que se les lave bien con agua o aire previamente al relleno mismo. Al faltar un relleno adecuado, puede haber problemas de socavación, subpresión y pérdida de agua del embalse. Además se debe tomar muy en cuenta la distribución, extensión, y relleno de las discontinuidades presentes en la masa rocosa.

2.1.3. Procedimientos exploratorios directos e indirectos

Para la investigación de las discontinuidades de las masas rocosas, como ejemplo de métodos directos citamos el levantamiento de mapas de superficies, sondeos, pozos de prueba y túneles exploratorios. Los métodos indirectos -

incluyen el registro eléctrico o radioactivo de los pozos perforados, y encuestas geofísicas, sísmicas de refracción o de resistividad. Para un planeamiento adecuado del programa se requiere un mapa geológico de superficie que detalle la frecuencia y dirección de toda característica visible estructural y estratigráfica, y una estimación de la profundidad de la sobrecarga. El tipo de método exploratorio por emplearse dependerá del corte relativo implícito y de los detalles geológicos que se requieran.

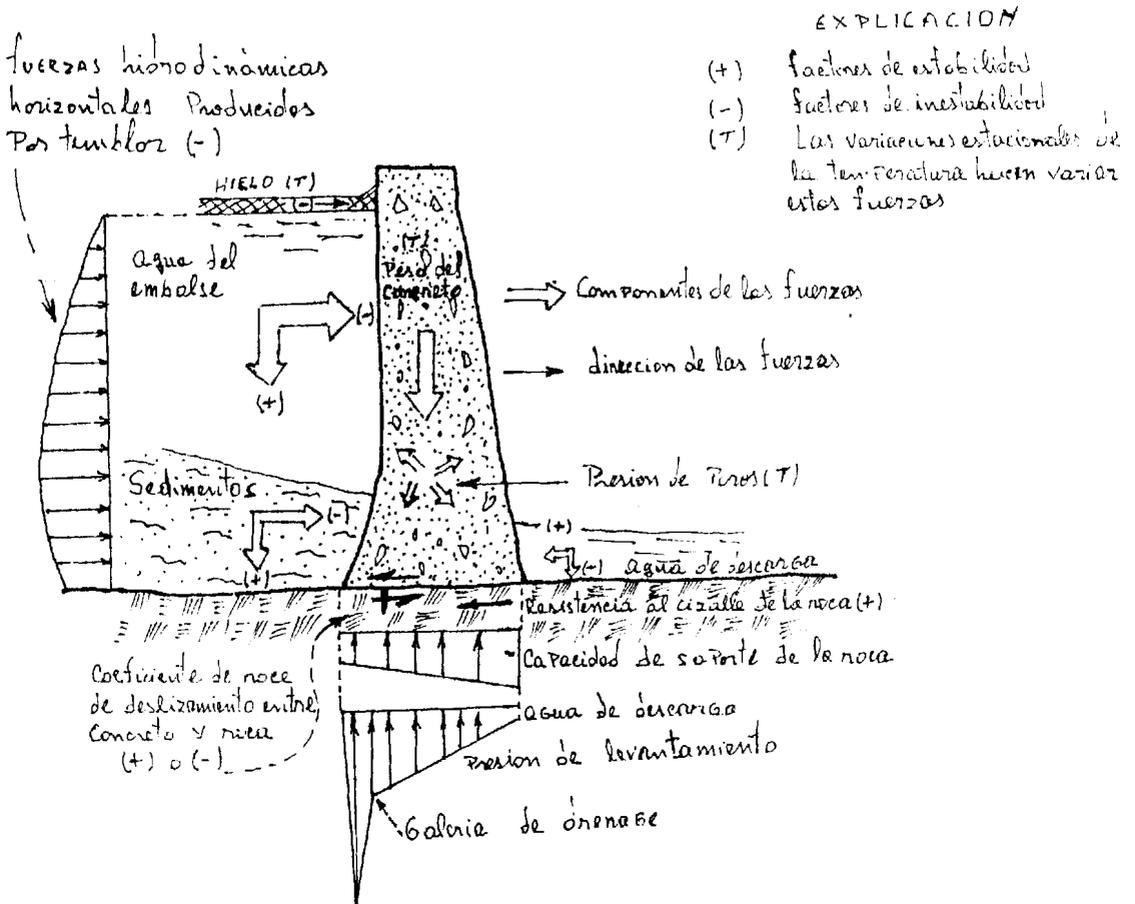
Si se emplea la perforación con testigos éstos deben tener por lo menos, 5 cm. de diámetro, especialmente si se desea recalcar las características de las discontinuidades de la masa rocosa. A veces se hacen perforaciones de 90 cm. ó más de diámetro para permitir al geólogo inspeccionar visualmente las laderas de la perforación. Un excelente método de investigación para presas de arco consiste en abrir un túnel exploratorio en cada empotramiento, donde se puede estudiar la compartimentación de la masa rocosa y pueden utilizarse como base para la comprobación de elasticidad "in situ".

Los métodos sísmicos pueden emplearse para ubicar la superficie de la roca fundamental, zonas de roca de distintas calidades, fallas de consideración, y para determinadas propiedades elásticas de la roca. Para asegurar los

mejores resultados todo método indirecto debe estar en co rrelación con la realización de sondeos mecánicos.

2.2. CONSIDERACIONES GENERALES, RELATIVAS AL DISEÑO DE PRESAS EN ARCO.

El planeamiento de la exploración requiere un buen conocimiento de ciertas fases del diseño de las presas de arco, en especial la influencia de la elasticidad de la roca y los factores geotécnicos mostrados en la siguiente figura:



Fuerzas Geotécnicas a' influyen sobre la estabilidad de la presa en arco

En general, la subpresión es factor de poca influencia en el diseño de presas de arco. Sin embargo, el experto geotécnico puede aconsejar en cuanto a permeabilidad y la posibilidad de formación de cavidades en la roca de sedimentación.

Las presas de arco no necesitan ser diseñadas para carga de depósitos de limo, a menos que los datos de sedimentación indiquen lo contrario en este caso se requiere información sobre la tasa de sedimentación o depósito de acarreo. La tasa depende de las características de sedimentación en las áreas de desagüe al embalse y los arroyos que desembocan en él.

Una presa de arco relativamente delgada es, generalmente, considerada como más resistente a los terremotos que una presa de gravedad. Aún así el diseño sísmico es un factor esencial puesto que los terremotos imparten aceleraciones al embalse y a la presa.

2.2.1. Suposiciones de diseño.

La suposición de diseño más pertinente a la geotécnica es que la roca es homogénea y libre de fallas estructurales. Debido a que esta condición es tan poco común, el proyectista deberá evaluar la relativa precisión de tal suposición en cada caso particular, la evaluación requiere no solo los estudios ya indicados, sino también datos respec

to a la litología de la roca, expresados en variaciones de resistencia y elasticidad; es decir, el rango de las características de elasticidad de distintos porcentajes de roca de cada tipo. Por tanto deberán efectuarse pruebas de laboratorio con muestras que representen toda la extensión y porcentaje de variación de las propiedades elásticas.

2.2.2. Método de diseño

Muchos métodos suponen el arco como parte de un delgado cilindro y para los cálculos se usan variaciones de la fórmula cilíndrica. Sin embargo una presa de arco, generalmente se construye con bloques ensamblados entre sí. El concreto no es homogéneo y la roca de empotramiento tiene cierta elasticidad. Por esto, el análisis de tensión no es el sencillo caso de la parte de un cilindro delgado, asentando sobre puntos fijos. El tan usado análisis por tanteos se adapta a estas complejas variables. Este método modifica, material y económicamente, el diseño permite el análisis de la distribución de carga, de formaciones o deflexiones y tensiones en presas curvas de concreto de todo tamaño y formas (Bureau of Reclamation, 1938).

El método de "carga de tanteo" supone que el arco continuo de la presa es reemplazado por dos sistemas de elementos unitarios; ménsulas verticales y arcos horizontales.

Las componentes de las cargas de peso, como el concreto, etc. son asignados a las ménsulas. Los esfuerzos resultantes de los cambios de temperatura se aplican en principio a los arcos. La presión de agua del embalse produce una carga radial externa, cuya componente vertical se aplica a las ménsulas al lado de aguas arriba y la componente horizontal se divide entre el arco y la ménsula. El análisis debe ser llevado a cabo por etapas o, en otras palabras - por ajustes. Se supone que las componentes que resulten de las varias cargas causan en los elementos movimientos radiales, tangenciales y rotatorios o de torsión. Después de haber aplicado y adjudicado entre ménsulas y arcos las cargas totales externas se obtiene una concordancia satisfactoria deflexiones radiales. Ajustamientos posteriores se hacen mediante las cargas internas resultantes de la interacción entre los sistemas de ménsulas y arcos supuestos.

Estos análisis se efectúan a base de diversas formas supuestas para la presa. Sin embargo, el número de estas operaciones podrá reducirse mediante la evaluación de diseños de estructuras existentes. Para el análisis se consideran los arcos como elementos estaticamente indeterminados empotrados elásticamente.

Por tanto, deben tomarse en cuenta las propiedades de la

roca. También han de considerarse al determinar los efectos de la afluencia y contracción de la roca de apoyo y del empotramiento. Si estos efectos son distintos de la fluencia del concreto, puede ocurrir un aumento en la deflexión de la presa aguas arriba o aguas abajo, con las consiguientes alteraciones de tensión interna en la roca.

2.2.3. Efectos de la elasticidad

Se puede suponer una presa como si estuviera apoyada sobre una serie de resortes independientes. La resistencia a la tensión del concreto es bastante baja, por tanto el diseño no deberá permitir tensiones que puedan agrietar el concreto. Esto es cuando una carga empuja contra el arco, suponiendo que el arco es fijo, los efectos de esta carga se traducen en esfuerzos o empujes en los extremos del arco. Estos empujes tienden a comprimir los resortes. Si ellos no son lo suficientemente fuertes para resistir esta presión, el arco tiende a alargarse o abrirse y la presa se agrietará. Por tanto, debe determinarse la cantidad de fuerza necesaria para comprimir los resortes más allá de los límites de tolerancia del arco.

2.2.4. Módulo de elasticidad

La relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria en la dirección del mismo, se define como el módulo de elasticidad, $E = \left(\frac{F}{A}\right) / \left(\frac{\Delta L}{L}\right)$ El concreto o la roca comprimida en una

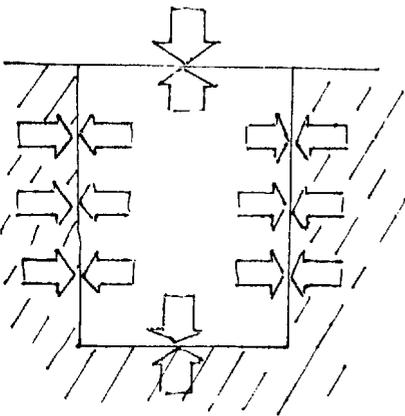
máquina de prueba cambia de tamaño y tal deformación está en proporción directa a la carga aplicada. Al cesar la carga, la muestra vuelve a su tamaño original, siempre que no se haya excedido su límite de elasticidad. Difícilmente puede tener una roca, exactamente su tamaño original; tal parece que la compresión causa cierta reorientación permanente de la masa molecular de la roca. El cambio no es significativo; sin embargo, en una roca con una proporción de huecos muy alta puede producirse un fraguado (sentamiento), o sea que se produce un considerable cambio permanente en tamaño bajo una moderada carga inicial de prueba. Después, bajo continuos aumentos de carga la roca vuelve a comportarse elásticamente hasta que su límite de elasticidad se pasa y se produce deformación permanente o fracturación. Cuando se produce el fraguado bajo una carga menor que la carga máxima de diseño, significa que al empezar a llenarse el embalse, se comprimiría la roca del empotramiento y después, al vaciarse el agua, el empotramiento no volvería a su normalidad, de manera que quedan en el arco tensiones internas, posiblemente perjudiciales.

El arco se diseña de tal forma que los empujes no excedan los límites de elasticidad de la roca. Esto es importante, porque una presa queda sometida a cargas variables como fluctuaciones del embalse, sedimentación, empuje de hielo en el invierno, la expansión y contracción del concre-

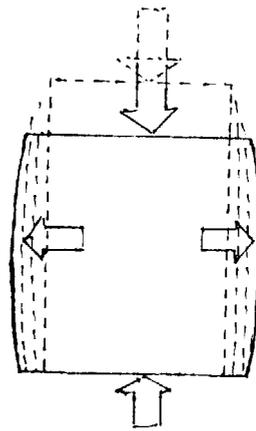
to a causa de los cambios de temperatura ambiente, estacionales o diarias.

2.2.5. Coeficiente de Poisson.

Volviendo a la analogía de los resortes, la medida de cuanto pueden comprimirse los resortes se conoce por "coeficiente de Poisson, (μ). Por definición es la relación entre la contracción transversal unitaria y el alargamiento unitario ($\mu = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_x}$), mientras más duro el material, más bajo el coeficiente de Poisson. Su efecto sobre el diseño de presas puede ilustrarse como en la figura siguiente.



Condición de la
roca in situ



Prueba de compresión
sin confinamiento

Al aplicarse la carga sobre un bloque de roca en una prensa disminuye la altura del bloque, las dimensiones laterales aumentan, y el cociente de estos cambios es μ . Sin embargo, si el bloque está rodeado de una fuerza que impide esta expansión lateral, se producen tensiones dentro del bloque. La roca circundante constituye los límites laterales que producen presiones localizadas en el contacto entre el concreto y la roca. Ya que el coeficiente de Poisson es bajo en la mayoría de las rocas, estas tensiones también son bajas. En el análisis por carga de tanteo, la introducción de μ produce movimientos radiales, tangenciales y angulares dentro de los elementos que sugieren ajustes en el análisis.

2.3. PRUEBAS DE LA DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES ELASTICAS.

La elasticidad puede determinarse mediante pruebas estáticas o dinámicas, ya sea en el laboratorio o en el terreno. El valor relativo de los resultados depende del tamaño de la muestra o áreas sometidas a la prueba y del tipo de la misma que se aplique.

2.3.1. Pruebas estáticas en el terreno.

El módulo de elasticidad puede determinarse mediante métodos estáticos debido a la relación constante entre el esfuerzo producido por una carga sobre la roca y la deforma-

ción resultante de la superficie de ella. A menudo se determina esta relación empleando la prueba de carga de placa, o de campo, colocándose una placa de acero o concreto directamente sobre la superficie de la roca en un túnel o pozo de prueba, la cual es cargada por gatos hidráulicos o de tornillos. Se mide la deformación en la superficie de la roca usando extensómetros o medidores de deformación.

2. Pruebas estáticas en el laboratorio

En laboratorio el módulo de elasticidad puede ser determinado por las pruebas de compresión no confinadas; se suele aplicar la carga sobre el eje vertical del núcleo sin restricción lateral, y se mide el total de la carga empleada y la deformación de la muestra. Las características de resistencia al corte de la roca son determinados por los ensayos triaxiales. En la máquina de corte triaxial, la muestra se inserta en un forro o envoltura impermeable, casi siempre de goma, colocado en la máquina y bañado en un líquido, generalmente kerosene. Se le aplica esfuerzo vertical mediante un gato, y una bomba hidráulica ejerce esfuerzo lateral sobre el líquido que rodea la muestra, de esta manera se asemejan las condiciones a las del prototipo.

3. Pruebas dinámicas en el laboratorio

En el método dinámico por vibración se coloca la muestra sobre una base flexible, por ejemplo, una plancha de goma;

luego se introduce la sonda de un oscilador por un agujero en la base hasta el centro de la muestra. El oscilador hace vibrar en la base hasta el centro de la muestra. El oscilador se hace vibrar en una gama de frecuencias controladas, la frecuencia de resonancia de muestra se averigua mediante la reacción máxima de un detector de vibraciones colocado en distintos puntos de la muestra.

El módulo dinámico tiene relación matemática con la frecuencia de oscilación flexional de la vibración en resonancia. Otra prueba dinámica consiste en golpear con un martillo el extremo de la muestra, midiendo luego la velocidad del sonido, esta velocidad está directamente relacionada con la elasticidad.

2.3.4. Pruebas dinámicas en el terreno

El método más práctico de aplicar pruebas dinámicas en terreno consiste en medir la velocidad de ondas sísmicas usando equipo estándar para explorar el campo sísmico. Una serie de geófonos detectores de vibración se colocan en una hilera, sólidamente anclados a la superficie de la roca a distancias medidas desde el punto de explosión donde se ha colocado el explosivo. Al producirse la explosión, la energía sísmica viaja en forma de ondas a través de la roca hasta cada geófono. Su llegada se registra para cada explosión separada como una línea en la grabadora del oscilógrafo.

fo ubicado en un camión. La interpretación de estos registros da la velocidad de transmisión de la onda desde el punto de explosión hasta cada uno de los geófonos. Las filas de geófonos se llevan a diversos perfiles para proveer información en varias direcciones en el empotramiento. Es necesario además, enviar muestras típicas de la roca al laboratorio para hacer determinar su densidad.

2.3.5. Evaluación de las pruebas.

Comparándose las pruebas laboratoriales e "in situ" se puede decir que en cualquier prueba, mientras más similares sean los tamaños entre el modelo y el prototipo tanto mejor se podrán aplicar los resultados de las pruebas. Por lo mismo, las pruebas estáticas en el terreno, son generalmente más dignas de confianza que si se hacen en el laboratorio. Igualmente, puesto que el área de prueba es relativamente grande, la prueba a presión de agua en el túnel es más aplicable al prototipo que otras pruebas estáticas en el terreno. Además mientras más grande sea el área probada, menos influirá en los resultados las irregularidades estructurales y litológicas de poca importancia. Para mayor economía y exactitud las pruebas estáticas en el terreno deberán correlacionarse con pruebas de laboratorio triaxiales y no confinadas. Tal correlación permitirá el empleo de las pruebas de laboratorio para obtener mayores datos sobre e-

lasticidad a mucho menor costo que con las pruebas estáticas en el terreno.

2.3.6. Conclusiones

Durante las investigaciones y el diseño de las presas de arco, deberán integrarse los factores geológicos y los de ingeniería civil. Se requiere predicciones positivas en cuanto al comportamiento estructural de la roca de fundación una vez sometida a las cargas de la presa. De interés constante en el efecto producido por programas exploratorios sobre el diseño final podrá resultar un diseño más económico.

Las perforaciones deberán ser ubicadas en relación con los posibles rumbos de los empujes del arco; y los resultados de las perforaciones deben correlacionarse con los resultados de las pruebas en laboratorio. La utilización de métodos geofísicos sísmicos para determinar valores *in situ* del módulo de elasticidad de la roca de fundación significa una evaluación más exacta de las pruebas de laboratorio y por tanto coeficientes de seguridad más realistas significan una economía de diseño suplementaria.

lo de la zona costera. Por el contrario, la Cordillera Oriental o Cordillera "Real" está formada por rocas metamórficas (gneiss, micaesquistos), fuertemente comprimidos en escamas empujadas hacia el Este.

La zona Amazónica es el ante-país de la cadena Andina. Es una parte de la vasta cuenca que desde Venezuela hasta Bolivia, se instala entre los Andes y el escudo Guayano-Brasileño.

El área del proyecto pertenece a las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental y a la falda norte de la Cordillera de Chugchilán. Las rocas presentes en todas partes de la Cordillera Occidental pertenecen al potente conjunto volcánico básico a ultrabásico con series volcano-sedimentario, llamadas: "formación diabasa-porfirita" por Wolf (1892) y Tschopp (1948) y "formación diabásica" por Sauer (1949). Faucher y Saboyat (1973) adoptan la denominación "conjunto Piñón" por analogía con el subestrato de la zona costera, pues todas estas rocas forman el basamento del Ecuador desde la depresión interandina hasta el Pacífico, datándose las desde el Jurásico hasta el Cretácico Inferior.

Además, en toda la Cordillera Occidental se encuentran intrusiones Granodioríticas que pasan gradualmente a dioritas o gámbros que serían sea diferenciaciones magmáticas originales del conjunto Piñón, sea batolitos terciarios contemporá

neos de la orogénesis, lo que parece ser el caso en la zona del proyecto.

Al subir la cordillera, se van aumentando en volumen las rocas del volcanismo cuaternario, piroclastos y lavas, que cubren considerables superficies con grandes espesores en las partes altas de la cadena montañosa.

En el área del proyecto existen principalmente piroclastos, y las lavas cubren solamente las partes altas de la cuenca de los ríos que interesan al proyecto. Estas han sufrido potentes fases erosivas, suministrando de esta manera el material de los aluviones y grandes conos de deyección, fluviales y tal vez fluvio-glaciales.

3.1.1. Naturaleza y distribución de las principales unidades litológicas.

En el área estudiada se encuentran principalmente una secuencia de rocas de probable edad Cretáceo Inferior, constituida por la alternancia de rocas volcánicas verduscas y materiales volcano-sedimentarios. A esta secuencia el Dr. W. Sauer, la denominó "formación diabasa porfirita, del magmatismo inicial neoandídico".

Las volcánicas verduscas se componen de lavas, lavas brechosas, tobas y tobas brechosas, que tienen composición andesí-

tica y basáltica, y están alteradas por las soluciones hidrotermales que han originado la cloritización, epidotización, silicificación de las mismas. Las alteraciones alcanzan una amplia distribución, dando el color verde a las rocas volcánicas.

Los sedimentos marinos se componen de areniscas y lutitas - alternantes en estratos finos, no se han encontrado fósiles en los sedimentos para determinar la edad geológica, estas rocas están bien endurecidas.

En el área de estudio encontramos además intrusivos de diorita, porfirita y porfido cuarcelifero.

Los geólogos de Mator - Columbus, Compañía Asesora en los estudios del proyecto describen las formaciones geológicas del área estudiada de acuerdo a los cuadros descritos en las páginas siguientes.

3.1.2. Estructuras principales

Los principales elementos estructurales expuestos en el área corresponden a pliegues y fallas. Estructuras menores son las diaclasas, que modifican la estructura principal, se nota claramente la discordancia entre las rocas cretácicas y los depósitos fluviales cuaternarios, los pliegues mayores tienen rumbo norte-sur que posiblemente se desarrollaron

en una etapa de formación de la orogenia neoandídica, las intrusiones posiblemente ocurrieron al final del plegamiento.

El rumbo regional de los estratos es aproximadamente Norte Sur, y la inclinación general varía entre 70° y 90° hacia el Oeste cambiando a veces al Este.

En el área estudiada no se encuentran fallas grandes, habiendo, algunas fallas de poca consideración con rumbo noreste, los desplazamientos de las fallas no están claros. - Generalmente las diaclasas se distribuyen sin formar zonas tan intensamente fracturadas.

Se puede apreciar tres tipos de diaclasas: diaclasas paralelas a las estructuras mayores, cruzadas, horizontales, el diaclasamiento se nota intenso localmente, en los afloramientos del camino de acceso de la margen izquierda en el sitio de la presa.

3.1.3. Historia geológica regional

Las rocas de la "formación diabasa-porfirita" se depositaron bajo la condición geosinclinal en el mesozoico. Una cuenca del geosinclinal recibió la actividad volcánica (eu geosinclinal) del magmatismo inicial con aportación de lavas y material piroclástico de composición andesítica y ba

sáltico, originados por las erupciones sucesivas en el geosinclinal (W. Sauer).

La "formación diabasa-porfirita" sigue desde la frontera de Colombia hasta la del Perú, limitadas al este por las rocas paleozoicas de la cordillera Real, y al Oeste por las formaciones Cuaternarias y Terciarias de la costa.

Al final del plegamiento, los batolitos de diorita y diques de pórfido cuarcífero intruyeron en la "formación diabasa porfirita". Desde fines del terciario superior hasta el presente, la cordillera Occidental se ha levantado epirogenéticamente, acompañada de fallas regionales, que levantaron y hundieron grandes bloques, una posible prueba de ello constituyen los depósitos aluviales a más de 100 m. sobre el nivel actual del río Toachi.

Los autores modernos ven el origen del conjunto Piñón en la corteza del fondo oceánico, ahora soldado al continente. Una subducción de la placa oceánica debajo de la placa continental y la consiguiente orogénesis neoandítica serían las causantes del crecimiento del continente Sud Americano en su lado Occidental.

Parte de las rocas de este conjunto se habrían formado en un contexto oceánico de arcos volcánicos, en el geosinclinal Andino (eugeosinclinal). Las rocas de la formación Ca

llo y el "flysch" vienen del relleno de este geosinclinal Cretácico, originándose la zona continental con las elevaciones terciarias (Eoceno inferior, final del Oligoceno, Mioceno-Plioceno), las elevaciones definitivas tuvieron lugar en el final del plioceno y en el Pleistoceno con el volcanismo que hasta hoy se manifiesta, demostrando una movilidad permanente de las placas corticales.

FORMACIONES GEOLOGICAS DEL AREA DEL
PROYECTO (Según los geólogos de Motor-Columbus)

		FORMACION	LITOLOGIA	LOCALIDAD TIPICA	
CUATERNARIO	PLIO - CUATERNARIO INDIFFERENCIADO	DEPOSITOS RECIENTES	Depósitos Coluviales	Viene de la alteración de la roca del subestrato. Espesor de 5-10 m. Se compone de limo arenoso, limo y limo arcilloso con pequeños fragmentos rocosos.	Se encuentra de manera general en las laderas y partes bajas.
			Aluviones recientes	Se conforman de arenas, gravas, cantos y bloques de composición y tamaño variable. Alcanzan localmente 10 m. de espesor. Son relativamente sueltos.	Se localizan en fajas estrechas a lo largo de los ríos principales: Toachi, Pilatón.
			Aluviones antiguos	Son capas de gravas, arenas y limos, algo cementados, generalmente forman enchapados con diseño de terrazas en varios niveles.	Están distribuidos en los flancos de los ríos principales: Toachi, Pilatón. Ej. tí pico Alluriquín.

		FORMACION	LITOLOGIA	LOCALIDAD TIPICA	
C U A T E R N A R I O	PLIO-CUATERNARIO INDIFFERENCIADO	CUBIERTA CUATERNARIA	Capa de suelo tobáceo. (Cancagua)	Se compone de limo, limo arcilloso, arcilla, (ben-tonita?) arena de pómez. Son sedimentos eólicos con contenido de materia orgánica. El espesor es de hasta 30 m.	Se encuentra como capa de cubierta en forma regional.
			Brecha tobácea	Tiene un espesor de hasta 300 m. y se compone de brechas, tobas brechosas, conglomerados con un estrato basal de aluviones gruesos. (3-5 m. de diámetro).	Margen derecha del sitio de presa. Valle del Sarapullo, Valle del Pilatón. Toma Pilatón.
			Macizos intrusivos	Están constituidos por rocas de varios tipos: gabbros, dioritas. Muchas veces acompañados de mineralizaciones.	Zona del embalse, quebradas adyacentes al túnel. Cámara de equilibrio.
C R E T A C E O	FORMACIONES PINON Y CAYO DE LA SIERRA	SUBSTRATO ROCOSO	Andesitas, brechas volcánicas, diabasas, tobas líticas grauwacas.	Son rocas compactas con estructuras de almohadilla en las lavas y signos de estratificación en las tobas líticas, grauwacas. Tienen caracteres macroscópicos similares incrementados por fenómenos hidrotermales, silicificación y metamorfismo débil.	Es el componente principal del subestrato y se distingue principalmente en los cauces de las quebradas y ríos principales y en los cortes de las carreteras

		FORMACION	LITOLOGIA	LOCALIDAD TIPICA	
CUATERNARIO	PLIO-CUATERNARIO INDIFFERENCIADO	CUBIERTA CUATERNARIA	Capa de suelo <u>to</u> <u>báceo</u> . (Cancagua)	Se compone de <u>li</u> <u>mo</u> , <u>limo arcillo</u> <u>so</u> , <u>arcilla</u> , (<u>ben</u> <u>tonita?</u>) <u>arena</u> - de <u>pómez</u> . Son <u>se</u> <u>dimentos eólicos</u> con contenido de <u>materia orgánica</u> . El espesor es de <u>has</u> <u>ta 30 m.</u>	Se encuentra como capa de cubierta en forma regio- nal.
			Brecha <u>tobácea</u>	Tiene un espesor de hasta 300 m. y se compone de <u>bre</u> <u>chas</u> , <u>tobas bre</u> <u>chosas</u> , <u>conglome</u> <u>rados</u> con un <u>es</u> <u>trato basal</u> de <u>a</u> <u>luviones gruesos</u> . (3-5 m. de <u>diáme</u> <u>tro</u>).	Margen dere- cha del sitio de presa. Va- lle del Sara- pullo, Valle del Pilatón. Toma Pilatón.
			Macizos <u>intrusivos</u>	Están constituí- dos por <u>rocas</u> de varios tipos: <u>ga</u> <u>bros</u> , <u>dioritas</u> . Muchas veces <u>acom</u> <u>pañados</u> de <u>minera</u> <u>lizaciones</u> .	Zona del em- balse, <u>quebra</u> <u>das</u> adyacentes al túnel. Cá- mara de equili- brio.
CRETACEO	FORMACIONES PINON Y CAYO DE LA SIERRA	SUBSTRATO ROCOSO	Son <u>rocas compac</u> <u>tas</u> con <u>estructu</u> <u>ras</u> de <u>almohadilla</u> en las lavas y <u>sig</u> <u>nos</u> de <u>estratifi</u> <u>cación</u> en las <u>to</u> <u>bas líticas</u> , <u>grau</u> <u>vacas</u> . Tienen ca- racteres <u>macroscó</u> <u>picos</u> <u>similares</u> - <u>incrementados</u> por <u>fenómenos hidroter</u> <u>males</u> , <u>silicifica</u> <u>ción</u> y <u>metamorfis</u> <u>mo débil</u> .	Es el componen- te principal - del subestrato y se distingue principalmente en los cauces de las quebradas y ríos principales y en los cortes de las carreteras	

IV. GEOLOGIA DEL SITIO DE LA PRESA

4.1. UBICACION

El sitio de presa está ubicado en el río Toachi a unos 8 km. aguas arriba de su confluencia con el río Pilatón, a unos 400 m. aguas abajo de la confluencia con el río Sarapullo. En línea recta está a una distancia de 4 km. al sur de la carretera Quito Santo Domingo.

Al sitio se llega por una vía de acceso apta solamente para vehículos de doble tracción, en la época de lluvias el acceso es difícil.

4.2. MORFOLOGIA

El río que corre aguas arriba del sitio de la presa con rumbo prácticamente al Norte, cambia de dirección hacia el NE por un tramo de 1.5 km. siguiendo un sistema de fracturas - para cambiar nuevamente de dirección hacia el NO. Su cauce se desarrolla completamente en la roca, donde se ha encañonado en una profundidad de más o menos 5m., respecto de sus pequeñas playas. En el sitio de la presa los flancos de valle son morfológicamente diferentes y asimétricos.

4.1. La Vertiente derecha (Este)

En la vertiente derecha se observa que la pendiente cambia de acuerdo a la elevación considerada y se presenta más compleja e irregular. En la parte aguas arriba se desarrolla u

nas playas en la orilla del río, luego hay una pendiente rocosa con inclinaciones promedio de 45°. Se puede apreciar que a los 1000 m. sobre el nivel del mar "Cota 1000" la pendiente se suaviza y morfológicamente se puede pensar en una antigua terraza fluvial. Más arriba la pendiente permanece relativamente suave con inclinaciones de 30 a 40 grados. A los 1.100 m. sobre el nivel del mar aproximadamente cambia el perfil por la presencia de la formación cuaternaria, de la brecha tobácea que está discordantemente sobre la roca del basamento (cretáceo), esta formación oculta las formas de una morfología antigua. La brecha tobácea y su estrato basal-conglomerático que se observan en varios puntos de la vertiente forman laderas bruscas y barrancos en los cuales se producen fácilmente derrumbes por las malas calidades mecánicas del material, la parte baja de la pendiente es suave debido a estar cubierta de material proveniente de los derrumbes de las brechas (escombros de falda, coluvios).

La meteorización de la roca se presenta en general más avanzada que en el margen izquierdo y esto se puede notar desde la cota 950 m.s.n.m. hacia arriba.

4.2.2. La vertiente izquierda (Oeste)

Las características principales de esta vertiente son; La regularidad de su pendiente en toda la altura que concier

ne a la obra y por otra parte la magnitud de la pendiente que varía de 45 a 55°, tanto hacia aguas arriba como hacia aguas abajo del eje de la presa en arco. En la parte aguas arriba se observa un macizo rocoso con forma de estrambo típico con partes abruptas a partir de la cota 1100 m.s.n.m. hacia el río. La pendiente promedio en esta zona es de 50 a 55°, la roca es de buena calidad y fresca desde el río hasta la cota 1.000 m.s.n.m. a partir de esta cota y hacia arriba aumenta paulatinamente la meteorización que fue favorecida por las fracturas que a menudo se encuentran abiertas posiblemente debido a la descompresión de la masa rocosa, sobre los 1.100 m.s.n.m. la roca está fuertemente alterada y descompuesta; se observan además algunas fallas a veces con ligera milonitización, a lo largo de las cuales en algunos puntos se notan pequeños derrumbes con caídas de bloques de roca. Hacia aguas abajo la ladera se abre y la pendiente se suaviza teniendo un promedio de 45° de inclinación, la roca aflora menos y se observa mayor alteración, por lo que la cubierta detrítica es importante. El pie de la pendiente de este sector está cubierto por conos de deyección y playas del río.

4.3. UNIDADES GEOTECNICAS

Se distinguen tres tipos de Unidades geotécnicas en el área: Las rocas del substrato antiguo; de posible edad cretácica.

La brecha tobácea en el margen derecho (Cuaternario).

Los depósitos superficiales (detritos-playas aluviales).

Los depósitos superficiales son muy extendidos en toda la zona pero en potencia reducida, no juegan un papel importante en lo que se refiere a las obras proyectadas.

La toba brechosa en el margen derecho se encuentra en la cota 1.100 m.s.n.m. para arriba y delimita en cierto sen tido la posibilidad de altura del muro de la presa en ar co. Por estar muy elevada respecto al nivel del río no forma parte en los problemas de fundación de la presa pro yectada, pero sería importante como posible cantera para materiales de construcción. Las rocas del substrato (cre tácico) están formando un macizo bloque de rocas litológicamente semejantes entre sí. El conjunto parece haber su frido deformaciones, fenómeno que se manifiesta en la in tensa fracturación. Las discontinuidades de la roca tie nen rellenos de sílice, cuarzo, calcita y epidote, en ciertas muestras se observa silificación y recristalización causadas por un ligero metamorfismo lo cual hace a la roca dura y maciza.

4.3.1. Las rocas volcánicas del cretáceo.

El conjunto de rocas volcánicas que constituye el substra to antiguo en toda el área del proyecto aflora ampliamente en las orillas de los ríos y los fondos de las quebra

das. En las laderas de los valles a menudo está oculto por suelo, escombros de falda y aluviones.

4.3.1.1. Petrografía

El estudio petrográfico en muestras de rocas de la superficie presenta grandes dificultades por el elevado grado de alteración de sus minerales. La descripción detallada de estas rocas se efectuaron mediante láminas delgadas de los núcleos de los sondeos del sitio de la presa. Estas láminas se prepararon y se identificaron en los laboratorios del departamento de Geología de la Politécnica del Litoral.

A continuación se describirán las rocas volcánicas antiguas presentes en el sitio de la presa en base al análisis petrográfico de las láminas delgadas. Se escogieron las muestras más representativas que se obtenían de los sondeos S-4, S-8, S-9, S-13, S-14, S-17 ubicados en la margen izquierda y derecha del sitio de la presa. MI - S-4. Margen izquierdo sondeo número 4. Las rocas de este sondeo presenta matriz muy fina y oscura semejante a vidrio con cristales irregulares y ligeramente redondeados, además partículas de lavas de textura ofítica, cementados con material muy fino. La composición de la roca es: 60% de plagioclasas, menos de 10% de cuarzo, algo de epidote y carbonato, la clorita está presente en un 5%, actinolito con

4%; las plagioclasas presentan extinción de 16° negativo. La roca puede ser llamada toba brechosa o lava brechosa.

Otra lámina delgada de este tipo mismo sondeo pero de una muestra de mayor profundidad ofrece las mismas características es decir, que la roca es una toba con matriz vidriosa.

MI - S₂ - 9 Margen izquierdo sondeo número 9, parte intermedia del sondeo. Textura porfídica con matriz de cristales equigranulares, la composición mineralógica de la roca está dada por el 70% de plagioclasas alteradas y con inclusiones, se trata de una lava de composición andesítica.

MI - S₃ - 9 Margen izquierdo sondeo 9. Fondo del sondeo. Tobas de material fino con algo de actinolito y mucho carbonato, algo de epidote, la matriz presenta plagioclasas muy finas.

MD - S - 8 Margen derecha sondeo 9. Este sondeo se perforó sobre rocas con alteración hidrotermal, el 80% de las rocas recuperadas eran blancas con vetillas de epidote, en una muestra del fondo del sondeo fue posible efectuar el análisis petrográfico:

Textura porfirítica, hay presencia de amígdalas rellenas -

con cuarzo radial, los minerales se encuentran deformados además presenta 70% de plagioclasas, 20% de cuarzo y epidote en un 3%. Los fenocristales son de plagioclasas.

La roca presenta características que hacen pensar que se trata de una lava de composición andesítica.

La descripción petrográfica (láminas delgadas) de las muestras de los sondeos S-12, S-13, S-14, S-17 se describirán más adelante en el capítulo Vi.

3.1.2. Origen y clasificación

Las rocas antes descritas pueden ser consideradas de origen volcánico y depositadas en un ambiente marino; geológicamente pueden ser formaciones del jurásico-cretácico de tipo andesítico con intercalaciones de capas volcano-sedimentarias y piroclásticas. Estas rocas presentan fenómenos de silicificación y mineralización de sulfuro originadas por el metamorfismo leve que actuó sobre estas rocas.

El conjunto de rocas volcánicas activas está integrado por tobas, tobas brechosas, lavas, lavas brechosas presentan un color gris verdoso debido al contenido de clorita que poseen todas.

4.3.2. La brecha tobácea.

En el sitio está exclusivamente en la margen derecha yaciendo sobre el subestrato rocoso desde la cota 1100 m.s.n.m. hacia arriba, en forma discordante con potencia de hasta 300 m. está integrada por tobas brechosas, brechas y conglomerados, de material volcánico se observan estratos basales de 1 a 20 m. de aluviones con bloques redondeados y semiredondeados de tamaños considerables, con diámetros que oscilan entre 3 y 5 m. Estos sedimentos están cubriendo en forma general una antigua morfología, su origen posiblemente se debe a los eventos glaciales y fluvio glaciales del pleistoceno, época en la que se reactivó el volcanismo de los Andes acompañado de levantamientos corticales en toda la zona andina, estos procesos suministraron material que junto con el agua formaron grandes corrientes de barro y rocas que fueron depositadas en las partes bajas.

Los levantamientos continuos de la corteza terrestre ayudados por la erosión de los ríos incidieron en la permanencia de estos sedimentos en los sitios que fueron depositados, parte de estas capas fueron erosionadas, profundizándose nuevamente los cauces de los ríos hasta llegar a la roca del subestrato.

En la actualidad esta brecha tobácea se está eliminando por derrumbamientos debido a su débil coesión, dando como resultado sus pendientes abruptas. Sobre estos sedimentos

encontramos de manera regional una capa de suelo tobáceo, constituido por limos, arcillas y arenas Volcánicas (pómez) de color blanco, gris y amarillo.

4.3.3. Depósitos superficiales

Los depósitos superficiales están constituidos por suelos transportados y los suelos residuales, este último como productos de la alteración de las rocas del subestrato.

4.3.3.1. Suelos transportados

4.3.3.1.1. Aluviones

Los aluviones antiguos están formando pequeñas terrazas - pero que no pasan de la cota 1100 m., estos materiales antiguos están cementados.

En la zona del proyecto, todos los ríos están encausados - prácticamente en la roca de base que actualmente están siendo erosionadas, este particular es importante de considerar para justificar la ausencia de grandes playas aluviales y tan solo, forman fajas estrechas y discontinuas que a lo largo del río están formando terrazas individuales, estos sedimentos, localmente alcanzan potencias de hasta 10 m.

Los materiales que están formando parte de estos sedimentos aluviales son las arenas, gravas, cantos y bloques de variadas dimensiones, estos materiales son de carácter lá-

vico.

4.3.3.1.2. Coluvios

En las partes altas de las laderas, la roca del substrato está profundamente alterada y presenta capas de roca alterada de espesores variables estimadas entre 5 y 10 m. - Las fracturas que presenta la roca permite que los factores atmosféricos penetren en las mismas, alterándolas hasta estas profundidades. Estos materiales alterados, desprendidos y transportados llevó abajo por la acción de la gravedad, constituyen los coluvios y forman los depósitos de falda (escombros de falda) y de pie de talud. Los coluvios están constituidos por bloques rocosos, limos y limo arcillosos. Puede considerarse como coluvios, los derrumbes de los materiales aluviales antiguos, ocurridos por erosión de su base, sismos o por la influencia del agua subterránea.

En la margen derecha es muy clara la presencia de los escombros de falda, especialmente de la brecha tobacea. En la margen izquierda se notan unos típicos conos de deyección, con material proveniente de las rocas descompuestas de las partes elevadas de las laderas.

4.3.3.2. Suelos residuales

Los suelos residuales constituyen los materiales provenien

tes de la descomposición de la roca en su sitio, es decir que estos materiales no han sufrido desplazamiento alguno, estos suelos están sobre la roca de la que provienen.

Este tipo de suelo casi no se encuentra en el sitio de la presa por cuanto las condiciones topográficas muy irregulares impide la estabilidad y acumulación de los mismos.

4.3.3.2.1. Meteorización de las rocas del sustrato

En numerosas zonas del sitio, sobre todo en las partes altas, las rocas del sustrato están meteorizadas hasta tal grado que pierden su cohesión, su identidad mineralógica y se vuelven irreconocibles debido a las condiciones climáticas y descomposición química. En el trabajo de campo se consideró cuatro grados de meteorización de las mismas.

Roca descompuesta: Se refiere a aquella roca en la cual es imposible reconocer a las rocas originales, y aunque conservan sus características estructurales (diaclasas, estratificación), se trituran con el golpe de martillo y aún entre los dedos. Este es el estado general de las rocas del sustrato en las partes altas de las vertientes; en la vertiente izquierda caminando por el camino de acceso se puede notar que las rocas están descompuestas en casi todo el recorrido.

Roca muy meteorizada: la roca es más dura, ya no se tri-

tura con los dedos, pero se fragmenta fácilmente con el martillo, no se consiguen superficies frescas para reconocer la roca.

Roca poco meteorizada: la roca presenta meteorización superficial y a lo largo de las fracturas, esta roca al ser fragmentada ofrece superficies sanas.

Roca sana o muy poco meteorizada: la roca es muy dura, y casi siempre da roturas frescas.

Como se manifestó anteriormente, el reparto de los grados de meteorización en el sitio de la presa va disminuyendo - desde las partes más altas hasta las bajas de las vertientes, existiendo desde luego algunas excepciones, por ejemplo: en el área del camino de acceso de la margen izquierda las rocas aflorantes están totalmente alteradas, mientras que en el mismo flanco izquierdo aguas arriba y a la altura del eje de la presa en arco y hasta la cota 1000 m. s.n.m. la roca aflorante es fresca.

Aunque de un modo general, se puede pensar que el grado de fracturación, de la masa rocosa facilita la penetración de los agentes atmosféricos que originan la alteración de la roca del sitio de la presa en sus distintos grados de meteorización, este también depende de otros factores como - la textura de la roca y el tiempo de exposición ante los agentes mencionados.

Las rocas cercanas al río no están meteorizadas pues son recientemente expuestas. Químicamente estas rocas pueden ser meteorizadas en igual grado debido a que la composición de las mismas son parecidas.

4.4. FRACTURACION

4.4.1. Generalidades

Las discontinuidades principales que afectan a la masa rocosa son las fallas, diaclasas y demás fracturas.

Las fallas son discontinuidades planas a lo largo de las cuales tuvieron lugar movimientos diferenciales entre las dos partes rocosas separadas.

Las diaclasas son discontinuidades planas en que se admite que no hubo desplazamiento, son estructuras superficiales que reflejan el grado de esfuerzo sufrido por la roca.

En general, en el sitio se presentan un cierto número de sistemas, los cuales no presentan el mismo desarrollo en todas las zonas del sitio:

El papel de las discontinuidades en la morfología es muy importante, pues se nota que él sigue un juego de fracturas, N-S; NE-SW y que las quebradas del sitio están alineadas coincidentemente con un juego de fracturas. El modela

do de las vertientes se debe en gran parte a la fracturación.

4.4.2. Margen izquierda - apoyo del arco y camino de acceso.

Desde el punto de vista morfológico, esta margen no se asemeja a la margen derecha, es la más empinada del sitio y la más rica en afloramientos, muchas discontinuidades - (fallas) no pueden ser medidas por tratarse de zonas muy meteorizadas y con ausencia de afloramientos, por lo que se intuye su rumbo y posible buzamiento. Las zonas fracturadas están distribuidas con bastante regularidad en todo el sector estudiado.

La roca está casi siempre fragmentada y meteorizada, parece ir disminuyendo la fracturación de aguas abajo hacia aguas arriba. Las fracturas más importantes (con 10 m. o más largo), son superficies más o menos regulares, a veces ligeramente curvas con presencia de estrías, algunas fracturas presentan rellenos de arcilla o están limpias y abiertas. Los rumbos dominantes son N 135-155° y buzamiento 60 - 80°E: N 170 - 180° y buzamiento vertical, esto se presenta generalmente en el río y cerca del mismo (apoyo izquierdo).

El sector del camino de acceso tiene una inclinación de 45°, la vertiente tiene orientación N-S en su parte alta,

la roca está completamente fracturada y alterada, constituyendo la mayor parte de sus afloramientos roca descompuesta. En la parte media de la vertiente hay muchos derrumbes del suelo, que deja al descubierto la roca alterada. Las mediciones en este tramo son poco representativas por cuanto las rocas dan la apariencia de estar movidas de sus sitios originales.

En general la fracturación en las rocas origina una inestabilidad en los afloramientos en toda la parte alta de la vertiente.

4.4.3. Margen derecha

Debido al menor número de afloramientos en esta margen y que se presentan cubiertos, dislocados o muy alterados, dificulta las medidas y observaciones de las discontinuidades presentes en la roca.

Las pocas medidas que se tomaron nos dan un sistema de orientación N 165° - 180° con buzamientos de 70° E a 80° W. Estas medidas corresponden a fallas observadas en el río y, en general, en esta margen se notan menos fracturas que las que se observarían en la margen izquierda. Pero aguas abajo del eje en la zona media del sitio, la roca está poco fracturada y poco meteorizada hasta elevaciones importantes, aunque la escasez de los afloramientos conduce a

pensar que fracturación y meteorización deben ser fuertes en algunos lugares. En la zona aguas arriba por el contrario, la roca parece estar generalmente más fracturada y meteorizada.

4.5. PROBLEMAS DIVERSOS

4.5.1. Agua subterránea

En ninguna parte del sitio se encontraron fuentes de agua, aunque en ciertas quebradas hay chorreo débil de agua (Fallas).

Las pendientes muy empinadas respecto al nivel del río hacen que no se formen acumulaciones de agua subterránea, solo las formaciones superficiales y la roca descompuesta son zonas de circulación de agua, la que es muy superficial, saliendo a la superficie por fracturas y fallas.

4.5.2. Estabilidad de taludes en las vertientes.

A consecuencia de las pendientes empinadas y de la fracturación, tenemos en algunas partes zonas inestables, pero de volúmenes rocosos, poco importantes. Zonas inestables son en realidad las partes altas de las pendientes debido a la roca aflojada, pero esto es muy local y en dimensiones de poca magnitud, como es el caso de ciertas partes del camino de acceso y aguas arriba en la misma margen izquierda sobre la cota 1050, en estas se presentan riesgos

de desprendimientos aunque los pocos afloramientos no per
mite precisar los riesgos.

En la margen derecha no se observó zonas inestables debi-
do en especial a la ausencia de roca aflorante, a excep-
ción de un abrupto rocoso a la altura del sondeo N° 3.

De manera general los afloramientos muestran característi-
cas de derrumbamientos anteriores, por lo que se puede pen
sar que derrumbes de gran magnitud difícilmente se pueden
producir en las dos márgenes.

En la formación sedimentaria, brecha tobacea presente en
la margen derecha desde la cota 1100 para arriba, existe
algún peligro de inestabilidad, por cuanto esta roca se
destruye por derrumbamiento, esto se vé en las pendientes
abruptas y en los grandes volúmenes de escombros de falda.
Pero la galería hecha en este material demuestra que es ma
terial bien cementado y muy duro, lo que dificultó el a-
vance de la galería, luego, este material no presenta pe-
ligros de derrumbes si su parte no es alterada.

El desprendimiento de la co
bertura y de la roca descompues-
ta si es posible, especialmente en las pendientes fuertes,
lamentablemente ya se dió este caso, con consecuencias trá
gicas, perdidas de vida, de material y equipos de trabajo.
Esto sucedió en la margen izquierda sobre el sondeo N° 4.

Estas capas no son muy potentes y disminuyen de la parte superior a la parte baja de la pendiente.

La inestabilidad de las formaciones superficiales en el sitio de la presa se acentuó posiblemente por el desmonte y el trazado de los caminos de acceso junto a la infiltración de agua en época de grandes precipitaciones pluviométricas.

4.6. ZONA DEL EMBALSE

4.6.1. Consideraciones generales

Considerando la cota máxima prevista del nivel de agua de 1060 m.s.n.m. el futuro embalse se extenderá unos 8 km. en el valle del río Toachi y unos 4,5 km. en el valle del río Sarapullo. El río Toachi sigue con rumbo al N en un tramo de 4 km. luego después de una curva aguas arriba toma una dirección SO - NE, en cuanto al Sarapullo, sigue en general un rumbo SE - NO, con algunos tramos N-S. Los cauces de los dos ríos se desarrollan completamente encañonados en la roca del substrato, las playas son escasas a excepción de la playa un poco amplia del río Toachi a partir de la confluencia con el Sarapullo aguas arriba y con 3 km. de extensión.

Las unidades geotécnicas presentes en la zona del embalse son: el substrato rocoso (cretácico), que aflora a

lo largo de los ríos, y tiene las características de las rocas del sitio de la presa ya descritas. Además son frecuentes las rocas intrusivas con aureolas de metamorfismo de contacto, ejemplo de esta roca es la diorita en el Sarapullo prevista como cantera. Además se han observado diques ácidos del tipo pórfiro cuarcífero con mineralizaciones de pirita, calcopirita en quebradas afluentes del Toachi. Otras rocas encontradas son esquistos sericíticos grafitosos.

La brecha tobácea, en la margen izquierda del río Toachi prácticamente no existe en la zona del embalse, en cambio en el margen derecho está bien desarrollada con potencias de hasta 300 m. formando mesetas, el contacto con el substrato está siempre por la cota 1100 m.s.n.m.

Debido a las fuertes pendientes de las laderas las formaciones superficiales no llegan a jugar un papel importante en toda el área del embalse. Principalmente son de los siguientes tipos: aluviones antiguos, como restos de terrazas erosionadas, escombros de falda de poca potencia, y suelos de descomposición de las rocas, ubicadas muy por encima del nivel máximo del embalse.

Las estructuras principales tienen orientación N-S, pero que en profundidad no tienen importancia, porque de acuerdo a los ensayos de permeabilidad de la roca en el sitio,

esta es prácticamente impermeable a partir de los 60 m. de profundidad.

Se puede ver que el embalse se desarrollará solo en la roca del substrato, además no hay indicios de algún valle - antiguo a la altura máxima del embalse por donde escape el agua, luego se piensa que el embalse en realidad es impermeable y ofrece garantías para las obras a construir se en el río Toachi. No se encontraron derrumbes de consideración, cuando se embalse el agua ocurrirán derrumbes del terreno suelto, hasta que se equilibren nuevamente las vertientes, o de algunas rocas pero no será de consideración porque no llegarán hasta las partes altas de las vertientes.

El túnel de aducción principal desde la toma del embalse hasta el sitio de casa de máquinas, tiene rumbo 310° N, la longitud total es de 7.780 m. y el diámetro de la sección interior es de 5.5 m. El trazado del túnel sigue aproximadamente la quebrada del río San Pablo hasta el valle del Toachi, cerca de la población llamada Alluriquín.

El sitio de la casa del máquinas está a 1,4 km. aguas a-rriba de Alluriquín y cerca del cementerio, la estabilidad de las pendientes de este sitio fueron cuidadosamente analizadas, mediante trincheras y galerías, están formadas de roca del substrato, lavas de almohadilla y diabasas espi-

líticas, como se comprobó con el análisis petrográfico (Láminas delgadas) en muestras de roca del sondeo S-23 CM-S-23 Lámina delgada del sitio casa de máquinas - sondeo N° 23.

Textura ofítica, plagioclasa 40%, carbonato 30%, Clorita - 10%, Clino piroxeno y actinolito en 15%. Los cristales presentan ligera deformación, esto se nota en las plagioclasas al producirse la extinción, se observan grietas con rellenos de cuarzo muy fino y carbonatos. Son rocas que pertenecen a la corteza oceánica por su composición básica y estructuras de almohadilla (pillow lavas).

V. ENSAYOS DE PERMEABILIDAD TIPO "LUGEON Y LEFRANC"

5.1. METODOLOGIA DE LOS ENSAYOS

Los estudios de permeabilidad o impermeabilidad de los suelos con fines de construir una determinada obra ingenieril son de suma importancia por depender en gran parte la seguridad de las condiciones y propiedades mecánicas de los suelos y rocas afectadas por la obra. En tal virtud se requieren ensayos de pérdidas de agua tipo "Lugeon" o "Lefranc" - según las condiciones de los terrenos (rocas o suelos).

En el proyecto Toachi se efectuaron ensayos de permeabilidad tipo "Lefranc" en la parte superficial de algunos sondeos (principalmente en los suelos de cobertura), cada 3 metros. Estas pruebas se realizaron manteniendo el nivel constante en la boca del sondeo durante 10 minutos y midiendo en un contador las absorciones durante este período de tiempo. El coeficiente de permeabilidad encontrado varía entre 1.4×10^{-2} cm/sg. y 5.2×10^{-4} cm/sg.

Los ensayos de permeabilidad tipo "Lugeon" son ejecutados en rocas mecánicamente resistentes y generalmente poco permeables, mediante inyecciones de agua. Se ejecutaron generalmente cada 5 m. usando un obturador simple con presiones de 2, 5, 10, 5, 2 Kg/cm², con un tiempo de 10 minutos en cada una de estas presiones. En algunos ensayos, debido a

la permeabilidad de la roca no se logró elevar la presión a los valores deseados aún empleando todo el caudal de las bombas, por lo que se consideraron las presiones máximas que se podían alcanzar.

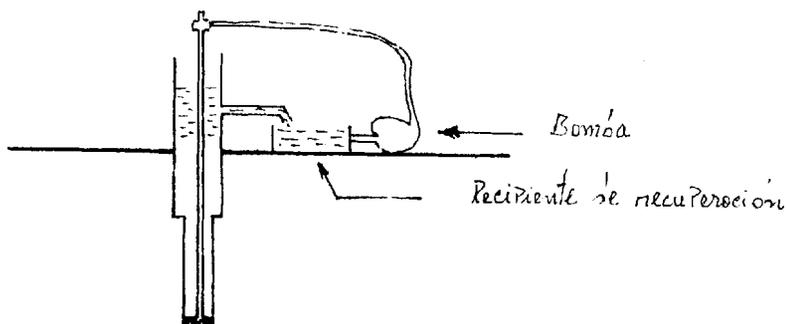
Las pruebas de permeabilidad "Lugeón" indican valores < 1 Lugeón a partir de las profundidades de 40 a 60 m. como se observa en los registros de perforación de los sondeos del sitio de la presa.

Para todos estos ensayos es necesario utilizar agua muy clara, en efecto, si el agua es turbia, no solamente hay peligro de corchar el medidor, sino también de desbordar el hueco.

5.2. RECOMENDACIONES GENERALES PARA LA EJECUCION DE LOS ENSAYOS "LUGEON" Y "LEFRANC".

Cualquiera que sea el tipo de ensayo propuesto, es necesario completarlo con las informaciones obtenidas durante el resto de la jornada en el curso de la perforación. Antes del inicio del trabajo, se mide el nivel del agua por medio de una sonda eléctrica. En el curso de la perforación cuando la circulación del agua se hace en circuito cerrado, hay que notar la baja de nivel en el recipiente de recuperación en función del tiempo. Si la horadación atraviesa una región permeable, el agua se escurre en el terreno y en

consecuencia el nivel en el recipiente de recuperación ba
ja progresivamente.



La alteración de este nivel, en función del tiempo, permite determinar, para cada profundidad del hueco, el flujo de absorción bajo una carga de agua correspondiente al hueco lleno.

Para que estas medidas sean verdaderamente de interés, conviene repetir las varias veces por espacio perforado; se puede así obtener la permeabilidad relativa de la horadación en toda su altura.

Se debe anotar con cuidado las "pérdidas de agua". Se designa con el nombre de "pérdida de agua" el fenómeno que consiste en ver desaparecer súbitamente en el interior de la tubería el agua de circulación que salía del hueco.

Es evidente, en este caso, que el instrumento ha descubierto una zona de permeabilidad mucho más grande que en el

resto del hueco.

sin embargo esta noción de "pérdida de agua" es muy relati
va:

- Ella depende del flujo de la bomba: se sabe, en efecto, que una horadación absorbe siempre agua por sus paredes; por tanto si el flujo de la bomba es inferior a este flu
jo absorbido, no saldrá nada de la horadación, y si le
es superior, aparecerá una circulación. En el primer ca
so se tiene una "pérdida de agua"; en el segundo no se lo tiene, únicamente porque el flujo de la bomba es dife
rente.
- Ella depende del nivel de la capa acuífera ya que las can
tidades de agua fil
trada so proporcionales a la profundi
dad de la capa.

Cuando un sondeador constata pérdida de agua, se anota
cuí
dadosamente y luego abre la llave para regular de nuevo su agua de perforación, y los casos en los que esta maniobra no resulta son muy raros, a condición naturalmente de que la bomba sea suficiente.

Antes y después de la "pérdida de agua" conviene anotar los flujos (aunque sea de una manera aproximativa), porque su diferencia indica la importancia de la pérdida de agua.

5.2.1. Aparatos de medida

Una bomba de preferencia de varios pistones, de manera que la presión obtenida sea constante (o bien una bomba centrífuga).

Un medidor de agua, o contador

Un cronómetro, o en su defecto un reloj con aguja giratoria central.

Uno o varios manómetros.

Diversos tipos de uniones (de tubos)

Obturadores tipo standard.

5.2.2. Frecuencia de realización de los ensayos "Lugeón" y "Lefranc".

Los ensayos se hacen en general sobre espacios de 5m. y 3 m. respectivamente. Estas longitudes no son imperativas, pues si en el curso de la perforación se constata una pérdida de agua, será interesante proceder en este momento a un ensayo, aún en el caso que el espacio mida un metro y hasta quizá 50 cm. en este caso se colocará el obturador en la base de la zona ensayada precedente.

La longitud de 5 m. es una longitud que se puede calificar de económica, ya que si los espacios fueran más cortos se tendría una gran pérdida de tiempo para la puesta

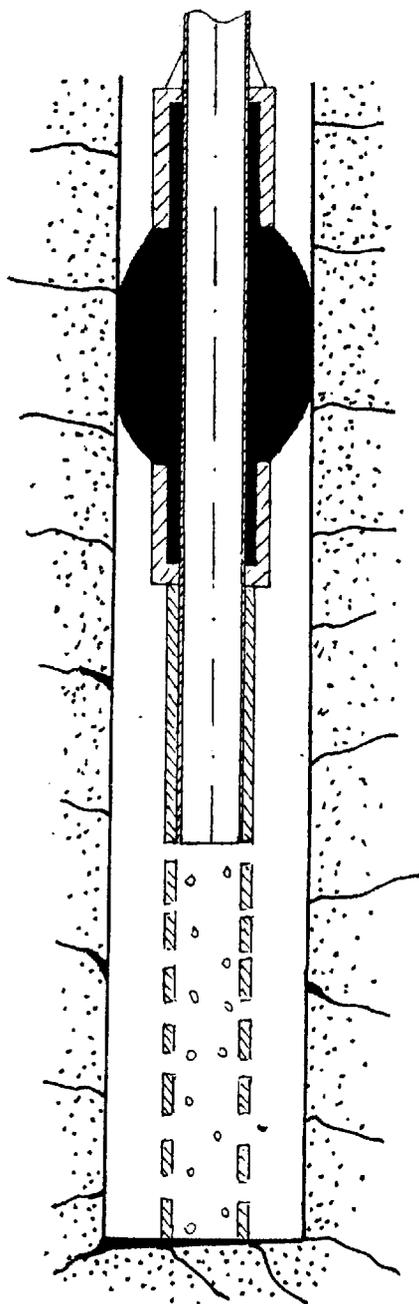
de los obturadores y su sacada, si al contrario, los espacios son más grandes, el ensayo no da sino una indicación media de la permeabilidad en el tramo y se corre el riesgo de no descubrir las zonas de fuerte permeabilidad.

5.2.3. Colocación del obturador

El obturador de caucho tipo standard está representado en la figura N^o 1. Cuando el obturador ha descendido a la profundidad deseada, se asegura que esté bien contenido. Para esto se hace correr agua por el hueco y se mira si sube o no.

Si emerge agua, puede deberse a dos causas:

- O bien el hueco no es regular y el obturador no sella completamente.
- O el terreno es suficientemente fisurado como para que se forme un corto circuito alrededor del obturador, y así el agua filtra en el terreno y sobresale en el hueco por debajo del nivel del suelo. Si se estuviera seguro que es el obturador el que no sella completamente, se podría medir a la salida del hueco los flujos de agua así evacuados y sería entonces posible realizar un ensayo correcto, en el supuesto, claro está, de que el hueco no absorba esta agua durante la subida a la superficie; de todas maneras, hay lugar de evitar un ensayo en estas condiciones.

OBTURADOR DE CAUCHO TIPO STANDARDFIGURA N^o 1

Si el obturador no sella en la profundidad que se había fijado, vale mejor desplazarlo algunos centímetros y aún de algunos metros hasta que se llegue a obturar correctamente.

Si se trata de un obturador modelo A con cuero, es necesario presionarlo sólidamente a la máquina y sobrecargar ésta para evitar que él suba bajo el efecto de las presiones utilizadas durante los ensayos.

5.2.4. Conexión del medidor de agua y manómetro

Se enlazan los extremos del obturador al conducto de agua por medio de una manguera, conviene prever entre el extremo del conducto del agua y la manguera los instrumentos siguientes: en primer lugar una válvula (como una compuerta de descarga sobre la rama lateral), luego una llave de agua, después el medidor de agua. El manómetro puede ser colocado a la una u otra extremidad de la manguera como se aprecia en las figuras N^o 2 y N^o 3.

Hay que asegurarse bien que el manómetro esté colocado después del medidor y no antes, para estar seguro de medir una presión correcta.

5.2.5. Anotación exacta de los elementos del dispositivo utilizado.

Conviene anotar particularmente:

- la profundidad, la longitud y el diámetro del espacio en sayado.
- el tipo de obturador.
- su longitud total.
- La longitud de la manguera y su diámetro interior.
- la altura del manómetro debajo del nivel del suelo.

5.3. ESTABLECIMIENTO DE UNA HOJA DE REGISTRO DE ENSAYO.

Todos los datos que aparecen en el ensayo deben ser apuntados con mucho cuidado sobre una hoja de ensayo de modelo oficial, a partir del modelo que, a título de ejemplo, reproducimos en las dos páginas del Anexo 5-1; 5-2.

5.4. ENSAYOS DE AGUA TIPO "LUGEON"

5.4.1. Medición de profundidades en el caso de una horadación inclinada.

Se designa generalmente la inclinación de una horadación - por la relación (en porcentaje):

$$p = \frac{100 a}{h}$$

(Así una horadación de 45 grados es designada por $p = 100\%$)

Montaje N° 1. Manómetro después de la manguera.

Montaje recomendado

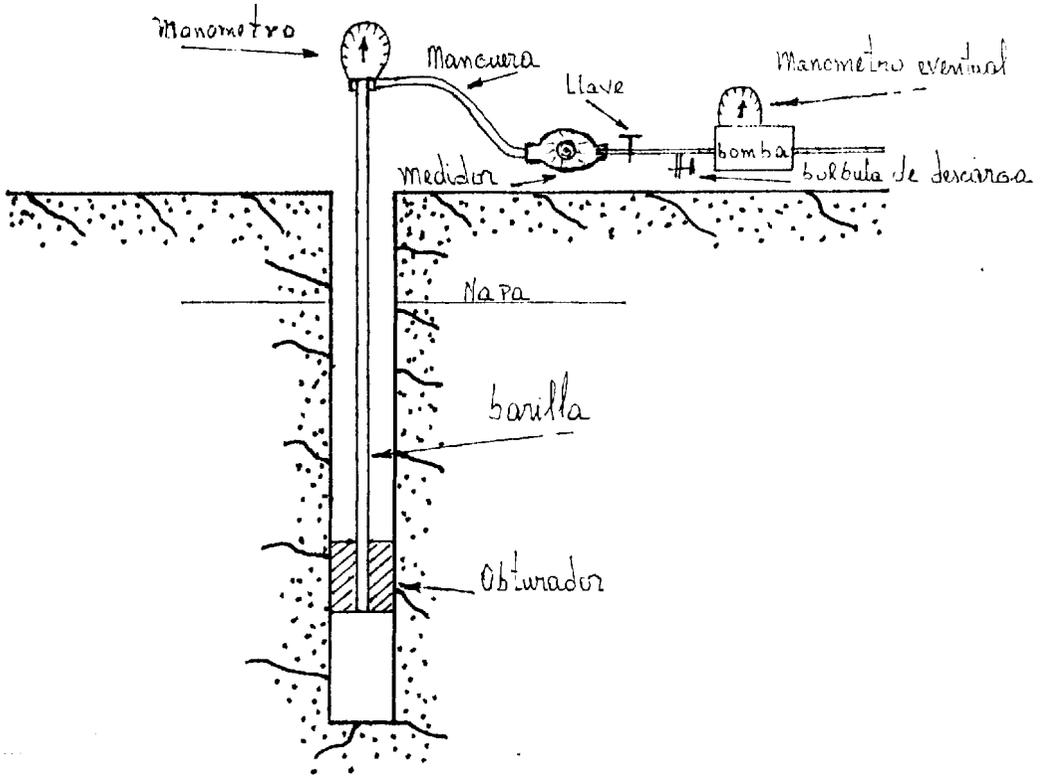


FIGURA N° 2

Montaje N° 2 . Manómetro antes de la manguera

Montaje a evitar

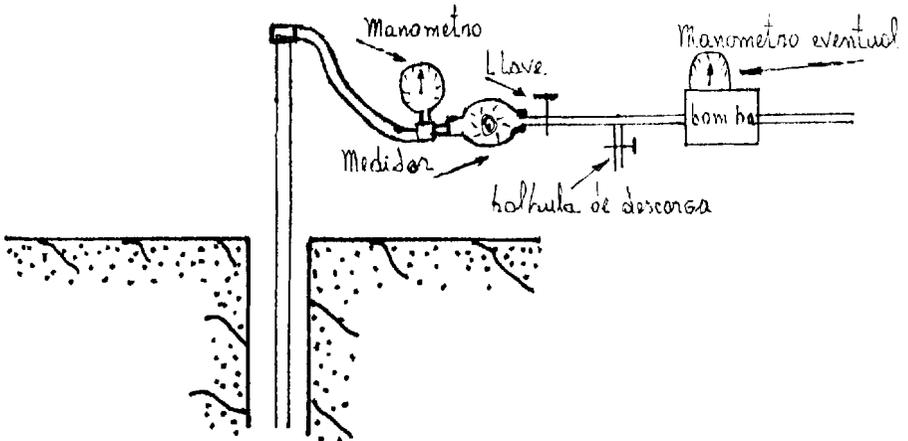


FIGURA N° 3

Montaje N° 1. Manómetro después de la manguera.

Montaje recomendado

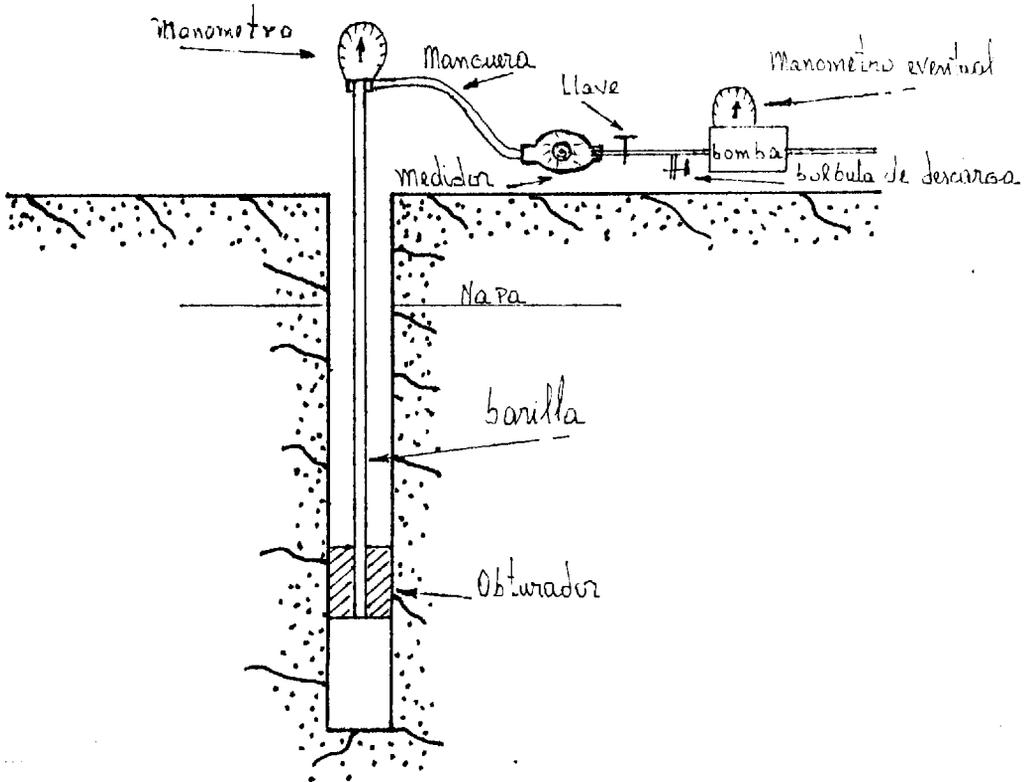


FIGURA N° 2

Montaje N° 2 . Manómetro antes de la manguera

Montaje a evitar

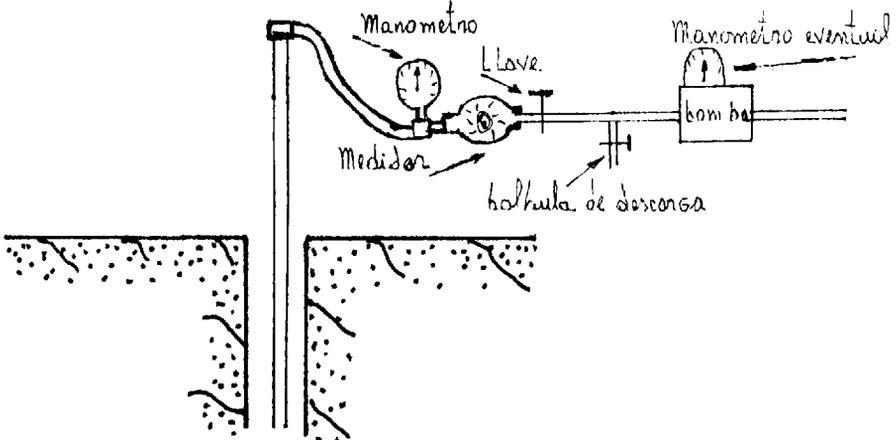
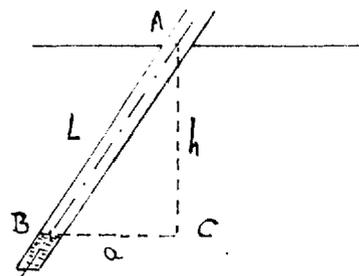


FIGURA N° 3

Buscamos que profundidad h contactada verticalmente corresponde a una medida de nivel de agua L hecha siguiendo el eje de la horadación.



En el triángulo rectángulo A-B C, se puede escribir: $h^2 = L^2 - a^2$

$$h = \sqrt{L^2 - \frac{p^2 h^2}{10.000}}$$

Se saca de esta relación:
$$h = \frac{L}{\sqrt{1 + \frac{p^2}{10.000}}}$$

5.4.2. Cálculo de las verdaderas presiones de inyección

La presión real al nivel del hueco de inyección no es la que se obtiene en el manómetro. Ella es en efecto:

- aumentada por el peso de la columna de agua que está en cerrada en los troncos del obturador entre el nivel estático de la capa y el manómetro.
- disminuída de las pérdidas de carga en las canalizaciones.

La presión real al nivel de hueco de inyección es determinada a partir de los elementos siguientes:

- nivel del manómetro
- nivel de la capa freática o del centro del paso.

- características de los conductos al aval del manómetro.
- flujos inyectados.
- presión anotada en el manómetro.
- curva de medición del manómetro.

Estos ejemplos combinan más o menos su efecto. Lo más simple es tomar dos ejemplos. Para ello tomaremos dos hojas de ensayo redactadas por un jefe de operación. Anexo N°5-1 y 5-2.

1º Ejemplo:

Tomemos la hoja de ensayo reproducida en el anexo N° 5-1. En esta hoja de ensayo, se encuentra fácilmente todas las informaciones que son necesarias para el cálculo de las verdaderas presiones de inyección:

1. La horadación está seca (cuadro 1)
2. El centro del paso ensayado está a 17.50 mts. de profundidad siguiendo el eje de la horadación (lo alto y lo bajo del paso ensayado están indicados en el ángulo de la hoja superior, a la derecha).
3. La horadación está inclinada a $p = 47\%$.
4. El manómetro está situado a 1 metro sobre el suelo.
5. El montaje utilizado corresponde al dispositivo N° 1 - (Indicación puesta bajo el título "ensayo de Lugeón" y

confirmado por el croquis dibujado en la mitad izquierda de la hoja.

6. El donducto de $\phi 1''$ a 17 metros de longitud (cuadro 1). Este valor es además igual a la altura del manómetro - más la profundidad del flujo del pase ensayado.
7. No hay mamelón.

Estudiemos por ejemplo, la línea:

Presión en kg/cm ²	Duración minutos	Lectura medidor		Nivel H du rante el - ensayo a ca da presión	Para llenar en la Sede (Sitio)
		Principio	fin		
8	10	3.000	3.960	seco	

Se ha inyectado 960 litros en 600 segundos, lo que representa un flujo de 1,6 l/s.

La presión verdadera en el centro del paso estudiado es igual a la indicación del manómetro (corregida según la curva de medición) aumentada de la carga de la columna de agua comprendida entre el manómetro y el centro del paso, luego disminuída de las pérdidas de carga en los conductos.

- a) La corrección del manómetro conduce a 9.05 kg/cm² (para 8 kg/cm² leídos en el cuadrante);

b) La carga de la columna de agua comprendida entre el manómetro y el centro del paso se calcula según las indicaciones que nosotros hemos llamado 2, 3, y 4:

$L = 17,50$ m. $p = 47\%$ manómetro puesto a un metro sobre el suelo.

Se encuentra fácilmente:

- del manómetro al suelo : $h_1 = 1$ metro de agua
- del suelo al centro del paso = $h_2 = \frac{17,50}{\sqrt{1 + \frac{47^2}{100^2}}} = 15,85$ m. de agua.

sea en total 16,85 m. de agua, equivalentes a $1,68 \text{ kg/cm}^2$

c) Se calcula las pérdidas de agua, sea según una medida directa ejecutada sobre el campo de trabajo, sea por medio de cartas Anexo N° 5.3, si no es posible lo primero.

Por ejemplo; en esta segunda hipótesis:

$q = 1,6 \text{ L/S}$				
Columna N°	1	2	3	4
Tamaño	Diámetro interior	Longitud	Pérdida de carga unitaria.	Pérdida de carga total
Documento a consultar	Hoja de ensayo. Cuadro I	Hoja de ensayo - Cuadro I	Carta. Anexo N° 5.3.	Productos de las columnas 2 y 3
Conducto	1"	17 m.	$0,037 \text{ kg/cm}^2/\text{m}$	$0,63 \text{ kg/cm}^2$
TOTAL:				<u>$0,63 \text{ kg/cm}^2$</u>

En definitiva la presión real en el centro de ensayo es:

$$9,05 + 1,68 - 0,63 = \underline{10,10 \text{ kg/cm}^2}$$

Segundo ejemplo:

Tomemos la hoja de ensayo reproducida en el Anexo N° 5.2.

En esta hoja de ensayo se encuentra fácilmente todas las indicaciones que son necesarias para calcular las verdaderas presiones de inyección:

1. Antes del ensayo, el nivel de agua estaba a 34,70 m. me did os siguiendo el eje del hueco (Cuadro I).
2. La horadación está inclinada a $p = 47\%$.
3. El manómetro está ubicado a 0,75 m. sobre el suelo.
4. El montaje utilizado corresponde al dispositivo N° 11 - (Indicación puesta bajo el título "Ensayo Lugeón" y con firm ada por el croquis dibujado a la mitad de la izquier da de la hoja de ensayo).
5. El flexible \emptyset 19 mm a 10 m. de longitud (Cuadro II).
6. Los troncos dichos "42" tienen 82 m. de longitud (Cuadro I).
7. Los troncos están reunidos por 27 mamelones (Cuadro I).
8. Existe una cabeza de rotación entre los troncos y el fle xible (Cuadro "observaciones" de la hoja de ensayo).
9. Las fugas del obturador no tienen mayor importancia: 0,5

litro en 10 minutos bajo 8 kg/cm^2 (columna: "nivel H")

Estudiemos la línea:

Presión en Kg/cm^2	Duración	Lectura medidor		Nivel H duran te el ensayo de cada presión	Para llenar por la Sede
		Principio	fin		
8	10'	3.000	3.960	26,385 26,336	- - - -

La presión verdadera en el centro del paso estudiado es igual a la indicación del manómetro (corregida según la curva de medida), aumentada de la carga de la columna de agua comprendido entre el manómetro y el nivel estático de la capa, luego disminuída de las pérdidas de carga en los conductos.

- La corrección del manómetro conduce a $9,05 \text{ kg/cm}^2$ (en lugar de 8 kg/cm^2 leídos).
- La carga de la columna de agua comprendida entre el manómetro y el nivel estático se calcula según las indicaciones que nosotros hemos llamado 1, 2 y 3.

$L = 34,70 \text{ m.}$ $p = 47\%$ manómetro ubicado a $0,75 \text{ m.}$ sobre el suelo

Se calcula fácilmente:

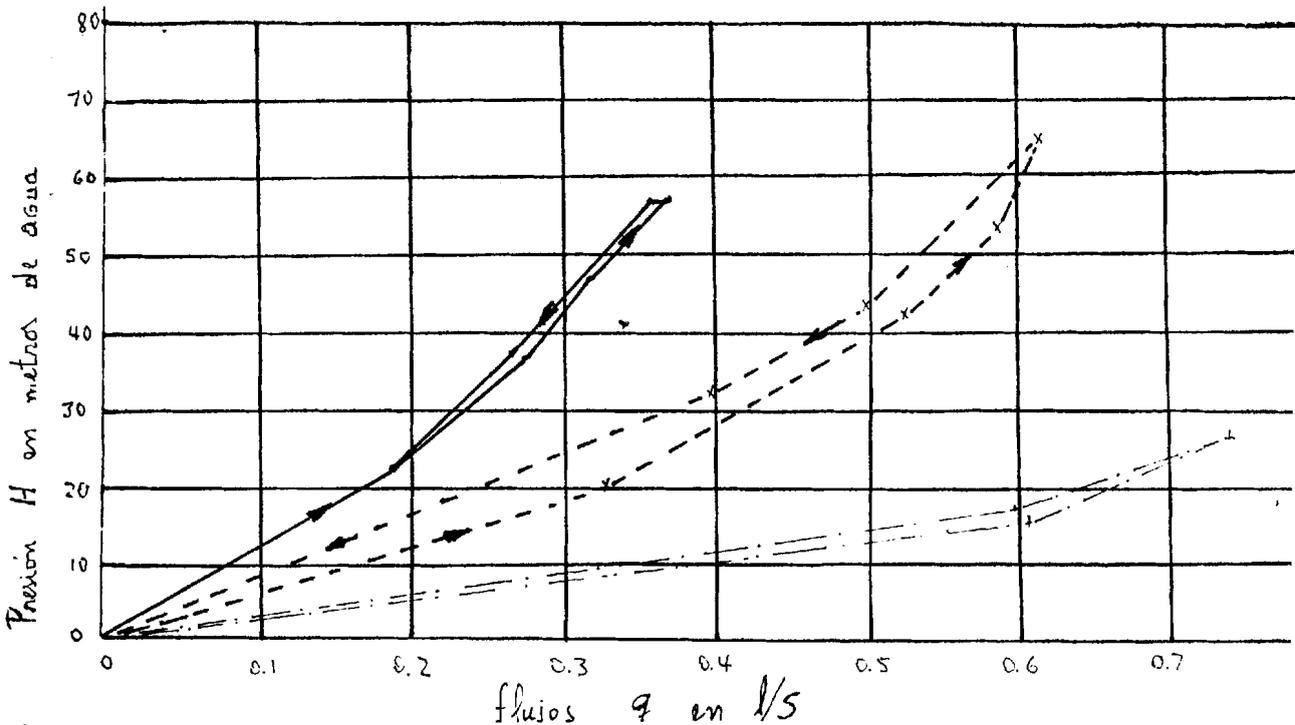
- del manómetro al suelo : $h_1 = 0,75$ metros de agua.

- del suelo al nivel estático: $h_2 = \frac{34,70}{\sqrt{1 + \frac{(47)^2}{10.000}}} = 31,4 \text{ m. de agua}$, sea un total de 32,15 metros de agua, equivalentes a $3,21 \text{ kg/cm}^2$.

c) Se calcula las pérdidas de carga, sea según una medida directa ejecutada en el campo de trabajo, o por medio de cartas.

TRAZADO DE LOS GRAFICOS

Habiendo así calculado para cada flujo de ensayo, la "presión real" de inyección, se puede construir los gráficos correspondientes. Para esto se pone sobre dos ejes rectangulares los flujos en abscisas y las presiones en ordenadas y se juntan los puntos por medio de rectas.



Para cada lugar de trabajo, hay que adaptar las escalas a los resultados de ensayos tomando las más grandes posibles. En rigor, si los resultados no son muy diferentes, se toma dos escalas para el mismo campo a fin de facilitar las comparaciones. Hay que tratar de contentarse con un solo gráfico para cada sondeo.

Advertencia: Escalas

Los gráficos se hacen sobre papel milimetrado; luego las escalas no pueden ser arbitrarias. Conviene que la longitud que corresponde a la unidad del tamaño a representarse sea fácilmente divisible para 10, 100, 1000, etc. a fin de que, sin cálculo, se pueda fácilmente poner un punto correspondiente a un número de muchas cifras.

Por ejemplo, no se tomará nunca una longitud de 3 cm. para representar una unidad, porque si el 1/10 corresponde a 3 cm. el 1/100 da 0,30 mm. que no figura sobre el milímetro. Se podría tomar 4 cm. pues el milímetro representaría entonces 0,025 pero es mejor evitarlo.

Para la unidad, hay que contentarse por tanto de 1- 2 y 5 cm. o de los múltiples o submúltiples por 10 de estas longitudes.

Los tiempos deben ser evaluados en lo posible en segundos.

Sin embargo, alguna vez puede ser interesante de llevar las horas; en este caso una hora que corresponde a 60 minutos y estos a 60 segundos, conviene que la longitud es cogida sea fácilmente divisible para 3, 6 y 60. Esta longitud puede ser tomada igualando a 3, 6, 12, 24, 30 y 60 mm. Más allá, conviene abandonar las horas para pasar a los segundos.

5.4.3. Interpretación de los ensayos de agua "Lugeón"

5.4.3.1. Definición de la "Unidad Lugeón"

En el caso de los ensayos Lugeón, la permeabilidad, en principio débil, corresponde a una circulación de agua en las fisuras de una roca: no se lo encuentra pues en un medio homogéneo, y parece poco indicado razonar directamente sobre el "coeficiente de permeabilidad K".

En este caso, se expresa simplemente el resultado del ensayo en "absorción de agua".

Por definición, una absorción de 1 litro por minuto y por metro de hueco bajo una presión de 10 kg/cm^2 corresponde a una unidad Lugeon.

Según el flujo real de infiltración que ha sido medido, se dice que la permeabilidad es igual a n "unidades Lugeon"⁽¹⁾

(1). M. Lugeon indica que se puede tolerar para profundidades superiores a 30 m. una absorción de agua de un litro por minuto y por metro lineal bajo una presión de 10 kg/cm^2 .

Aunque el razonamiento no sea muy lógico, se desea a veces comparar la roca con fisuras a un terreno homogéneo - ficticio. Se puede entonces utilizar la fórmula aproximativa:

$$1 \text{ unidad Lugeon } (0,61 \cdot 10^{-7} \cdot \log \frac{2P}{d}) \text{ m/s}$$

Sea generalmente 1 unidad Lugeon 10^{-7} a $1,5 \cdot 10^{-7}$ m/s.

5.4.3.2. Método de cálculo aproximado de las unidades Lugeon.

Se ha establecido al momento del ensayo el diagrama de la presión en función del flujo.

Si la absorción del agua siguiera rigurosamente las leyes del caudal laminar en medio homogéneo, se debería obtener un diagrama lineal (figura 1 pág. siguiente).

En realidad, se producen frecuentemente fenómenos perturbadores, por ejemplo:

- Un relleno cuando se alcanza una fuerte presión (figura 1 a).
- Un vaciamiento cuando se alcanza una fuerte presión (figura 1 b).
- Un relleno brusco desde el principio de la subida en presión (Figura 2).
- Dos rellenos sucesivos (figura 2 a).

- Un vaciamiento progresivo (figura 4).

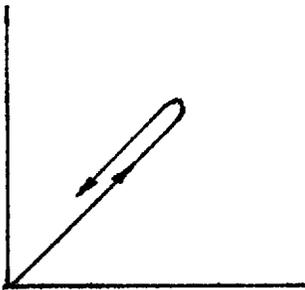
Por otra parte, el caudal deviene algunas veces turbulento (figura 3).

Los puntos están pues muy lejos de un alineamiento.

Para hacer la interpretación, se observa primero los diagramas con cuidado, se reflexiona para determinar las causas de las irregularidades constatadas, y se eliminan todos los puntos que están sujetos a error.

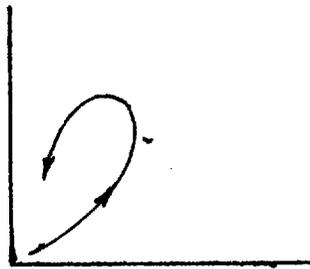
Tomemos, por ejemplo, el gráfico de la pág. 104 correspondiente a ensayos de 3 niveles diferentes (1, 2 y 3).

En los tres casos, los diagramas obtenidos juntando simplemente todos los puntos de medida presentan una curvatura muy clara: ha habido claramente caudal o pérdida turbulenta para los flujos fuertes (diagrama comparable a los de la figura 3).



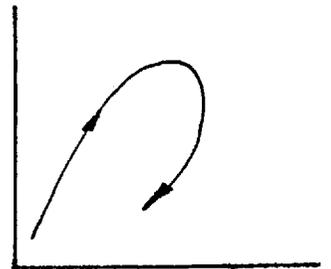
1

Derrame laminar



1 a

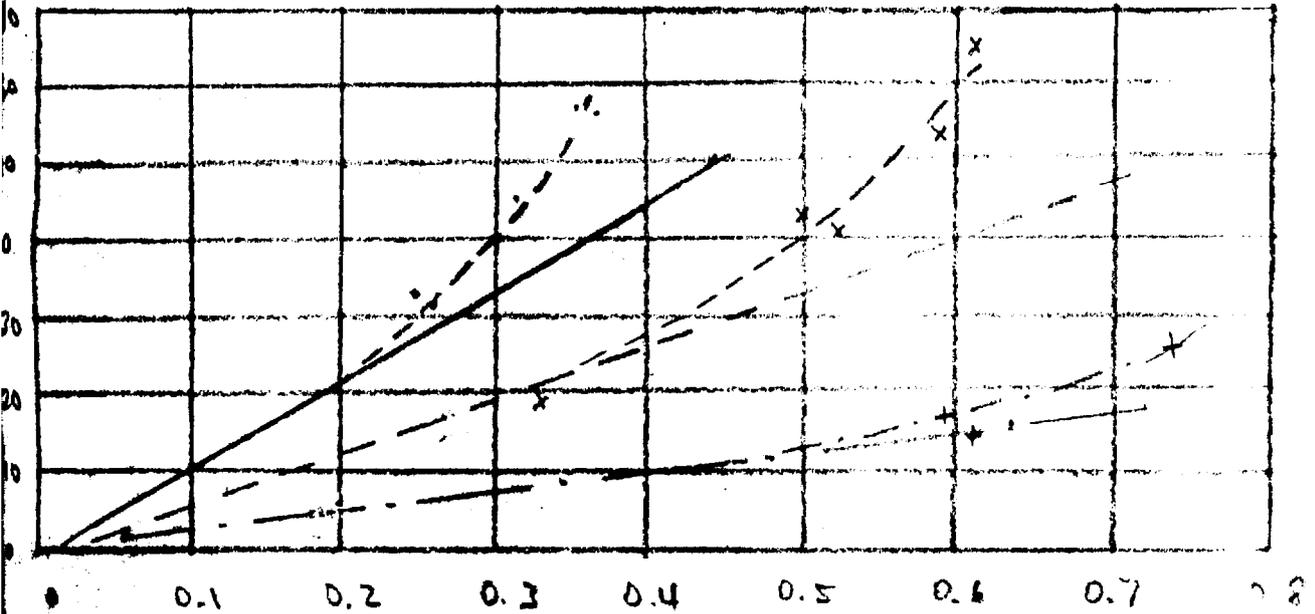
Derrame laminar. Relleno a alta presión.



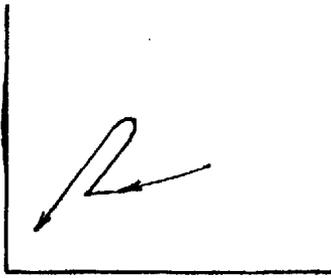
1 b

Derrame laminar. Vaciamiento a alta presión.

76-a

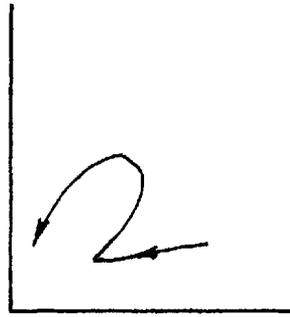


Flujo q en P/s

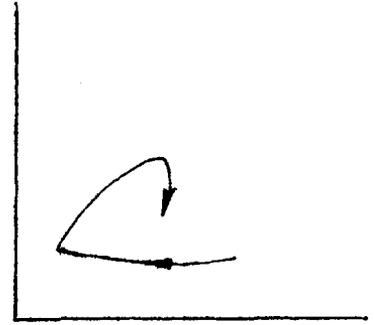


2

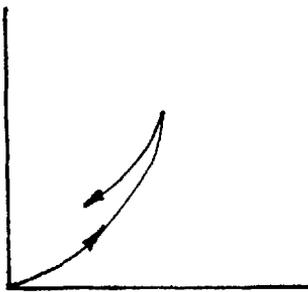
Relleno a baja presión



2 a

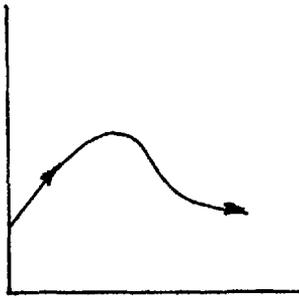
Relleno a presión
baja y alta

2 b

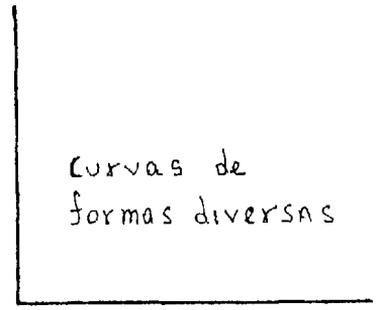
Relleno a baja presión
y vaciamiento de alta
presión.

3

Derrame turbulento



4

Vaciamiento pro
gresivo.

5

Curvas de
formas diversas
Relleno y vaciamiento su
cesivos.

Para interpretar la gráfica precedente, se debe suprimir el efecto del derrame turbulento reemplazando los diagramas - por sus tangentes al origen.

Para cada uno de los tres niveles estudiados, se obtiene a sí una recta que pasa por el origen: frente a la ordenada 10 kg/cm^2 (100 mt. de agua) se lee inmediatamente el flujo q .

El número de unidades Lugeón es igual a este flujo, expresado en litro por minuto, dividido por la longitud del paso.

5.5. OBSERVACIONES PARALELAS A LA REALIZACION DE LOS ENSAYOS DE PERMEABILIDAD, TIPOS "LUGEON" y "LEFRANC".

Ciertas observaciones deben efectuarse durante el avance de la perforación. Es importante que el perforador observe estos factores y los anote inmediatamente, para incluirlo en su informe diario. Se trata dentro de otras de las siguientes observaciones:

- Comportamiento del agujero: derrumbes de las paredes, hinchamiento o ascención del fondo, partes cavernosas, etc.
- Descripción de la resistencia que presenta el material atravesado a las herramientas de perforación y características del mismo que puedan apreciarse.
- Cambios en el color del suelo o de las rocas perforadas.
- Presencia de cuerpos extraños en el suelo, comomadera, organismo.

En la perforación de testigos se debe anotar cuidadosamente el largo de los núcleos recuperados.

5.5.1. Pérdidas de agua

También el perforador debe observar cuidadosamente las condiciones hidrogeológicas, medir la profundidad del nivel del agua al principio y al final de cada turno o doble turno diario. Si no hay agua en el agujero así lo anotará, igualmente si del agujero fluye agua, cuantificará por métodos volumétricos sencillos y directos el caudal al perforar con inyección de agua, se anotarán todas las pérdidas de circulación.

Las pérdidas de agua en los ensayos de permeabilidad efectuados en los sondeos del sitio de la presa se debieron a zonas fracturadas de la roca, pero la pérdida de agua se notaba en los primeros metros de perforación, llegando en algunos sondeos hasta 20 m. de profundidad. A partir de estas profundidades no se notaba pérdida de agua durante la perforación y en los ensayos de permeabilidad daban valores inferiores a un "Lugeón".

5.5.2. Pérdida de testigo

La recuperación de los testigos de roca de los sondeos está supeditado a la técnica y aparatos empleados en dicha -

recuperación, y a la calidad o grado de fracturación de la roca, porque de una roca muy fracturada difícilmente se recuperarán testigos, porque la broca al rotar, convierte a la roca fracturada en pequeños pedacitos. En el proyecto Toachi las perforaciones fueron hechas con tala dros de diámetro NX, y las recuperaciones de testigos fue ron de 90 a 98%, salvo el sondeo S8 del margen derecho en el sitio de la presa, del que se recuperó un 45% del total perforado.

5.5.3. Napa freática

Inmediatamente después de terminar cada sondeo, se debe medir la distancia entre la superficie del terreno y el nivel de agua que se ha observado en el sondeo en cuestión, esta observación debe hacerse de la siguiente forma:

- Tan pronto como se haya realizado el último tramo de perforación, muestreo o recuperación de núcleos de roca se observará y anotará el nivel de agua con una indicación del tiempo transcurrido entre el momento de la observación pertinente y el último borde del agua de lavado que se ha inyectado en la perforación. Si se hubiese empleado tubería de revestimiento en la so brecapa de suelo, entonces esta tubería sería levanta da y se efectuaría una segunda observación tan pronto

como fuese posible, excepto de algunos sectores en que se deja la tubería de revestimiento, a fin de evitar el derrumbe de las paredes del sondeo.

El nivel de agua y el tiempo transcurrido para la segunda observación también se registran, entonces se hará y se registrará una tercera observación aproximadamente - después de 12 horas. Si los niveles de agua para la segunda observación y tercera no son los mismos, las observaciones se continuarán haciendo a intervalos de 25 horas hasta que se logre conocer el nivel constante.

- En algunos sondeos, una vez terminada la perforación, se prevee la instalación de piezómetros para medir la variación del nivel estático de mantos acuíferos.

En el proyecto, los niveles de agua fueron cuidadosamente observados y anotados durante la perforación. Las mediciones tienen que continuar en los piezómetros instalados en los sondeos para diferenciar el nivel de la verdadera napa freática de los niveles del agua de circulación. Los valores obtenidos hasta la fecha no parecen muy significativos porque todavía pueden ser disturbados.

5.6. FORMA DE PRESENTACION DE LOS DATOS DE PERMEABILIDAD OBTENIDOS A PARTIR DE LOS ENSAYOS TIPO "LUGEON" y "LEFRANC".

Los datos de permeabilidad anotados en los registros de los sondeos del eje de la presa se representan en el perfil de permeabilidades.

1er exemple - Cas d'un forage n'atteignant pas la profondeur prévue -

PROJET N° 13
 CHANTIER DE ... X.
 DATE 18 Juillet 1957

ESSAIS "LUGEON"

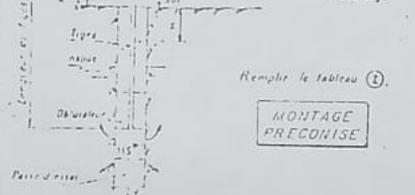
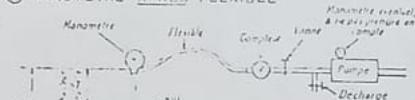
Dispositif utilisé : (1)

PROFONDEUR N° 1
 150 m
 PASSÉ EQUILIBRÉ N° 10 - 127
 (à partir de 100 m)

— PRINCIPLE DE MONTAGE —

Rayer le montage non utilisé

① MANOMÈTRE APRÈS FLEXIBLE



② MANOMÈTRE AVANT FLEXIBLE



INCLINAISON 47%

Tableau A : à remplir dans toutes les cas
 Type de forage sec (1)
 f Type: 1"
 Tiges Longueur totale: 17m
 Nombre de mamelons: 0
 Type d'obstacle (1) manchon à type sec

(1) Rayer le montage utilisé

PROFONDEUR en m	DURETÉ (minutes)	LECTURE COMPTEUR (en litres)		Temps en sec
		Debit	Vol	
croissante	1 - 10	529	875	sec
	2 - 10	910	1356	sec
	4 - 10	1415	2047	sec
	5 - 10	2124	2925	sec
décroissante	8 - 10	3000	3960	sec
	5 - 10	4075	4785	sec
	3 - 10	4677	5341	sec
1 - 10	5395	5739	sec	

- Le niveau H sera relevé jusqu'à la surface de la nappe.
 - Chaque essai sera précédé d'un essai de reconnaissance.

REMARKS:

2ème exemple - Cas d'un forage atteignant la nappe d'eau -

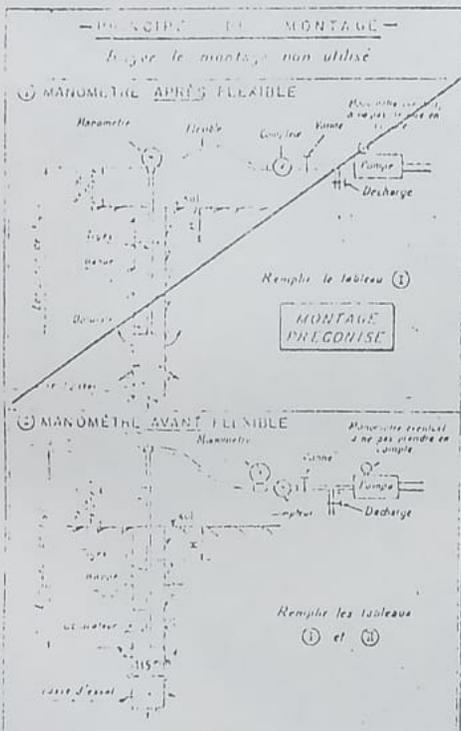
PROJET
CHANTIER DE X
DATE 30 juillet 1957

ESSAIS "LUGEON"

Dispositif utilisé (1)

Série de 1

PASSE ESSAYE de 50 m
(la partie de 100 m de ...)



INCORPORATION 47%

Profondeur de la sonde (1) 34,70 m

Type (1) 42

Longueur totale 52 m

Nom de la sonde 27

Type d'abertura (1) 100

(1) Réviser la mention inférieure

	PRESSION en kg/cm ²	DURÉE (minutes)	LECTURE SOMMATIVE (en litres)		Moyenne des lectures
			DEBIT	Q	
OCCUPANTE	1	10	140	512	26,372
	2	10	604	1213	26,497
	4	10	1288	1990	26,423
	6	10	2007	1904	26,353
	8	10	3000	3960	26,336
	ÉLECTRICIEN	5	10	4075	4030
3		10	4903	5919	26,266
1		10	5562	6039	26,266

— Le débit de la sonde sera corrigé de 10% à la suite de ...
— Chaque pression constante sera lue à la fin de chaque essai.

REMARQUES:
La tête de rotation a été laissée à la partie supérieure des tiges.

VI. OBSERVACIONES GEOTECNICAS EN LOS TESTIGOS DE SONDEO

Los testigos suelen ser de cuatro tamaños (diámetros) que corresponden a los cuatro juegos de tuberías de revestimiento, acoplamientos y coronas que vienen ya tabuladas: AX, BX, EX, NX. Los testigos se guardan en cajas especiales, con unas largas divisiones estrechas en las cuales se van colocando en el orden en que se extraen del sondeo entre cada maniobra de perforación, los testigos son separados por tacos de madera donde se señalan las profundidades correspondientes. Se llama recuperación del testigo a la relación entre la longitud total de los testigos extraídos y la longitud total perforada, y se suele expresar en tanto por ciento de testigos perdidos o bien recuperados. Las rocas sanas suelen dar recuperaciones altas, frecuentemente aproximadas al 100%; las fisuradas, en cambio pueden dar recuperaciones bajas y testigos muy rotos.

En el sitio de la presa fueron ejecutados 14 sondeos cuyas características están resumidas en la siguiente tabla:

SONDEO Nº	COORDENADAS		COTA m. s. n. m.	INCLINACION DE LA VERTICAL	LONGITUD m.
	N	E			
S - 1	9.959.951	732.355	1005.14	29°	50
S - 2	.842	.426	930.46	29°	50

SONDEO Nº	COORDENADAS		COTA m. s. n. m.	INCLINACION DE LA VERTICAL	LONGITUD m.
	N	E			
S - 3	.780	.620	1024.38	vert.	45
S - 4	.888	.264	1046.56	30°	50
S - 5	.798	.321	931.32	vert.	150
S - 6	.705	.391	955.68	vert.	50
S - 7	.622	.454	1028.78	26°	50
S - 8	.545	.509	1086.95	vert.	40
S - 9	.754	.170	995.89	18°	50
S - 10	.644	.316	984.80	29°	50
S - 12	.631	.196	934.12	29°	100
S - 13	.581	.246	971.80	29°	70
S - 14	.520	.322	1044.43	28°	50
S - 17	.731	.128	984.70	27°	70

Los sondeos realizados en el eje de la presa en arco son:

S - 12, S - 13, S - 14, S - 17.

En cada sondeo se llevaron a cabo los siguientes estudios y ensayos:

- Descripción geológica de los testigos y determinación de las principales estructuras.
- Clasificación de la alteración de las rocas según la *Tabla N° 90*

- Registro de fracturación.
- Designación de la calidad de la roca (Rock Quality Designation R.Q.D.).
- Ensayos de permeabilidad, tipo Lugeón en la roca, y Lefranc en los materiales sueltos de cobertura.
- Medición del nivel del agua en los sondeos.
- Muestras de testigos para ensayos de laboratorio.

6.1. REGISTRO DE FRACTURAS

En forma general los testigos muestran una fuerte fracturación que no disminuye hasta profundidades de 50 m. (profundidad promedio de los sondeos), con excepción del sondeo S-5 ubicado en la orilla izquierda del río donde disminuye la fracturación a partir de los 90 m.

La recuperación varía entre 41 y 98% con un promedio de recuperación de 74%. La baja recuperación del sondeo S-8 (41%) ubicado en la parte alta del margen derecho, se puede explicar por la presencia de roca con alteración hidrotermal, la roca del S - 7 parece estar influenciado por el mismo fenómeno. La recuperación relativamente baja del sondeo S - 12 (60%) ubicado en la margen derecha del río, se puede suponer que se debe a fallas paralelas al río en ese tramo, del mismo modo el S - 2 presenta recuperación de 59% debido a que la roca está bastante fracturada. Es importante anotar que la fracturación de los testigos se presenta siempre más

alta que la fracturación de la roca en las galerías, lo que se puede explicar por la presencia de microfisuras en todas las rocas, la acción de perforar a menudo destruye y tritura la roca de tal manera que no se recupera testigos, en las galerías se emplearon explosivos y el grado de fracturación que se desarrolla es más representativo para caracterizar la calidad de la roca.

Al registrar las fracturas se consideraron las fracturas naturales, contenidos en 32 cm. de testigo, con espacios de 1, 2, 4, 8, 16, 32 cm. de fractura a fractura.

6.2. DESIGNACION DE LA CALIDAD DE LA ROCA R.Q.D.

El R.Q.D. es un índice que se obtiene utilizando los testigos de sondajes en los cuales se hace un cálculo de la recuperación modificada, o sea para tales efectos se lleva en consideración solamente los trozos recuperados cuyo largo sea igual o superior a 10 cm. los cuales son sumados y el total es dividido por el largo del tramo perforado, al realizar estas operaciones se debe distinguir entre fracturas operacionales y fracturas naturales, si se considera que se trata de fracturas operacionales, se deben juntar los pedazos partidos y considerar el conjunto como si se tratara de una sola pieza, y si alcanza los 10 cm. se debe considerar en los cálculos del R.Q.D.

Según Don Deere, en un tramo determinado de perforación (correspondiente a un valor fijado o al avance del muestreador) se suman las longitudes de fragmentos de testigos superiores a 10 cm. Esta suma, definida en porcentaje de la longitud de referencia, se llama R.Q.D. La calidad de la roca se estima en base a las siguientes clases: 0-25% muy malo, 25-50%; malo, 50-75%; mediano, 75-90%; bueno, 90-100% excelente. El R.Q.D. en los sondeos está indicado en la escala desde muy malo hasta mediano, con excepción del sondeo S-5 donde se observan valores hasta buenos y excelentes a partir de los 90 m. de profundidad, en general el valor del R.Q.D. en los sondeos del sitio de la presa no son muy significativos, aunque generalmente es una práctica comprobada para determinar la calidad de la roca.

3. ALTERACION

En los casos en que la composición o la estructura de las rocas resulte alterada en la proximidad de la superficie terrestre, o en la superficie misma, como consecuencia de la acción de agentes físicos y químicos que intervienen como resultado de los procesos atmosféricos, se dice que la roca ha sido alterada.

Mediante los sondeos se ha llegado a verificar la impresión que se tenía con los estudios de superficie de que la roca en el flanco derecho, a lo largo del eje de la presa en

arco, se presenta más fuerte y más profundamente alterada - que en el flanco izquierdo.

Los términos geotécnicos empleados para designar la alteración de la roca son: descompuesta (D), completamente alterada (CA), altamente alterada (AA), medianamente alterada (MA), poco alterada (PA), fresca (F).

En la página N° se da una clasificación de la alteración:

CLASIFICACION DE LA ALTERACION

TERMINO	ABREVIACION	CONDICION QUIMICA
Descompuesta	D	Completa descomposición química; material en equilibrio químico con oxígeno atmosférico y humedad. La fábrica de la roca ya no es visible. Incluye los suelos residuales de los horizontes A y B en un perfil clásico de suelos.
Completamente alterada	CA	Casi de completa descomposición química; los materiales químicamente más recientes pueden aún ser visibles. La fábrica de la roca es visi-

TERMINO	ABREVIACION	CONDICION QUIMICA
<i>Altamente Alterada</i>	AA	<i>ble. Fuertemente oxidada y completamente blanqueada en todas sus partes. La cohesión de las partículas es reducida. El material puede ser disgregado con los dedos.</i>
<i>Medianamente Alterada</i>	MA	<i>Alguna evidencia de alteración en la fábrica de la roca, generalmente poco blanqueada. Casi todas las diaclasas están fuertemente oxidadas. Oxidación o decoloración puede extenderse dentro de la roca en distancias cortas.</i>
<i>Ligeramente Alterada</i>	LA	<i>Alteración incipiente a lo largo de los planos de juntas. Algunas diaclasas ligeramente oxidadas. La fábrica de la roca no está alterada.</i>
<i>Fresca</i>	F	<i>Sin alteración</i>

6.4. LITOLOGIA Y ESTRUCTURAS

En los sondeos se han encontrado principalmente rocas igneas

volcánicas, como lavas, así como sedimentos volcánicos como cenizas y piroclastos finos litificados y que constituyen tobas, tobas brechosas, y brechas de material volcánico, todos de color verde claro a gris verdoso, en partes la roca presenta alteración hidrotermal, con vetillas de epidotta, carbonato de calcio y sílice.

Las secciones delgadas realizadas de los núcleos de roca, en especial de los sondeos del eje de la presa, revelan minerales que le dan a las rocas una composición andesítica.

M.I. - S - 17 - lámina delgada de sondeo S-17, márgen izquierda, los cristales presentan formas irregulares algo redondeadas, indicio de transporte, puede tratarse de un sedimento de piroclastos y cenizas volcánicas que están formando una toba. Su composición mineralógica presenta plagioclasa 60%, carbonatos 10%, posiblemente de origen secundario, hay algo de clorita y epidita. La toba presenta alternancia en material fino y grueso, la matriz es muy fina y de composición andesítica, o algo básica debido al contenido de clorita que le dá el color verde, mineral que puede provenir y está presente en rocas básicas.

M.D. -S-14 y S-13 - láminas delgadas de los sondeos S-14 y S-13 de la margen derecha. La matriz formada por vidrio, se trata de tobas de cristales muy finos con fenocristales especialmente de

plagioclasas, se observan grietas con rellenos de carbonatos, no se puede pensar en una lutita porque los cristales no presentan redondeamientos y tampoco hay micas, los fenocristales son regulares, en determinadas profundidades los núcleos muestran bandeamientos, se trata de tobas con intercalaciones de materiales finos y más gruesos. En el S-12 de la margen derecha hay tobas y brechas muy fracturadas.

Los contactos entre los diferentes tipos de roca son a veces tectónicos, los sondeos S-2 y S-12, perforados en la orilla del río, nos permitió determinar la potencia de los aluviales de 10 a 5 m. respectivamente. Mediante los sondeos ha sido posible evidenciar discontinuidades como a fallas, con rellenos de arcilla y milonita de poca potencia (2 a 5 mm.).

6.5. FORMA DE PRESENTAR LOS DATOS OBTENIDOS EN LOS TESTIGOS DE SONDEO.

Los datos obtenidos de los sondeos se representan conjuntamente en hojas llamadas "registro de sondeo", estas hojas además tienen datos referentes a la ubicación, cota del terreno, profundidad del sondeo, fecha, etc. como se puede apreciar en los registros de los sondeos S-17, S-12, S-13, S-14 facilitados por INECCEL para el presente trabajo.

6.6. PERFILES

Con los datos obtenidos de las investigaciones de los núcleos

de roca de los sondeos del sitio de la presa, y en especial de los sondeos del eje de la presa, contenidos en los registros de perforación se pueden trazar perfiles a lo largo del eje de la presa en arco con los diferentes datos geotécnicos, y obtener de esta manera perfiles de la permeabilidad de la alteración de la roca y de la geología y estructuras (perfiles N° 2, N° 3, N° 4).

VII. OBSERVACIONES EN LAS GALERIAS

Una galería es una excavación horizontal o casi horizontal, abierta a la superficie del terreno por un extremo.

Las galerías, son métodos directos de investigación subterránea que permiten una observación de la misma, con obtención de datos que por otros métodos serán dificultosos o imposibles, además de caracterizarse por su calidad y cantidad superiores y propiciar la realización de ensayos mecánicos *in situ*. Las galerías son utilizadas cuando se necesita información de las rocas que serán utilizadas como material de construcción, o para determinar la calidad de las rocas que servirán de apoyo a los estribos de una presa, etc. Desde las galerías se pueden realizar sondeos rotatorios con extracción de testigos para un enriquecimiento de las informaciones requeridas. En el sitio de la presa fueron ejecutadas las galerías señaladas en el siguiente cuadro:

GALERIAS	COORDENADAS		Cota m. s. n. m.	Longitud m. (incl. cruceros)
Margen izq.				
G.I. - 1	N-9.959.712	E-732.180	940.27	20.00
G.I. - 2	N-9.959.736	E-732.141	987.22	48.80
G.I. - 3	N-9.959.779	E-732.153	1032.67	43.95

GALERIAS	COORDENADAS		Cota m.s.n.m.	Longitud m. (incl. cruceros)
<i>Margen izq.</i>				
G.I. - 4	N-9.959.824	E-732.238	1006.87	50.30
G.I. - 5	N-9.959.969	E-732.749	1060.02	20.00
<i>Margen der.</i>				
G.D. - 1	N-9.959.583	E-732.289	1004.83	67.70
G.D. - 2	N-9.959.532	E-732.324	1044.83	45.50

Las galerías ubicadas en el eje de la presa en arco son:

G.I. - 1, G.I-2, GI, 3, G.D-1, G.D-2.

En cada galería se efectuaron las siguientes investigaciones:

- levantamiento geológico
- estadística y clasificación de las discontinuidades
- registro de fracturas
- clasificación de la alteración según el cuadro N° 90
- localización y estimación del caudal de infiltración de agua.

7.1. LITOLOGIA

Láminas delgadas hechas de rocas sacadas de las galerías nos revelan que en realidad se trata de las mismas rocas obtenidas en los sondeos, el análisis de las placas nos muestran rocas de matriz fina, especialmente de cuarzo fi

no recristalizado en un 30%, plagioclasa un 50%, también se observa clorita, así como epidote y clinozoisite, el actinolito de origen secundario, proveniente de la alteración del piroxeno se encuentra en un 5%, las plagioclasas presentan ángulos de extinción que oscilan entre los 17 y 20°, la roca ha sufrido deformación por presentarse deformados los cristales, especialmente por la ondulación de los cristales de cuarzo.

Los cristales están ligeramente redondeados, puede tratarse seguramente de sedimentos volcánicos, una toba ligeramente deformada, es difícil pensar que el sedimento sea una Gruvaca como lo describe el geólogo de Motor Columbus, porque no hay impurezas, y el porcentaje de cuarzo no es elevado, además la presencia de fenocristales nos indica la cercanía de volcanes.

7.2. ESTRUCTURAS

Las discontinuidades presentes en la masa rocosa y descubiertas en las galerías de investigación las estudiaremos, cuando se describan las galerías por separado.

7.3. ALTERACION

En cada galería se describirá la clasificación de la alteración de las rocas según el cuadro de la página N°

7.4. CANTIDAD DE AGUA Y LA TEMPERATURA EN LAS GALERIAS

La construcción de una galería puede cambiar el régimen hidrológico de un lugar, así como también producir cambios en las condiciones de los esfuerzos locales, originándose desprendimientos por el alivio de las presiones. Las temperaturas especialmente en túneles profundos, pueden entorpecer los trabajos, por lo que son factores que deben ser tomados muy en cuenta en la construcción de las galerías.

A continuación se describirán los estudios realizados en cada una de las galerías del eje de la presa en arco, y que están contenidas en los registros de galerías, proporcionados por INECEL.

Margen izquierda

Galería G.I-1

Litología y estructuras. En los primeros 10 m. la galería cruza brechas y tobas y hasta el tope de la galería la roca está constituida por tobas bandeadas a manera de estratificación, debido al tamaño de las partículas de material volcánico.

El estudio estadístico de las fracturas indican tres tipos de discontinuidades principales, un tipo lo constituyen las estratificaciones, las fallas, fallas miloníti-

cas, zonas de fallas, otro tipo está representando las fracturas menos acentuadas, y el tercer grupo lo integran las fisuras, diaclasas.

Alteración - hasta los 10 m. la roca se encuentra medianamente alterada (MA) de 10 a 15 m. ligeramente alterada (LA) y de 15 m. hasta el tope la roca es fresca (F).

Fracturación - hasta los 8 m. se observan fracturas cada 2 y 4 cm. y hasta el tope de la galería la fracturación está promediada cada 4 cm.

Infiltraciones - la cantidad de agua infiltrada en realidad es poca la galería es seca a excepción de los primeros metros.

Galería G.I.-2

Litología y Estructuras - Tobas bandeadas de color gris a gris verdoso, los primeros 10 m. formados por tobas finas uniformes, luego se nota claramente las tobas bandeadas. - Las fallas y rellenos así como las bandas de estratificación están bien definidos; el resto de discontinuidades están subordinadas a las fallas y zonas agrietadas, que indican movimientos de descompresión de la masa rocosa.

Fracturas - hasta los 7 m. las fracturas se presentan cada 2 cm. y hasta el tope de la galería cada 8 cm.

Alteración - hasta los 10 m. la roca se presenta altamente alterada (AA), hasta los 25 m. la roca es medianamente alterada (MA), hasta los 31 m. la roca está ligeramente alterada (LA), y al tope la roca es fresca (F), en el crucero la roca es fresca. Las infiltraciones son de poca importancia.

Galería G.I-3

Litología y estructuras - Tobas bandeadas, y tobas muy finas, como discontinuidades podemos anotar fallas, diaclasa y el bandeamiento que pueden tratarse de superficies de estratificación.

Fracturación - hasta los 10 m. se presentan cada 2 y 4 cm. hasta los 28 m. las fracturas se presentan cada 8 cm. hasta el tope y en los cruceros cada 4 cm.

Alteración - medianamente alterada (MA) 2,5 m. hasta 20 m. ligeramente alterada (LA), hasta 28 m. roca fresca (F), y al tope, medianamente alterada (MA). Se presentan filtraciones de agua en los últimos metros de la galería algo - así como 0,5 lit/min.

Margen derecha

Galería G.D-1

Litología y estructuras - predominan las tobas finas a las

tobas de material más grueso, generalmente se aprecian bandeamientos en las rocas. Las discontinuidades presentes son las fallas, diaclasas y fisuras de menor importancia.

Fracturas - hasta los 17 m. completamente fracturada, hasta 30 m. las fracturas se presentan cada cm. hasta los 40 m. fracturas cada 4 cm. y hasta el tope cada 8 cm.

Alteración - hasta los 4 m. roca descompuesta, hasta 10 m. roca completamente alterada, hasta los 36 m. roca altamente alterada, hasta 39 m. roca medianamente alterada, y al tope ligeramente alterada. En el crucero hasta 4 m. roca ligeramente alterada, hasta 11.50 medianamente alterada, hasta los 17 m. altamente alterada, hasta los 28 m. la roca se presenta medianamente alterada y hasta el tope la roca es ligeramente alterada. Las goteras son apreciables en ciertos tramos de la galería y crucero.

Galería G.D.-2

Litología y estructuras - la galería atravieza tobas y lavas brechosas intercaladas, las discontinuidades son las mismas presentes en la G.D.-1 se notan desplazamientos que pueden ser recientes en las lavas por observarse fallas cortadas por otras fallas.

Fracturas - hasta los 29 m. la roca presenta fracturas cada 1 cm. hasta 33 m. cada 2 cm. hasta 48 m. cada 4 cm. y

hasta el tope de la galería cada 8 cm.

Alteración - hasta los 5m la roca es descompuesta, hasta los 17m. la roca está completamente alterada, hasta los 31 m. altamente alterada, hasta los 50 m. la roca está medianamente alterada y hasta el tope la roca es ligeramente alterada, y hasta el tope la roca es ligeramente alterada, - las infiltraciones se manifiestan por unas pocas goteras - en ciertos tramos de la galería.

Los datos de los estudios de las galerías del eje de la presa en arco, están representados en los perfiles N° 2,3,4.

7.5. ESFUERZOS INSTALADOS EN LA MASA ROCOSA

Los esfuerzos pueden ser clasificados como; Naturales e Inducidos. Los esfuerzos inducidos son aquellos debidos a la construcción de una estructura ingenieril, una presa por ejemplo, que transmita cargas a la masa rocosa. Los esfuerzos naturales son aquellos existentes en el interior de la masa rocosa antes de la construcción de la obra ingenieril y está compuestos por: esfuerzos gravitacionales, debidos al peso del material sobreyacente al punto en que se considera en la masa rocosa. Un punto ubicado a una profundidad z en una masa rocosa de peso específico γ , tal esfuerzo viene dado por $\sigma_g = \gamma \cdot z$

Los esfuerzos horizontales resultantes del esfuerzo gravi-

tacional vertical guardan la siguiente relación con el mismo.

$$\nabla_2 = \nabla_3 = \frac{\mu}{1-\mu} \nabla_v$$

donde: ∇_v es el esfuerzo gravitacional vertical.

$\nabla_2 = \nabla_3$ son componentes horizontales del esfuerzo gravitacional.

μ coeficiente de Poisson.

Generalmente las rocas tienen un coeficiente de Poisson comprendido entre 0.2 y 0.3 lo que daría valores para los esfuerzos horizontales de 0.25 a 0.43 veces el esfuerzo vertical, o sea,

$$\nabla_2 = \nabla_3 = 0.25 \nabla_v$$

$$\nabla_2 = \nabla_3 = 0.43 \nabla_v$$

Sin embargo, dadas las características de la masa rocosa, que se presentan frecuentemente cortadas por discontinuidades geológicas o contienen estratos blandos interestratificados con material rígido, esta relación teórica entre esfuerzos horizontales y verticales no tienen una validez permanente. Esfuerzos latentes - son utilizados para explicar la existencia de esfuerzos en el interior de la masa rocosa, sean verticales como horizontales, superiores al valor calculado por consideraciones del peso del material subyacente. Tales esfuerzos están almacenados en la masa rocosa

y no pueden ser liberados por el confinamiento de la misma en profundidad, pueden ser debidos a las siguientes causas:

- Esfuerzos que actuaron en el pasado geológico debidos a fallamientos, pliegues, intrusiones igneas de grandes dimensiones, etc. Tales esfuerzos son conocidos como residuales, y al estar almacenados en la masa rocosa, pueden dar origen a esfuerzos horizontales superiores a los esfuerzos verticales.
- La erosión superficial tiende a reducir el espesor suprayacente a un punto en la masa rocosa, originándose una disminución del esfuerzo vertical en este punto, El reajuste de los esfuerzos horizontales puede ser que no se efectúe de inmediato para corresponder al nuevo valor del esfuerzo vertical, y consecuentemente al abrirse un túnel en tal material, los valores del esfuerzo horizontal podrán ser superiores al esfuerzo vertical calculado.
- Topografía - si tenemos una topografía caracterizada por un relieve alto adyacente a áreas con relieve más suave, en el interior de la masa rocosa ubicada inmediatamente bajo esta última área podremos encontrar esfuerzos latentes debidos al relieve alto adyacente.
- La presencia de materiales expansivos en presencia de a-

gua en el interior de la masa rocosa también es una causa importante en el aparecimiento de esfuerzos latentes en la misma.

Cuando se realiza una excavación de una cavidad subterránea, por ejemplo un túnel, la masa rocosa sufre una descompresión y se mueve hacia la cavidad. Este fenómeno de liberación de esfuerzos también ocurre en procesos naturales. Como cuando la erosión fluvial excava profundamente el lecho de un valle y aparecen diaclasas paralelas al mismo por el alivio de esfuerzos. En galerías profundas relativas a la superficie, se producen desprendimientos de losas de rocas por liberación de esfuerzos instalados en la masa rocosa, tales desprendimientos son conocidos por explosiones de roca y se caracterizan por el estallido con que son acompañadas.

Las rocas que poseen pocas discontinuidades son más factibles de sufrir procesos de descompresión que aquellas en las cuales el número de discontinuidades es grande y por lo tanto contiene espacios vacíos hacia los cuales la masa rocosa puede relajarse sin dificultad.

La magnitud y dirección de los esfuerzos naturales en las masas rocosas puede dictar la orientación y forma de excavación en las mismas, las medidas que se toman como resultado de las mediciones de los esfuerzos pueden reducir con

siderablemente el costo de un proyecto tales esfuerzos pueden ser medidos por 2 métodos principales:

Método de liberación de esfuerzos, cuando el instrumento - medidor de tensiones es introducido en la masa rocosa que posteriormente es descargada por la liberación de esfuerzos en ella instalados.

Método del restablecimiento de esfuerzos, este método consiste en la determinación de la presión necesaria para que se anule la deformación obtenida por la expansión de la roca en las vecindades de una abertura que se abrió perpendicularmente a la superficie de la roca.

VIII. UBICACION DE MATERIALES DE CONSTRUCCION

8.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Las canteras, son lugares donde la roca se separa de sus lechos naturales y se prepara para su utilización en construcciones, hay canteras a cielo abierto y subterráneas. El empleo de rocas como material de construcción es afectado entre otros factores por la resistencia que las mismas presentan a un ataque químico o físico.

Las rocas son atacadas químicamente por los gases, como el anhídrido carbónico, anhídrido sulfuroso y sulfúrico, principalmente este último reacciona con el agua formando ácido sulfúrico que es agresivo en el ataque químico de las rocas, en particular de las calizas y mármoles. Se puede considerar también como ataque químico a la alternancia de ciclos de mojado y secado de las rocas que contengan arcillas expansivas en presencia de agua.

El ataque físico de las rocas puede darse por la congelación del agua que ocupa sus poros y fisuras, originando esfuerzos que pueden llevar al agrietamiento de las rocas, siempre que adentro de la roca no existan espacios libres suficientes para permitir la expansión del agua al conge-

larse. Este fenómeno está controlado por el diámetro de los poros y grado de saturación de la roca y por la temperatura a la cación de las capilaridades. La destrucción de las rocas por fenómenos físicos puede darse también por la cristalización de sulfatos y cloruros en sus vacíos, es decir por el aumento de volumen de sus minerales constituyentes. La dilatación diferencial de minerales como la calcita, feldespatos, etc. pueden provocar una paulatina desintegración de la roca, en especial si la misma se encuentra sometida a variaciones acentuadas de temperatura y posee granulación gruesa.

8.1.1. Prospección

La posibilidad de que una masa rocosa sea utilizada como cantera proveedora de material de construcción, está determinada por la calidad y cantidad de material que se pretende extraer y también por condiciones de naturaleza económica.

Para determinar la calidad del material a ser explotado hay que ceñirse a los fines para los cuales será utilizado en base de un muestreo representativo de toda la cantera, con la ayuda de sondeos rotativos. En las muestras representativas, se realizan ensayos físicos que permiten evaluar el comportamiento mecánico de las rocas, necesario en los distintos usos, por ejemplo: la roca para revestimientos de

edificios debe estar libre de fisuras, poseer textura uniforme, color atractivo y ser de fácil labrado. La roca - que se utilizará como protección del muro aguas arriba, en una presa de tierra o para la construcción de una presa de enrocamiento, debe tener un peso específico alto (2,6) para que resista el impacto de las olas, la resistencia a la compresión simple debe ser superior a 5000 lb/pul², no puede tener minerales expansibles en presencia del agua.

La roca que se utiliza como agregado para base y sub-base de carreteras necesita inicialmente un estudio mineralógico para asegurarse de que no contenga calcita, arcillas expansivas, feldespatos en adelantado proceso de alteración, - transformándose en arcillas impermeables se deberá considerar además que en las carreteras los materiales están sometidos a la abrasión, por lo que se deberá hacer ensayos al desgaste.

La cantidad de material rocoso existente en una cantera puede ser calculado en función de sondeos o de trabajos de investigación geofísica. Las rocas del sitio de la presa pueden suministrar material en cantidad y calidad satisfactoria, como se verá en Agregados para hormigón.

8.1.2. Cubicación

La cubicación de una cantera se hace generalmente en tone-

ladas, en los cálculos de cubicación del material se debe tener mucho cuidado con características de orden geológico que puedan interferir en los resultados finales, los cuales si no son debidamente conocidos, propician cálculos de reserva muy optimistas.

Las canteras para materiales de construcción necesitan ser suficientes solamente para su inmediato empleo en la obra de construcción. Mediante galerías de pocos metros de profundidad se estimó, la cantidad y calidad de la roca a utilizarse en la construcción de la presa, estas galerías se realizaron en los flancos izquierdo y derecho, aguas abajo y aguas arriba del sitio de la presa en arco.

8.1.3. Factor económico

Los factores económicos involucran consideraciones sobre el costo de extracción del material, principalmente si la roca a ser explotada posee un potente espesor de material de cobertura que deberá ser removido, y sobre el costo del transporte del material que, a su vez está condicionado por medio de transporte utilizado y por la distancia entre el área de extracción y el área de empleo del material.

Por encontrarse en el mismo sitio de construcción el material rocoso a emplearse como agregado de hormigón, resulta económico su aprovechamiento, y como la cobertura superfi

cial es poco potente, su extracción se facilita enormemente, sin que se llegue a gravar por este concepto el costo de la obra.

8.2. AGREGADOS PARA HORMIGÓN

Los agregados para la fabricación de hormigón pueden ser divididos en gruesos, o sea fragmentos de roca de tamaño superior al tamiz N° 4, y finos, o sea arenas y gravas menores que tal tamiz. La gradación de los agregados tienen una influencia directa sobre la calidad de un hormigón, por ejemplo, si hay predominancia de un cierto tamaño, habrá una gran cantidad de vacíos entre las partículas del agregado y consecuentemente se necesitará una mayor cantidad de cemento para llenar tales huecos. La forma del agregado también influye en la calidad del hormigón, pues agregados angulosos o alargados dan origen a muchos huecos con las consecuencias ya mencionadas.

Independiente de su procedencia, es necesario analizar al agregado que se utilizará en la construcción del hormigón en cuanto a su composición mineralógica, para saber si los mismos no tienen minerales que pueden reaccionar con los álcalis del cemento (hidróxidos de sodio y potasio), deteriorando considerablemente al hormigón. Los minerales más importantes que pueden reaccionar con los álcalis del ce-

mento son: opalo, calcedonia, tridimita e *ilita*, ocurriendo en las rocas bajo la forma de partículas minerales e inclusiones y filoncillos.

La investigación sobre la posibilidad de que ocurra reacciones entre los álcalis y el agregado puede ser efectuada con la ayuda de un análisis petrográfico, por métodos químicos, o mediante ensayos en barras de hormigón fabricados con el agregado problema y sometidas a un largo período de humedad.

Los materiales para agregados de hormigón, se prospectaron en las rocas presente en el sitio de la presa y sus alrededores que están constituyendo el subestrato rocoso de posible edad cretácica, estas rocas están formadas por *tobas*, *tobas brechosas*, *lavas brechosas*, ligeramente deformadas y alteradas. Por estar situadas en el mismo sitio de la obra es favorable su aprovechamiento, las características granulométricas y mecánicas son satisfactorias, como se verá en los ensayos para agregados de hormigón.

Para localizar los materiales a ser usados como agregados de hormigón se efectuaron 4 galerías de 10 m. en roca sana (GI-9, GI-10, GD-4, GD-5), y 6 galerías en roca alterada.

Los resultados de los análisis de laboratorio son los si-

güientes:

TIPOS DE ROCA	Granulometría %		Peso específico gr/cm ³ fracción gruesa.		Peso específico gr/cm ³ fracción fina.	
	Arena	Limo y arcilla	Aparente	Saturado	Aparente	Saturado
Tobas, tobas bre- chosas, lavas brechosas.	6-14	0.6-4	2.63-2.71	2.65-2.74	2.51-2.57	2.55-2.63

	Desgaste al sulfato %	Desgaste a la abrasión %	Absorción %	
			Gruesos	Finos
Resultados	1.8-10	25.54-32.40	1	1.42-2.25
Criterios ASTM	8-10 max.	40-45% max.	1	

La situación de la roca en el sitio mismo, las características de granulometría y de desgaste satisfactorias, convierten a estos materiales rocosos en seguras fuentes (canteras) de su ministro para las futuras obras a construirse, en ciertas partes la capa meteorizada es algo considerable y dificulta estimar con exactitud el volumen de roca aprovechable, y por tanto la extensión y profundidad de las excavaciones.

A unos 2 Km. del sitio de la presa, en las márgenes del río

Sarapullo, se localizó un intrusivo diorítico de posible edad terciaria que intruyó a las rocas cretáceas. Esta roca fué estudiada superficialmente como posible cantera para agregados. Se trata de una diorita maciza típica ligeramente metamorfozada, cuyo aprovechamiento es factible - pues es homogénea, no está muy alejada, y su volumen está calculado en 1,5 - 2 millones de metros cúbicos.

Presenta ciertos aspectos desfavorables, como la proporción de material fino elevado y desgaste excesivo. Los resultados se obtuvieron en el laboratorio, pero en muestras superficiales poco representativas.

	Granulometría %		Desgaste %	
	Arena	Arcilla-Limo	Sulfato	Abrasión
Muestra triturada a mano.	11	1.7	15	44.80
Muestra resultante de prueba de abrasión.	48	9		
Muestra residuo de prueba de abrasión.	38	13		43.50

IX. CONCLUSIONES

9.1. MORFOLOGIA

El sitio generalmente muestra pendientes fuertes de 45° hasta 55° ; salvo en la margen derecha donde las pendientes son más variadas. En la margen izquierda encontramos un valle formado por el cauce anterior del río, se trata de una terraza con mucho material de coluvio (Zona del Polborín).

9.2. LITOLOGIA

En el sitio se encuentran tres tipos de unidades geotécnicas: El substrato rocoso, constituido por rocas cretácicas un tanto variadas y duras, con un color verde claro que es casi común en las rocas del sitio, se trataría de rocas formadas en un ambiente de depositación marina (un geosinclinal) integradas por lavas, lavas brechosas, tobas, tobas brechosas.

La brecha tobácea, constituida por fragmentos de rocas lávicas con cemento arenoso limoso, en la margen derecha se encuentra yaciendo sobre el substrato rocoso a partir de la cota 1100 m.s.n.m.

Las formaciones superficiales no son muy abundantes ni muy espesas. Los suelos de la meteorización de las rocas del substrato se encuentran sobre todo hacia la parte alta de

las vertientes. Los aluviones de diferentes edades en la vertiente derecha se presentan como restos de pequeñas terrazas, al igual que en la parte baja de las vertientes.

Escombros de la brecha se encuentra en la margen derecha (sitio de los sondeos). En la vertiente izquierda hay poco escombros, formando conos de deyección.

9.3. METEORIZACION DE LAS ROCAS DEL SUBSTRATO

La meteorización de las rocas del substrato pueden alcanzar grados muy elevados en varias zonas, sobre todo en las partes altas, pero la meteorización ocurre también en algunas partes bajas de las vertientes. La meteorización tiene estrecha relación con la fracturación.

9.4. ESTRUCTURAS

Muchos factores hacen imposible establecer una estratigrafía clara del conjunto rocoso del substrato, de tal manera que la estructura general resulta hipotética. Considerando los aspectos concernientes al proyecto, creo que las rocas del substrato se puede decir, que se trata de un conjunto macizo y homogéneo. La fracturación está desarrollada en el sitio pero la densidad de fracturación no es la misma en todas partes, es muy fuerte por ejemplo en toda la altura de la vertiente izquierda (zona del camino de acceso)

y está acompañada con una meteorización muy acentuada. En la zona aguas arriba de la margen derecha se puede pensar que se trata de lo mismo. Las fracturas y fallas mayores están orientadas en sentido N-S, tienen importancia regional, pues, gobiernan los grandes fenómenos estructurales que afectan al substrato rocoso en una área muy amplia. La Permeabilidad de las rocas en los primeros 60 mts. de profundidad está controlada por el sistema de fracturación de la masa rocosa, a partir de esta profundidad la roca es impermeable.

Será necesario impermeabilizar la roca mediante inyecciones de cemento, para mejorar las condiciones mecánicas de las mismas. De los estudios realizados en el sitio del proyecto, se concluye finalmente que es posible construir la presa en arco en el sitio fijado, pero se deben realizar estudios sobre la estabilidad de los taludes donde los estribos de la presa irán empotrados. Su ejecución ahora estará en función del costo y transporte de los materiales de construcción así como de la mano de obra disponible.

X. RECOMENDACIONES

En toda obra ingenieril antes de su diseño final se deben realizar pruebas mecánicas "in situ" para obtener datos característicos de la roca. En el sitio de la presa parece que se debe dar más atención al flanco derecho, por estar más alterado.

Para utilizar las rocas antes señaladas como materiales de construcción se debe completar los estudios con investigaciones de campo, sísmica y ensayos de laboratorio necesarios.

Por otra parte, está comprobado que la zona del río de la plata afluente del río Toachi, tiene yacimientos de Cu que pueden ser explotables comercialmente. También hay indicios de mineralizaciones en la margen derecha del río Sarapullo, en la actualidad hay compañías que se interesan en la prospección de la zona. Dado que el procesamiento de Cu y de otros minerales aún con técnicas modernas requieren ser triturados y luego separados por procesos físico-químicos, presenta serios problemas con los residuos tanto de material triturado como también los residuos químicos de los procesos de separación al que al ser descargados en el embalse pueden resultar peligrosos para

el embalse de la presa misma.

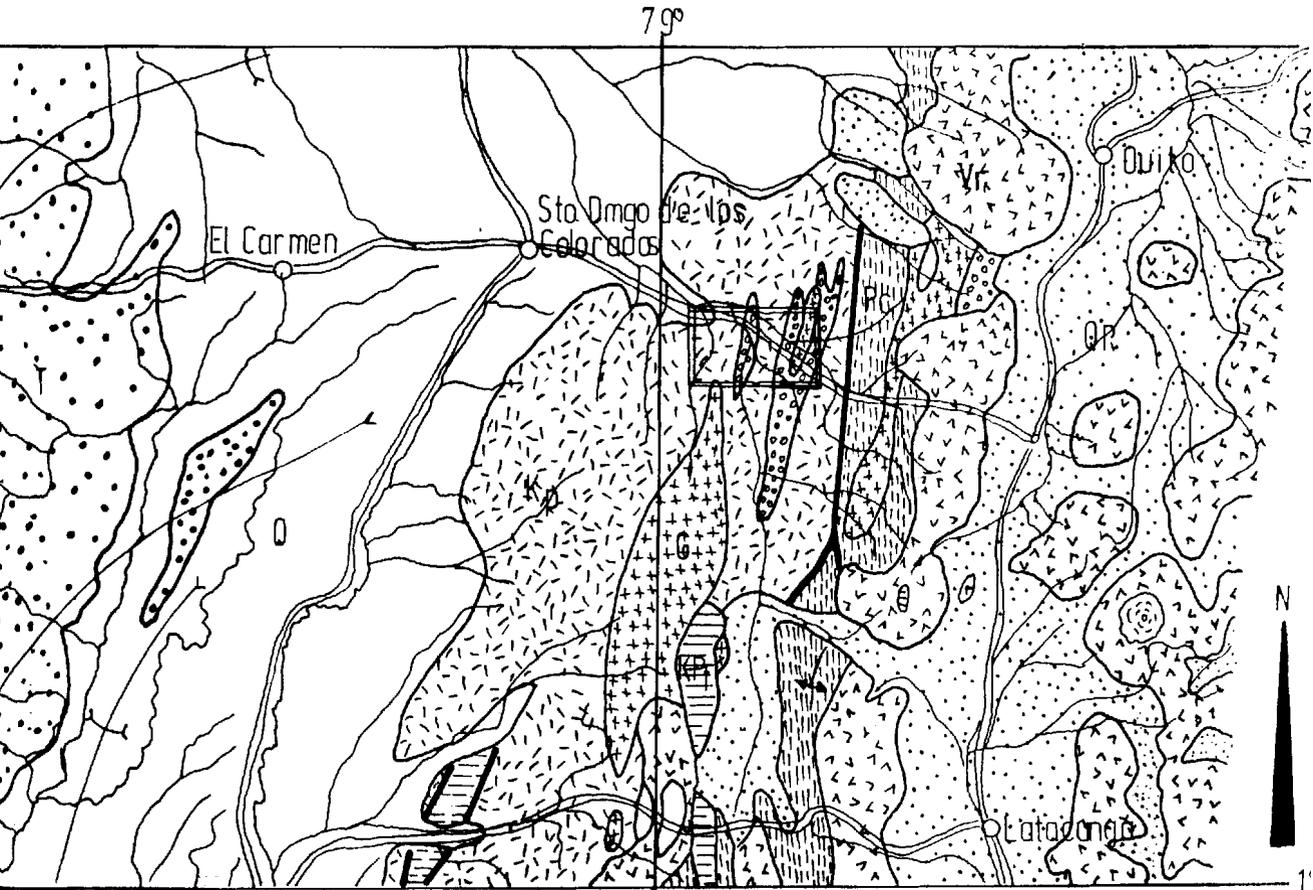
En lo que se refiere a la operación de la planta hidroeléctrica, los elementos químicos pueden ser nocivos al equipo mecánico de la casa de máquinas, al producir corrosión en las tuberías; los residuos (colas) del procesado al ser echados en los afluentes del embalse reducirán su capacidad de almacenamiento de agua, pudiendo afectar la vida del embalse por su relleno en corto tiempo. Por todo lo antes citado es recomendable considerar cualquier programa de desarrollo minero que afecte a la zona con el fin de salvaguardar la seguridad y vida del muro de la presa y del embalse así como de sus obras anexas. Sobre la estabilidad de los apoyos: en el flanco izquierdo, los esfuerzos de la presa se transmitirán a la roca paralelamente a la dirección de las discontinuidades mayores como son la estratificación y las fallas principales, con la tendencia a separar la roca a lo largo de los planos; en cambio en el flanco derecho los esfuerzos de la presa serán transmitidos en general perpendicularmente a la dirección de las fallas principales y estratificación, es decir en dirección favorable, por estas consideraciones anotadas será necesario llevar a cabo pruebas *in situ*, para determinar las características específicas de la roca, y la estabilidad de sus taludes.

Quizás se puede realizar ensayos de geofísica para la de
terminación del módulo de elasticidad dinámico, combinando
los trabajos como ensayos "in situ" y comparando los resultu
dos obtenidos.

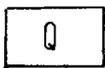
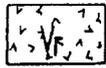
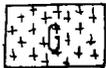
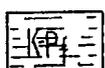
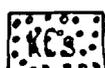
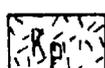
BIBLIOGRAFIA

- W. SAUER.- *Geologie Von Ecuador* (Gebruder Borntraeger, Berlin 1971).
- W. SAUER.- *Geología del Ecuador. Primera edición castellana. Quito-Ecuador 1965.*
- H. TAKEDA y V. AGUAYO.- *Geología del área del proyecto hidroeléctrico del río Toachi. Servicio Nacional de Geología Y Minas 1968.*
- V. AUBOIN y COLOB.- *De quelques problèmes géologiques et géomorphologique de la Cordillera des Andes. (Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn, 2, XV, 1-2 PP 207-216, Paris 1973).*
- B. FOUCHER y E. SABOYAT.- *Esquisse Géologique des Andes de L'Equateur. (Rev. Géogr. Phys. et Géol. Dyn., 2, XV, Fasc. 1-2, 115-142. Paris 1973).*
- J. HERRERA.- *Informe geológico preliminar de la zona Toachi, Alluriquin y Las Pampas.*
- CONSORCIO MOBESSCO.- *Informe geológico provisional del sitio de la presa. Quito. Octubre de 1973.*
- MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y COMERCIO. *Reporte Geológico de la Costa Ecuatoriana. Abril de 1966.*
- R. HOFFSTETTER.- *Lexique stratigraphique internacional. Amérique Latine. Fasc. 5º. Ecuador.*

G E O L O G I A R E G I O N A L



L E Y E N D A

- | | | | |
|--|------------------------------------|---|-----------------------|
|  | Cuaternario Indiferenciado |  | Volcanico reciente |
|  | C. Reciente |  | Rocas igneas indif |
|  | Paleoceno-Eoceno Inf.
cayo rumi |  | Limite geologico |
|  | Cretaceo - Paleoceno
Flysch |  | Falla |
|  | Cretaceo
Cayo de la Sierra |  | Eje anticlinal |
|  | Cretaceo medio e inf.
Piñon |  | Eje sinclinal |
|  | Terciario |  | Carretera |
| | |  | Nevado |
| | |  | Zona de investigacion |

PERFIL N.º 3
 EJE DE LA PUNTA EN ARCO
 PERMEABILIDAD



NOTA: LOS GRUPOS 1 Y 2 SON SISTEMAS PROTECTIVOS SOBRE DAMOS Y SE ASPECTOS DEL TUBO A LA VEZ DE LOS DE TUBO

ESCALA: 1:1000



LEGENDA

■ Abutment

▨ Dam body

▧ Spillway

○ Foundation

▧ Protective system

■ Dam body

▨ Dam body

▧ Dam body

▧ Dam body

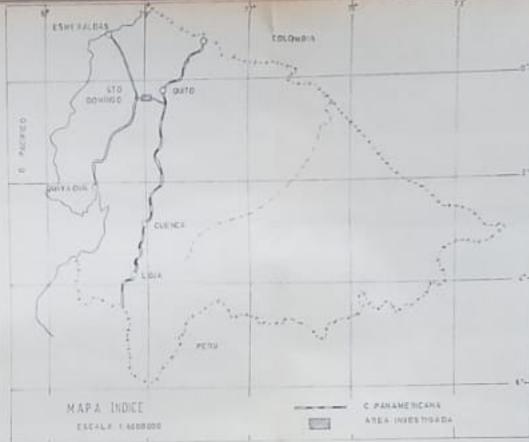
▧ Dam body

POLITECNICA DEL LITORAL

PROYECTO: DISEÑO DE LA PUNTA EN ARCO

PERMEABILIDAD

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DEL LITORAL



LEYENDA

- ZONA DE DESLIZAMIENTO
- LECHOSOS DE FALSA
- CODO DE DEYECCION
- ALUVIONES RECIENTES
- ALUVIONES ANTIGUOS
- SUELO TOBACCO-ARENALINO
- BRINDA TORACEA
- SUELO MONTAÑO (TOBACCO)
- TIRAS Y LAVAS BRECCHAS
- ROCA PSEUDO A. ALTERADA (TIRAS Y LAVAS BRECCHAS)
- ROCA MEDIANAMENTE ALTERADA
- ROCA COMPLETAMENTE ALTERADA

SÍMBOLOS GEOLÓGICOS

- BASIN DE TERTIAZ
- BASIN X DUE. DE CAPAS
- FALLA OBSERVADA
- FALLA DUDOSA
- CONTACTO GEOLÓGICO
- CONTACTO GEOLÓGICO SUPUESTO
- PERFORACION
- GALERIA
- DIQUELLO
- CURVAS DE NIVEL



POLITECNICA DEL LITORAL
 PROYECTO HIDROELECTRICO TOACHI-PILATON NECEL
 SITIO DE LA PRESA
MAPA GEOLOGICO
 NECEL
 POR: LUIS GARCIA GARRALES, 8 JUL 1961

