

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**" Estudio de Factibilidad Geológico
Geotécnica para la Construcción
de una Represa en el Río Valdivia "**

TESIS DE GRADO

Realizada por:


Miguel Angel Chávez Moncayo

Guayaquil, Abril de 1975

*A la memoria de
Mi Madre, a
Mi querido Padre, y
al Recuerdo de la
Sra. Lucinda de
Martínez, mi tía.*

"ESTUDIO DE FACTIBILIDAD GEOLOGICO-GEOTECNICA
PARA LA CONSTRUCCION DE UNA REPRESA EN EL RIO VALDIVIA"

DIRECTOR DE TESIS



ING. DOMINIQUE GEHANT

AUTOR



MIGUEL ANGEL CHAVEZ M.

AGRADECIMIENTO

A LA COMISION DE ESTUDIOS PARA EL DESARROLLO DE LA
CUENCA DEL GUAYAS (CEDIGU)

A LOS SEÑORES: ING. DOMINIQUE GEHANI
 ING. JULIAN CORONEL RAMIREZ
 ING. RODRIGO B. ALVARADO
 GEÓLOGO CARLOS LEITI
 ING. ENRIQUE LUNA
 ING. MIGUEL GRAETZER

QUINES ME HAN BRINDADO SU COLABORACION

Y SABIOS CONSEJOS

DECLARACION EXPRESA

El patrimonio intelectual de esta tesis de grado corresponde a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL y la responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en esta tesis, corresponden exclusivamente a su autor.

(Reglamento de Exámenes y títulos Profesionales).

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION	1
2. RESUMEN	4
3. ANALISIS DEL TIEMPO DE LA INVESTIGACION (Rula crítica)	10
4. GENERALIDADES	20
5. ESTUDIO FOTOGEOLOGICO	23
6. COLUMNA ESTRATIGRAFICA.	30
7. GEOLOGIA LOCAL DEL AREA DEL PROYECTO	33
7.1. Breve Descripción	33
7.2. Cortes estructurales (zona parcial del muro)	35
7.3. Planos geológicos	36
7.4. Geología económica regional	36
8. INVESTIGACION GEOLOGICA Y OBSERVACIONES GEOTECNICAS GENERALES.	38
8.1. Antecedentes	38
8.1.1. Informe del Dr. Hideo Takeda. Descripción del trabajo y conclusiones principales.	39
8.1.2. Informe del Ing. Guillermo Varas P.	41
8.2. Prospección geofísica: Resistividad aparente	43
8.3. Prospección mecánica	63
8.3.1. Perforaciones y sondeos: litología de las muestras.	64

	Pág.
8.3.2. Correlación estratigráfica de los sondeos.	65
8.3.3. Trincheras.	66
8.4. Geología de la zona del muro	72
9. INVESTIGACION GEOTECNICA EN DETALLE	
9.1. Problema geotécnico del muro	75
9.2. Estabilidad de taludes zona del muro	102
9.3. Problema geotécnico de los vertederos: Resistencia de los materiales al pie de los vertederos.	103
9.4. Problema geotécnico del vaso.	105
9.4.1. Estabilidad de taludes y sedimentación en el vaso.	105
9.5. Análisis del yeso: Reacciones químicas	108
10. MATERIALES DE CONSTRUCCION	115
10.1. Arcillas	115
10.1.1. Localización	115
10.1.2. Propiedades físicas y mecánicas	116
11. DISCUSION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES (Con la directa colaboración de M. Santos).	
11.1. Muro	119
11.2. Estribos	122
11.3. Vertederos	124

	Pág.
11.4 Vaso	125
12. MAPAS, PLANOS, CUADROS Y ANEXOS	127
13. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	169

1. INTRODUCCION

Este trabajo es el producto de aproximadamente 6 meses de investigación, un buen porcentaje de este tiempo ha sido empleado en operaciones de campo, el restante análisis de laboratorio y trabajo de oficina.

La finalidad principal, es llegar al planteamiento de soluciones mediante el análisis y discusión de los problemas geológicos y geotécnicos que son mas trascendentes para la represa del proyecto Valdivia.

El proyecto en mención, originalmente propuesto por el INERHI con fines de dotar de agua a las poblaciones - costeras de Salinas, La Libertad, Santa Elena, Bailenita y lugares circundantes. Posteriormente, y a cargo de la misma Institución, el proyecto Valdivia pasó a ser fundamentalmente para riego de varios sectores que rodean al embalse (de 4 millones de m³ de volumen disponible), el sistema de riego podía ser por gravedad y/o la utilización de bombas.

De cualquier forma, el represamiento que se iba a tener con la construcción de un muro de contención (presa de tierra zonada con un corazón impermeable), se jus-

tificaba plenamente.

En la actualidad la comisión de estudios de desarrollo para la cuenca del Río Guayas (CEDEGE) ha tomado a cargo este Proyecto, pues, se encuentra incluido en la subregión III del "Plan de desarrollo integral de la Península de Santa Elena", el cual está siendo efectivado por la Institución antes mencionada.

Esta tesis tiene también como propósito demostrar una vez más la importancia que conlleva la Geología en su participación en las obras de Ingeniería y mas aún si la disciplina geológica ha sido orientada para tales fines.

Siendo este uno de los primeros trabajos en su género realizados en nuestro país hago un llamado a los compañeros estudiantes de los últimos años de Ingeniería Geológica para que participen en investigaciones de este tipo en los diferentes proyectos y obras de infraestructura que existen en las Instituciones de planificación, estudios y ejecución de obras, tal es el caso de la CEDEGE, INERHI, INECEL y otras.

Debo dejar constancia que esta investigación fue lle

vada a cabo gracias al auspicio de la CEDEGE, Institución en la cual laboré durante el tiempo antes señalado.

"La Investigación Geológico-Geotécnica para la construcción de una represa en el Rio Valdivia" se publica - como resultado de un trabajo efectuado por el autor de esta tesis y el Sr. Mariano Santos, quien en su parte correspondiente presenta los detalles de los aspectos que mencionaré con el fin de integrar el cuerpo de la investigación.

2. RESUMEN

De acuerdo a una programación inicial, la presente investigación fue encaminada en lo posible siguiendo un método de trabajo, el cual proporcionaría orden y efectividad en sus diferentes tópicos. Considerando tal inquietud se ha realizado un análisis de tiempo de la investigación, en todo caso dichos análisis constituyen parte del método de trabajo.

A continuación se hace un esbozo de las actividades realizadas a partir del 1º de Abril de 1974, hasta los últimos días de Septiembre.

2.1. BUSQUEDA DE INFORMACION.- Esta fase fue dedicada a la recopilación de toda la información existente, tales como informes de investigación anteriores para el Proyecto Valdivia (ver antecedentes), informes de la Dirección Nacional de Geología y Minas, reportes proporcionados por las Compañías petroleras y otras que han realizado trabajos investigativos en la costa ecuatoriana. Además recopilación de fotos aéreas y mapas; también se hizo una anotación de los tratados y libros de Ingeniería y Geología, así como otras ciencias que serían utilizados en el

transcurso de la investigación. A continuación se procedió a calificar, al mismo tiempo a estudiar la información, concluyéndose que era necesario una nueva investigación mediante la cual se debía esclarecer la problemática geológico-geotécnica existente en el Proyecto de Presa Valdivia.

2.2. VISITA AL SITIO DEL PROYECTO.- Era necesario hacer un reconocimiento inicial en el sitio del proyecto, para de esta forma tener una apreciación general del trabajo que se podría realizar, al mismo tiempo establecer contactos humanos y reconocer las vías de acceso.

En cuanto a la geología, se pudo observar pocos afloramientos, lo cual nos hizo pensar en diferentes formas de estudio para resolver el problema geológico existente.

2.3. ESTUDIO FOTOGEOLOGICO Y CHEQUEO DEL CAMPO.- La Fotogeología y en general la foto interpretación, proporcionó una gran ayuda para los diferentes análisis y estudios. Se considera como fin principal de este trabajo aportar la mayor cantidad de información posible para el conocimiento del área del proyecto, particularmente la

represa. La determinación de estructuras y principalmente fallas es el aspecto más profundizado; esto se consigue partiendo del estudio sistemático de un área considerada regional hasta llegar a la zona de interés (Presa Valdivia). La demarcación y diferentes análisis en la cuenca de drenaje del Río Valdivia es otra de las partes importantes, aplicando la geomorfología (Ver Estabilidad de Taludes y Sedimentación en el Vaso).

2.4. PROSPECCION GEOFISICA.- Constituye un método indirecto de estudiar el subsuelo en base a las interpretaciones de datos obtenidos en la superficie. En nuestro trabajo la prospección geofísica fue realizada por 2 métodos: El método eléctrico por Resistividad aparente, el cual es tratado en detalle en renglones posteriores y el Método de Sísmica de Refracción, el mismo que utiliza un equipo conocido como Terra - Scout modelo R-150 y con el cual se tomaron cuatro perfiles sísmicos de 175, 125, 155 y 190 metros de longitud, con una profundidad de investigación que va de 12 a 20 metros. Los perfiles se corrieron en sentido directo e inverso, su interpretación indica la presencia de una franja anómala que causa el y el muro. Este trabajo es presentado en forma completa en la tesis de M. Santos.

- 2.5. PROSPECCION MECANICA.- Constituye el estudio efectuado en trincheras, taludes, perforaciones y pozos. A través de la prospección mecánica y por ser este un método directo de observación del subsuelo se comprobó y reajustó las interpretaciones que se dieron a los datos geofísicos. En el numeral correspondiente se muestran los trabajos realizados, análisis y conclusiones.
- 2.6. ANALISIS DEL PROBLEMA GEOTECNICO DEL YESO.- Se refiere a la incidencia que puede tener la existencia de dicho sulfato en la estabilidad de la presa, particularmente ocasionada por posibilidad de disolución de este material que aumentaría la permeabilidad en la zona del muro y sus consecuencias. El problema es atacado mediante 2 análisis que van a evaluar la cuantía del mismo. Estos son análisis de las características geológicas (Ver Tesis de M. Santos) y análisis de las características químicas, este último que es llevado a cabo por el autor.
- 2.7 BUSQUEDA DE MATERIALES DE CONSTRUCCION.- Este aspecto es tratado, en el sentido de localizar los materiales que van a servir para la construcción del embalse, -

para lo cual se aprovechan todos los datos disponibles para evaluar la existencia de materiales, tal es el caso de los datos geofísicos, algunas perforaciones y por supuesto el resultado del mapeo geológico en el área de la presa (geología local).

Mi compañero de investigación muestra en su tesis un estudio de áridos para hormigón. En este trabajo se trata de las arcillas. En ambos casos se plantea localización, propiedades físicas, químicas y cubicación estimada.

2.8. TRABAJOS ESPECIALES.- En esta tesis se destacan de manera especial algunos de los temas descritos en el índice, en los que se hace énfasis en los aspectos geotécnicos con sus cálculos y análisis; así en el numeral 9.2. Estabilidad de taludes: zona del muro, se diseña los taludes de excavación y del cuerpo de la presa en base al conocimiento de las propiedades físico-mecánicas del muro, así como de las características del material de la fundación. Los numerales 5, 8.4; y 8.5 son igualmente destacados.

2.9. DISCUSION, CONCLUSION Y RECOMENDACIONES TECNICAS.- Es

el resultado final de esta investigación, que por haber sido realizada en forma conjunta con mi compañero M. Santos, la presentamos en la parte última de nuestro trabajo. En esta tesis también se hace una adición de aspectos que han sido el producto de los "trabajos especiales".

3. ANALISIS DEL TIEMPO DE LA INVESTIGACION

La ejecución de un proyecto es una tarea en la cual deben participar diferentes individuos, entidades y factores, más aún si se trata de un proyecto de investigación. Para tales fines se han perfeccionado técnicas que utilizan diagramas mediante los cuales se muestran las diferentes facetas de un trabajo o investigación. En muchos casos sin llegar a profundizar en análisis matemáticos se han podido tener buenos resultados en la técnica de planeación y programación de proyectos.

La idea del autor es acondicionar un análisis de esta naturaleza en una investigación como la realizada para el Proyecto Valdivia.

En cuanto a los beneficios que se pueden obtener de la realización de un trabajo apoyado en una ruta crítica; aquellos están en relación directa a la habilidad con la que se haya utilizado la técnica, una aplicación correcta, determinará una investigación más ordenada que podría ser ejecutada de manera más eficiente y normalmente en un menor tiempo.

En el presente trabajo se hará un análisis aplican dos dos técnicas principalmente ellas son el camino o ruta crítica y la técnica del PERT, aunque en realidad, la una es sinónimo de la otra.

3.1. DIAGRAMA DE FLECHAS.- Para visualizar el mé todo de la ruta crítica, se utiliza el diagrama de flechas o red de actividades que consiste en la ilustración gráfica - del conjunto de operaciones de la investigación y de sus interrelaciones. La red está formada por flechas que consiguientemente representan actividades, entre las flechas existe una secuencia o unión de ellas, denominándo selas nudos los cuales son graficados como círculos, el significado de dichos nudos es la iniciación y culminación de actividades en una secuencia.

El diseño primario de una red es entonces un diagrama lógico que representa la planeación real de la investigación en base a las interdependencias de las diferentes actividades sin tomar en cuenta el tiempo.

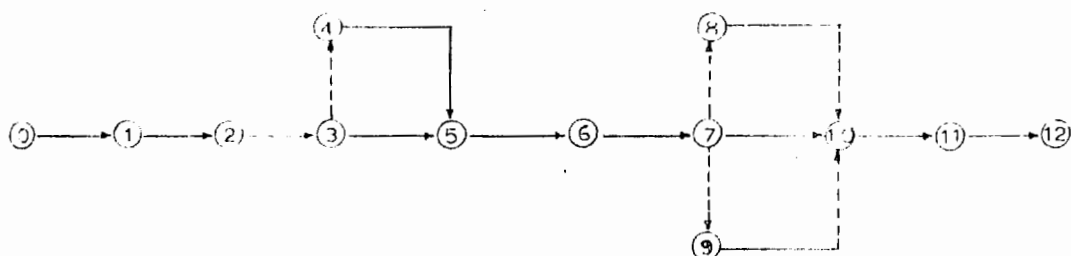


DIAGRAMA LOGICO PARA UNA RUTA CRITICA

A = Búsqueda de información

B = Estudio Fotogeológico

C = Chequeo geológico de campo

Q₁ = Actividad Ficticia

D₁ = Prospección geofísica por sísmica de refracción

D₂ = Prospección geofísica por resistividad aparente

E = Prospección Mecánica

F = Geología del Proyecto

Q₂ = Actividad Ficticia

Q₃ = Actividad Ficticia

G = Estudio y análisis del programa geotécnico del yeso.

H = Estudio y análisis de permeabilidad y filtraciones.

I = Materiales de construcción

J = Geología y Geotecnia en detalle

K = Informe final

Como se puede apreciar en el diagrama y la descripción que se acompaña, se anotan actividades ficticias - las cuales sin representar la realización de una tarea finita son necesarias porque su inclusión en la red facilitan la elaboración "electrónica" de la red, tal es el caso de Q_1 , Q_2 y Q_3 o lo que es lo mismo $(3) \rightarrow (4)$, $(7) \rightarrow (8)$, $(7) \rightarrow (9)$.

3.2. PROGRAMACION.- Luego de tener una elaboración lógica - del plan de trabajo, el siguiente paso del camino crítico es el establecimiento de un programa el cual se empieza estimando la duración de las actividades de la investigación. De acuerdo a un análisis utilizando la técnica DERT se establece los tiempos de duración en categorías denominados así: optimista, pesimista y el normal, por medio de una fórmula se obtiene el tiempo que se espera va a durar la actividad. El método del camino crítico en cambio utiliza un sólo tipo de estimación de duración basada en la experiencia. En el presente trabajo se intenta realizar un método mixto.

3.3. ESTIMACION Y CALCULO DEL TIEMPO.- Antes deben hacerse

consideraciones como estas, la investigación se inicia en cero de tiempo relativo, en la subsiguiente no se debe iniciar ninguna actividad sin antes haber completado las tareas cuya ejecución depende aquella, así mismo las actividades deben realizarse tan pronto como sea posible y se terminan sin interrupción.

Para continuar con este trabajo se consideran los conceptos siguientes:

Duración (Y)

Máximo tiempo disponible (MTD)

Tiempos próximos de iniciación (TPI)

Tiempos próximos de terminación (IPT)

Tiempos remotos de iniciación (TRI)

Tiempos remotos de terminación (TRT)

Tiempos flotantes totales (TFT)

Tiempos flotantes libres (TFL)

Tiempos flotantes independientes (TFI)

Las interrelaciones y el significado de los mismos es analizado muy someramente, de tal forma que la meta próxima es establecer una tabla de programación.

La duración Y del tiempo de la investigación se la estima de acuerdo a la experiencia.

$$MTD = TRT - TPI$$

$$TPT = TPI + Y \quad MTD > Y$$

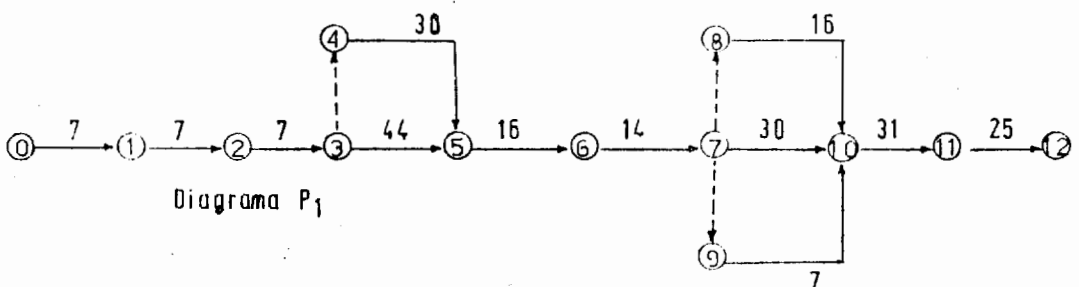
$$TPI = TRT - Y$$

$$FF = TRT - TPI - Y$$

$$TFL_A = TPI_B - TPT_A \quad (*) \quad (* \text{ entre 2 actividades})$$

$$TFI_B = TPI_C - TRT_A - Y_B \quad (**) \quad (** \text{ entre 3 actividades})$$

Los tiempos flotantes llamados también holguras. El significado de cada una de ellas se comprende claramente en las relaciones anteriores, pueden ser comprendidos como tiempos disponibles, pero si se ocupan todas las holguras totales la actividad se puede volver crítica. Los tiempos próximos remotos de realización de las diferentes actividades y aún las críticas son calculadas mediante una matriz la cual está relacionada al diagrama P_1 en el cual se muestra la duración estimada de cada actividad.



Se define (i) el hecho que inicia y (I) el que finaliza la actividad según se muestra en la matriz. El cálculo de los tiempos se hace mediante reglas que aquí no se mencionan y que permiten llenar 2 columnas adicionales de TPI y TRT.

TPI	i \ j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	0	7											
7	1		7										
14	2			7									
21	3				0	44							
21	4					30							
65	5						16						
81	6							14					
95	7								0	0	30		
95	8									0	16		
95	9										7		
125	10											31	
156	11												25
181													

TRT	0	7	14	21	35	65	81	95	109	118	125	156	181
-----	---	---	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----

HECHOS		DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES GEOLOGICO-GEOTÉCNICAS PARA EL PROYECTO - VALDIVIA	DUR. Y	TIEMPOS PROXIMOS		TIEMPOS REMOTOS		HOLGURAS		
Inic.	Term.			Inic.	Term.	Inic.	Term.	Tot.	Lib.	Ind.
0	1	Búsqueda de información	7	0	7	0	7	0	0	0
1	2	Estudio Fotogeológico	7	7	14	14	14	0	0	0
2	3	Chequeo geológico de campo	7	14	21	14	21	0	0	0
3	4	Actividad Ficticia	0	21	21	21	35	14	0	0
3	5	Prospección Geofísica por resistividad aparente	44	21	65	21	65	0	0	0
4	5	Prospección geofísica por sísmica de refracción	30	21	51	21	65	14	14	0
5	6	Prospección Mecánica	16	65	81	65	81	0	0	0
6	7	Geología del proyecto	14	81	95	81	95	0	0	0
7	8	Actividad Ficticia	0	95	95	95	109	14	0	0
7	9	Actividad Ficticia	0	95	95	95	118	23	0	0
7	10	Estudio y análisis de permeabilidad y filtraciones	30	95	125	95	125	0	0	0
8	10	Estudio y análisis del problema geotécnico del yeso	16	95	111	95	125	14	14	0
9	10	Materiales de construcción	7	95	102	95	125	23	23	0
10	11	Geología y Geotecnia en detalle	31	125	156	125	156	0	0	0
11	12	Informe final	25	156	181	156	181	0	0	0

Como se puede observar en el diagrama que antecede, tanto en la columna TPI y TRT se muestran los tiempos próximos de realización así como los tiempos remotos de terminación. El último valor de la columna del TPI representa el tiempo en el cual se puede llevar a cabo la investigación (181 días). Además, con las relaciones antes expuestas pueden ser calculados todos los valores de tiempo requeridos para llenar la siguiente tabla de programación en donde se muestra toda la información referida al tiempo de la investigación geológico geotécnica realizada para el proyecto Valdivia a cargo del suscrito y del Sr. Mariano Santos.

Finalmente al hablar de la utilización del método del camino crítico se puede decir que es un valioso auxiliar administrativo que permite en todo momento controlar el avance de un proyecto o investigación.

La aplicación de ruta crítica que se hace en el presente trabajo es sólo el principio de la aplicación de dicho método pero esto no implica un apego intrusivo a la técnica, pues el uso del camino crítico puede ser tan

sencillo o complicado como lo requiera el problema a resolverse.

Los verdaderos beneficios que se pueden obtener de esta técnica se encuentran cuando en el transcurso de la investigación se suceden circunstancias imprevistas que afectan el desarrollo de la misma; la ruta crítica proporciona el método ideal para identificar la necesidad de plantear o reprogramar el proyecto reduciendo al mínimo los resultados adversos y determinar fácilmente que actividades deben ser aceleradas para conseguir el mejor grado de eficiencia.

4. GENERALIDADES

4.1. SITUACION GEOGRAFICA.- Como se puede observar en el mapa de ubicación las coordenadas geográficas del sitio de represamiento son:

Latitud $2^{\circ}25'00''$
Longitud $80^{\circ}40'16''$ (Ver Mapa N° 1)

El área de estudio que contiene la cuenca del drenaje del río Valdivia está determinada así.

Latitud $2^{\circ}00'$ a $2^{\circ}59'47''$
Longitud $80^{\circ}34'35''$ a $80^{\circ}43'40''$

4.2. ACCESIBILIDAD.- Para llegar a la zona del proyecto Valdivia se utiliza un ramal de la carretera Santa Elena Manglaralto en el trayecto de la cual se encuentra el poblado Valdivia desde el cual se toma el ramal derecho (dirigido al este) y en esta vía se encuentran sucesivamente los poblados Sinchal, Barcelona y Carrizal.

El lugar escogido para el muro de la represa está a unos 900 metros del último poblado de los mencionados. Hasta aquel lugar puede llegarse con cualquier vehícu-

lo en buenas condiciones. La vía penetra aún más cruzando el área del vaso continuándose con una ramificación hasta la ponga y por otro hasta los poblados Loma Alta y Suspiro. Este último tramo se hace intransitable sobre todo en épocas lluviosas, debiéndose utilizar un vehículo fuerte.

4.3. CLIMA Y VEGETACION.- Se distinguen 2 tipos de clima, tropical húmedo y tropical sabana, este último que es el predominante en la zona del proyecto.

El clima tropical húmedo es el característico de la región de la cordillera Chongón - Colonche, desde donde parte el sistema hidrográfico que constituye la cuenca de drenaje del Río Valdivia. Las precipitaciones invernales son de consideración, asegurándose así un buen aporte para el embalse. Estas condiciones climáticas favorecen el desarrollo de vegetación abundante. Entre los principales cultivos se encuentran maíz, frejoles, pastizales y cítricos, cafetales, y plantas forrajeras.

El clima tropical sabana, en el cual predomina el

ciclo seco, las precipitaciones ocurren por lo general en los meses de Febrero y Marzo. La vegetación está representada en su mayoría por plantas que sobreviven los períodos de sequía típica de la zona peninsular. Se exceptúan los terrenos que forman el valle del Río Valdivia que presenta condiciones de fertilidad, encontrándose se cultivos de maíz, tomates, sandías, melones, pepinos, etc.

4.4. GEOMORFOLOGIA

La zona que abarca el proyecto va de pocos metros hasta la cabecera de los ríos alcanzándose una altura de 400 metros (divisoria de agua de la Cordillera Chongón-Colomche). La conformación actual de la cuenca de drenaje del río Valdivia muestra los efectos de la erosión y acumulación de sedimentos así como la influencia del tectonismo antes del cuaternario.

4.5. GEOLOGIA

Es descrita y analizada en numerales posteriores.

5. ESTUDIO FOTOGEOLOGICO

El objeto de este capítulo es sacar la mayor información estructural posible de las fotos y mapas existentes, de tal forma que, el estudio incluya la cuenca de drenaje del río Valdivia.

5.1. FOTOS Y MAPAS

Se ha requerido de fotos aéreas y mapas topográficos obtenidos en el Instituto Geográfico Militar, así como la hoja geológica de Manglaralto editada por la Dirección Nacional de Geología y Minas en 1971.

Las hojas topográficas están a escala 1:50.000 y tienen las siguientes referencias:

Hoja de Las Delicias: CT-MIV-E2

Hoja de Manglaralto : CT-MIV-E4

Las fotos son de color mate, el tipo de papel es grueso, están a una escala 1:60.000 aproximadamente las líneas de vuelo utilizadas son las siguientes:

7F, con fotos desde 084884 a 08480

8A, con fotos desde 56 a 59

8, con fotos desde 923 a 919

9, con fotos desde 3176 a 3173

Estas líneas de vuelo están incluidas en el mapa índice de la zona de Jipijapa el cual está a una escala 1:250.000.

El mapa geológico está a una escala: 1:100.000, corresponde a la hoja N° 4, primera edición.

A partir de lo expuesto se contó como herramienta de trabajo un estereoscopio marca SRPI Morin modelo Sn-60.

5.2. PROCEDIMIENTO

El estudio empezó con la realización de un mapa de líneas de vuelo y drenaje (Mapa N° 2), a continuación se efectuaron observaciones individuales en cada una de las fotos, destacando sus características sobresalientes, utilizando como control, los mapas topográficos.

Se graficó la cuenca de drenaje del Río Valdivia (Mapa N° 3) la misma que determina todo el aporte de agua para el embalse. La cuenca de drenaje, fue llenada con geología,

obtenida a su vez, del mapa geológico y de los trabajos de campo de esta investigación (Mapa N° 3).

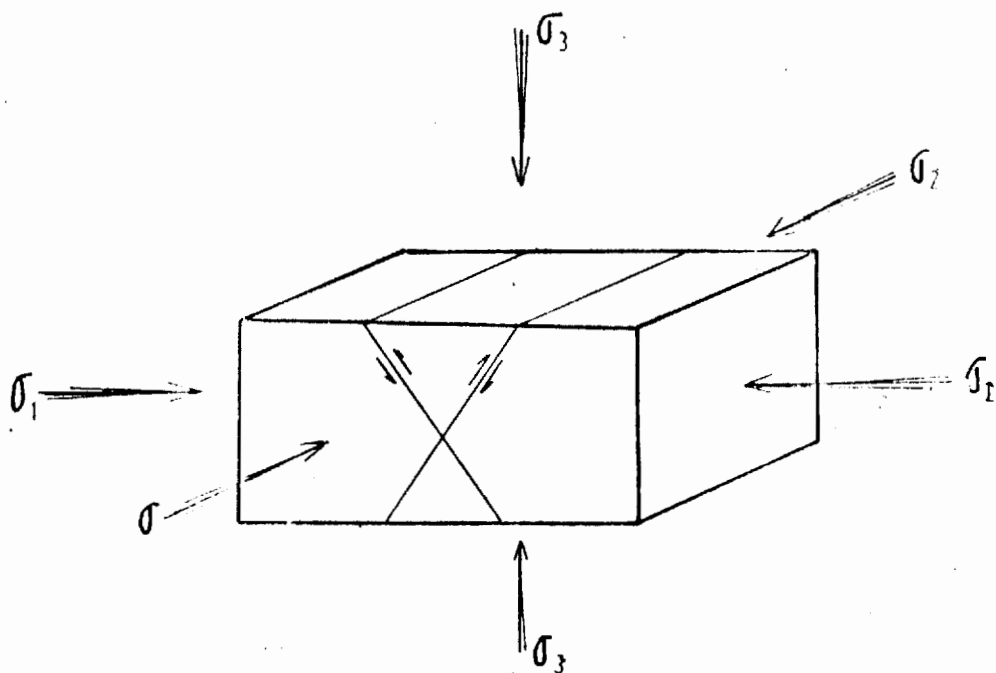
Para la identificación de estructuras de falla se adoptó como criterio alineaciones por tonación, vegetación que aparecen en cada foto o/y en el mosaico y también considerando las características geomorfológicas tales como disposición de ríos, topografía, etc.

Algunas de las fallas anotadas fueron sacadas del mapa geológico, en tanto que otras fallas visibles en foto pudieron ser evidenciadas en las cercanías del proyecto.

5.3. ANÁLISIS DE ESFUERZOS

Para desarrollar este análisis, se precisó de un mapa que contenga estructuras (Pliegues y fallas) solamente, tal como se puede ver en el mapa N° 4.

En un diagrama de esfuerzos se requiere establecer las fuerzas actuantes en las tres dimensiones. Estos esfuerzos se conocen con los nombres de, esfuerzo principal mayor (σ_1) - esfuerzo intermedio (σ_2) y esfuerzo principal menor (σ_3).



Para lograr una simplificación del análisis de tales esfuerzos, se efectúa un diagrama graficando los rumbos de las fallas, tal como aparecen en la figura GE.

Según se puede observar, existen familias de fallas - que marcan una dirección preponderante, en tal forma que se pueden describir las siguientes:

- A) Familia integrada por dos fallas reconocidas, de carácter relativamente regional, están orientadas promedialmente al SW-NE (el rumbo de cada una de ellas es N40°E y N60°E), tienen entre sí una variación de rumbo de 20 grados.
- B) Otra familia está constituida por 18 fallas pequeñas y tienen una variación máxima de 22 grados.

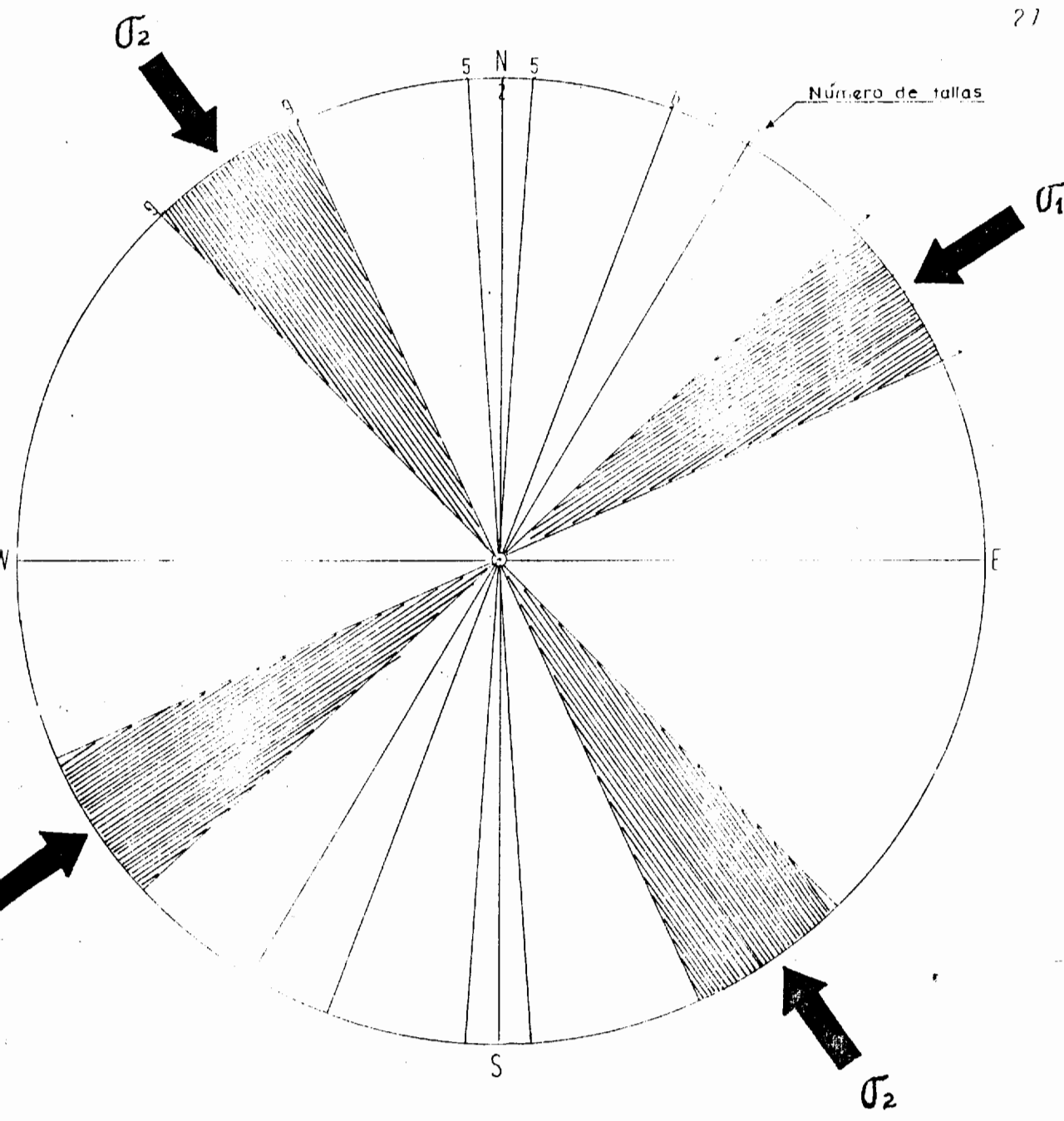


FIG. 6E

- C) Familia de fallas orientadas promedialmente N_S, se compone de 12 miembros. Variación máxima de rumbo - es 10°
- D) Familia de fallas de rumbo promedio N25E, la variación máxima de rumbo entre ellas es de 13°

DISCUSION

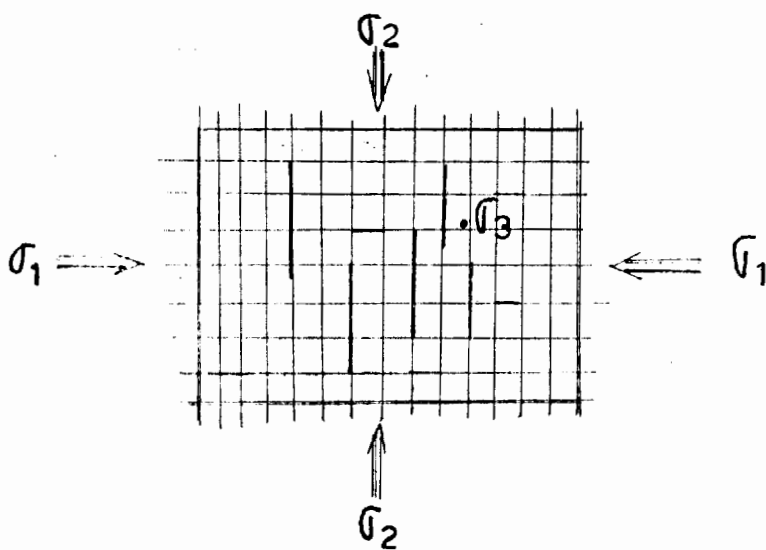
De acuerdo al diagrama GE, las familias A y B se interceptan con un ángulo de 90°. Esto induce a pensar que pueden ser catalogadas, como dos esfuerzos.

Si se plantea en primera instancia la suposición de que las dos familias de fallas (A y B) están determinando los esfuerzos σ_1 y σ_2 respectivamente, tomando en cuenta además que σ_3 es un punto; se daría una interpretación al problema planteado (esfuerzos). Los pliegues que se encuentran en una posición cercana o perpendicular respecto al asumido esfuerzo σ_1 , dan lugar a pensar en el mecanismo de la formación de los mismos - (ver Mapa N° 4), esto es la acción de dicho esfuerzo; sin embargo tienen una diferente etapa de formación, que parece tienen que ver, con la llamada cuenca del Progreso

Por otra parte las familias C y D no se prestan para ser el mismo tipo de consideraciones que las anteriores y descartan otro posible interpretación de los esfuerzos actuantes.

CONCLUSIONES

Las familias A y B representan el esfuerzo principal mayor σ_1 y medio σ_2 . Consiguientemente puede esperarse, lineamientos diaclasas y fallas de empuje en sentido perpendicular al esfuerzo σ_1 , también lineamientos y diaclasas de igual sentido que dicho esfuerzo.



El fallamiento N-S corresponde a diferente sistema que el anterior, pienso que pueden ser contemporáneas al levantamiento Andídico, es decir que debe formar parte de la geología regional.

El fallamiento N20E puede incluirse en el mismo sistema de fallamiento anterior o en otro sistema diferente.

6. COLUMNA ESTRATIGRAFICA

El desarrollo de este tema está apoyado directamente en la consulta bibliográfica. La columna estratigráfica que se ha realizado contiene una información muy somera sobre el cuadro geológico existente en el área estudiada; las rocas más viejas que allí se encuentran corresponden a la formación Callo la cual como es sabido se originó a partir del cretaceo superior. Los depósitos coluvial y aluvial son los más modernos, este último es característico de ciertas áreas - que corresponden al vaso de la represa. La Formación Zapotal, a la cual ha sido analizada con mayor interés, pues cubre el área de la represa, yace discordantemente sobre las formaciones del terciario. Se la describe exhaustivamente el numeral 6.3. El Grupo Ancón está constituido por las formaciones Socorro y Seca. Las cuales no pueden ser diferenciadas litológicamente. La formación Socorro a su vez se la considera dividida en 2 miembros los cuales se denominan Calizas Javita y Areniscas Dos Mangas.

Esta columna estratigráfica también contiene for

maciones que no se encuentran presentes en el área estudiada, pero se las hace constar con fines de complementación. Tal es el caso de las formaciones Tablazo, Charapotó, Tosagua, Piñón y volcanismo tardío, también calizas Javita y Dos Mangas.

COLUMNA ESTRATIGRAFICA

MESOZOICO		TERCIARIO		CUATERNARIO		DEFINICION Y DESCRIPCION	POTENCIA	ORIGENES
INFERIOR	SUPERIOR	OLIGOCENO	MIOCENO	PEISTOCENO	HOLOCENO			
albanense	barreniense		Aquitaniense			PIÑON Y VOLCANISMO TARDIO	200m	NEVADIANA
aptense			Burdaliense					
cedmanense			Tortonense			DEPOSITO ALUVIAL: Conglomerados gravas en matriz arcillo limo arenosa que constituyen los valles modernos.	hasta 20m.	CASCADIANA
sturdnense			Mesinq			DEPOSITO COLUVIAL: Arcillas y rodados de - formaciones antiguas.		
senomense						TABLAZO: conglomerados y arenas fosilíferas.	60m.	
Maestrich tense.						CHARAPOTO: arenas y areniscas carbonatadas.	120m.	ANDINICA 2ª FASE
Danense						TOSAGUA: arcillas café-chocoyesíferas y concreciones dolomíticas.		
						ZAPOTAL: conglomerados areniscas lutitas con cemento carbonatada.	300m.	
						GRUPO ANCON: lutitas limolitas con alternancia de areniscas arcillas y síferas y concreciones dolomíticas.		ANDINICA 1ª FASE
						JAVITA Y DELICIAS ^{Calizas arrecifales}	60m.	
						CAYO: grauvacas margas y pizarras silificadas rocas piroclásticas también cherts.	2800m	LARAMIDICA

7. GEOLOGIA LOCAL DEL AREA DEL PROYECTO

7.1. BREVE DESCRIPCION

La geología local del área del Proyecto aparece en la tesis de Mariano Santos, bajo el título de 3. Geología del Proyecto. En mi trabajo, hago un resumen, destacando los aspectos geológicos más importantes en cada una de las partes que constituyen la represa.

En primer lugar, la formación zapotal es la única formación existente (Ver prospección geofísica y prospección mecánica), la litología es anotada por mi compañero de investigación antes mencionado; en esta tesis aparece en el numeral 8.4. el cual trata de la geología del muro en donde propiamente aflora dicha formación.

El área destinada para vaso está cubierta de material aluvial constituido por limos y arcillas, gravas y arenas. Los geólogos Takeda y André han considerado que se pueden diferenciar en dos terrazas diferentes, una de las cuales cubre el vaso y la otra cubre el área correspondiente al parametro aguas abajo. Según observaciones personales, también comparto ese criterio por la circunstancia de que entre las dos terrazas existe una elevación

topográfica (área del muro) y que ha permitido su diferente formación.

En cuanto a estructuras, el vaso tiene 2, la una es un eje de anticlinal, cuya dirección es \pm NW, tiene carácter regional y no es aflorante en el área debido a la existencia de una gruesa capa aluvial. La otra estructura es un paleocanal, el cual está igualmente oculto, fué determinado en las prospecciones geofísica y mecánica, tiene una dirección predominante N45E.

En el estribo derecho hay 4 fallas gravitacionales de poca magnitud (ver plano geológico). F1, es normal de dirección N13W, buzamiento 65E; de \pm 10 cms. de espesor, con un desplazamiento aproximado de 1 metro. F2, normal, a unos 11 metros al Este de la anterior con un rumbo N26W y buzamiento 65E de 5cms. de espesor y un desplazamiento de 20 cms. F3 normal a 20 m. al E de F2, con rumbo N20W y buzamiento 58E de unos 5 cms. de espesor y desplazamiento de 2.5, rellena de carbonato de calcio de color blanco. F4, normal a unos 25 mts. al este de F3, con rumbo y buzamiento de N50W/54E, espesor de 2 a 3 cms. y un desplazamiento de 5 mts., rellena de un material arcilloso.

Esta falla que es la de mayores proporciones, está acompañada de diaclasas N45W/53E.

El estribo izquierdo, tiene una falla normal F6 de rumbo N50W y un buzamiento de 65E, de 8 cms. de espesor y desplazamiento de 1 metro, rellena de fragmento de arenisca, lutita y arcilla.

El muro contiene 2 fallas y el paleo-canal que viene desde el vaso; estas estructuras son tratadas en forma detallada en el numeral 8.4.

7.2. CORTE ESTRUCTURAL DEL MURO

En el anexo se muestra un corte estructural parcial de la zona del muro, el cual fue efectuado mediante la observación detallada de una de las paredes de la trinchera mayor (ver mapa geológico, ver prospección mecánica) cuya dirección es SE-SW; contiene la litología y las estructuras geológicas allí presentes, está hecho a las escalas aproximadas 1:125 vertical y 1:250 horizontal.

Un corte estructural completo, puede ser el obtenido

a partir de la correlación estratigráfica de los Sondeos (numeral 8.3.2).

7.3. PLANO GEOLOGICO

Está destinado a presentar la geología local del área del proyecto, es decir la superficie que comprende el vaso, muro estribos y vertederos de la represa.

7.4. GEOLOGIA ECONOMICA REGIONAL

Este número aparece ampliamente analizado en el numeral 7. de la tesis de grado de mi compañero de investigación ya mencionado. Para este trabajo se adicionan en forma breve algunos aspectos más, los cuales han sido obtenidos de los estudios hechos en la cuenca del río Valdivia.

La posible existencia de minerales y sobre todo en las cercanías de las cabeceras de dicha cuenca, en donde las condiciones geológicas son favorables, esto es el intenso fallamiento al que ha sido sometido el contacto geológico entre las formaciones Cayo y Piñón. Es obvio que

para llegar a localizar menas económicas, se requiere de un mapeo geológico en detalle o de la aplicación de métodos de prospección minera, como por ejemplo la geoquímica y los métodos gravimétricos de la geofísica.

Debe anotarse además, que a partir de los límites de la cuenca en estudio hacia el Norte se hacen presentes las llamadas Calizas arrecifales de Las Delicias, (miembro de la Formación Zapotal) las cuales han sido mapeadas a escala 1:100.000 y a cargo de la Dirección Nacional de Geología y Minas, los análisis de laboratorio han probado que tienen un alto porcentaje de CaCO_3 por tal motivo, insisto, como otros autores, que aquellas constituyen una gran base para la implantación de fábricas de cemento que tanta falta hacen al País.

En el cauce del río Valdivia y sobre todo en el tramo que se inicia en las estribaciones de la Cordillera Chongón - Colonche, hasta la desembocadura de aquel río en el Pacífico, se pueden tener buenos reservorios de materiales de construcción, tales como áridos para hormigón y arcillas, una parte de los cuales van a ser utilizados en la construcción de la represa.

8. INVESTIGACION GEOLOGICA Y OBSERVACIONES GEOTECNICAS GENERALES

8.1. ANTECEDENTES

Son varios los estudios efectuados en lo relacionado a la represa del Proyecto Valdivia, pero en realidad son 2 los informes básicos en torno a los cuales se ha hecho observaciones y elucubraciones diferentes.

Los 2 informes a los que me refiero son los presentados por los Geólogos Bernard André (Francés) y Hideo Takeda (Japonés). El primer informe fue realizado a comienzos de 1969 (ampliado luego en 1970), mientras que el informe del Doctor Takeda se publicó en Diciembre de 1969.

Existe también otro informe, bastante somero, se trata del informe del geólogo Norteamericano R. Pike - (descrito y analizado por M. Santos).

Los otros informes geológicos, pueden ser considerados como "Memorias", son el producto de rápidas observaciones y estudios realizados en el sitio de embalse,

observaciones, estudios realizados en el sitio de embalse, llevadas a cabo por ingenieros hidráulicos tales como Kondratsky, G. Varas y otros.

Una circunstancia especial constituye el hecho de que los autores de los 2 informes básicos discrepan en opiniones que sobre todo están relacionadas al aspecto geotécnico y su incidencia en la efectivación de la obra.

Bernard André, quien fue el primero en realizar investigaciones geológicas en el área de estudio, escribió 2 informes, el segundo de los cuales es ampliatorio del primero, pero, aunque ambos contienen aspectos que no son concordantes con los expresados en la investigación presente, dan una aprobación favorable para que se lleve a cabo la construcción del muro de la presa (descrito y analizado por M. Santos).

8.1.1. Informe del Dr. Hideo Takeda.- Descripción del trabajo y conclusiones principales.

Este informe fue publicado unos meses después del primer informe de B. André, en Diciembre de 1969, la duración de la investigación de H. Takeda fue de 30 días en-

tre trabajo de campo y oficina, estuvo acompañado de 2 asistentes nacionales, uno de ellos el Géol. Rodrigo Calpa.

El informe en análisis consta, de varias partes en las que se destacan las apreciaciones geológicas, las cuales están acompañadas de mapas y anexos, con sus respectivas interpretaciones.

En la página 13, están contenidas las recomendaciones, "en orden de importancia":

- a) Cambio del sitio de presa, existiendo la posibilidad de que el Río Valdivia sea desviado antes del sitio de falla.
- b) Recomendar estudio hidrológico a base de perforaciones profundas en la zona de falla.
- c) Que en caso de que los técnicos "persistan" en la idea de construir la presa en el sitio del Carrizal, a pesar de los peligros ya mencionados, es decir, conozcan la manera de salvar la zona de falla y eliminar los peligros del yeso, se recomienda:
 - I. Hacer una excavación de una trinchera a lo largo de la falla, desde el eje de la presa hasta el fi-

nal del vaso.....

II. Efectuar pruebas de permeabilidad Lefranc.

III. Hacer análisis químico del agua del Río Valdivia....

Por otra parte Takeda también considera que existen 2 formaciones geológicas (Seca y Zapotal), las cuales están en contacto gracias a la existencia de una falla (F_1) la cual cruza en sentido casi perpendicular al proyectado muro; la falla que según Takeda tiene un espaciamiento de \pm 5 metros y que cruza toda el área del vaso..... Debe anotarse que, existe una comunicación posterior (dirigida al Ing. Luis Marín Nieto) del Geólogo Rodrigo Calpa, quien explica que hubieron errores en las pruebas y cálculos de permeabilidad, señalando que los peligros de infiltración advertidos por el Dr. Takeda no tenían razón de ser, ya que los valores de permeabilidad eran bastante bajos.

En el desarrollo de esta tesis y más precisamente en la parte de las prospecciones se demuestran aspectos que no concuerdan con las conjeturas del mencionado Geólogo.

3.1.2. informe del Ingeniero Guillermo Varas P.

En términos generales considera que las característi

cas geológicas son favorables para la construcción de una Presa mixta.

Textualmente dice: "Tectónica con aparentes fallas en sentido transversal al Río y en sentido longitudinal, las que no constituyen peligro para la estabilidad de la presa por estar cubiertas por un grueso paquete de sedimentos semipermeables y por las características físico-mecánicas de los materiales de la cimentación.

Las pruebas de permeabilidad no demuestran pérdidas de agua significativas. Las rocas de la formación terciaria son de grano fino y su comportamiento mecánico es suficientemente impermeable. La calidad de los materiales es excelente para la construcción de la obra.

Las pruebas químicas del agua indican que estas no son Selenitosas por lo que se excluye la posibilidad de una disolución activa del yeso".

En este mismo informe se resaltan aspectos mencionados por el Ing. Hidráulico Nicolás Kondratsky, técnico de la OEA quién dice: "para la estabilidad de la presa y vaso es importante determinar:

1. Si la falla es inactiva, permanecerá inactiva en el futuro....? en caso de ser activa que movimiento se espere en el futuro.
2. La falla presenta peligro de infiltración en el vaso hasta el punto que sea imposible almacenar el agua hasta la cota prevista".

8.2. PROSPECCION GEOFISICA: RESISTIVIDAD APARENTE

El método Geofísico de la Resistividad aparente fue realizado para constituirse en un complemento de la prospección geofísica por sísmica de refracción (analizada por M. Santos), siendo el fin principal obtener la mayor cantidad de informaciones del subsuelo en gran parte del área que comprende el vaso, la zona del muro, de los paramentos del mismo.

La operación del campo está representada por la ejecución de 21 perfiles de resistividad. Simultáneamente dichos perfiles fueron ubicados topográficamente.

Los perfiles en mención tienen longitudes que por lo general están comprendidos entre 80 y 180 metros; algunos de ellos fueron emplazados en la misma posición que los perfiles de sísmica de refracción estudiados por M. Santos.

El trabajo de oficina constituye la graficación - (Ver mapa de ubicación de perfiles) y cálculos, los mismos que sirvieron para obtener finalmente los valores de resistividad aparente, como se muestran en las correspondientes tablas. Una vez obtenidos dichos valores fueron interpolados para de esta forma poder graficar un mapa de iso-resistividades, cuya interpretación se da en la última parte de este trabajo.

8.2.1. FUNDAMENTOS DEL METODO

Los principios en los que se basa este método geofísico están relacionados a las propiedades que poseen los suelos y las rocas en virtud de estar constituidos por fragmentos o granos eléctricamente aislantes, o resistentes pero que debido a la presencia de agua la misma que circula por los poros y fisuras y otros espacios vacíos que por tener sales disueltas se comportan como un líquido electrolítico, el cual se manifiesta con un grado de conductividad variable. La saturación en agua de la roca y su contenido de iones son factores determinantes para la conductividad de las rocas.

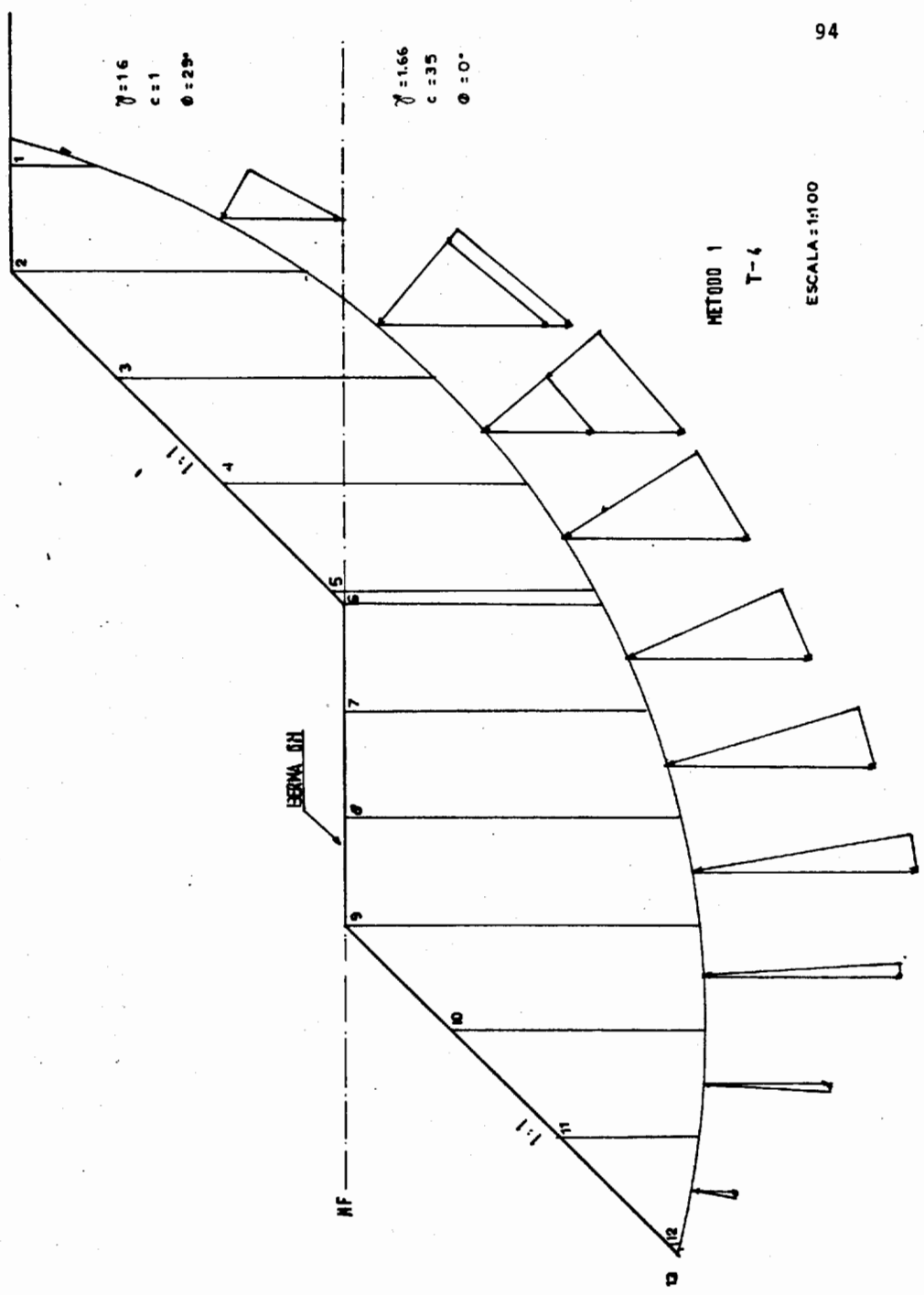
Consiguientemente la resistividad de las rocas guarda una relación inversamente proporcional a la conductividad del agua contenida en la unidad de volumen de roca, es decir a la porosidad de la roca si es totalmente saturada.

De acuerdo a las situaciones expuestas se pueden distinguir los siguientes tipos de rocas.

ROCAS CON RESISTIVIDAD CONSTANTE.- La resistividad es baja para las rocas impermeables, con alta porosidad y contenido de agua; tal es el caso de las arcillas y limos. La resistividad es elevada para las rocas impermeables con baja porosidad, como en los carbonatos, cuarcitas y otros.

ROCAS DE RESISTIVIDAD VARIABLE.- Son las rocas porosas y permeables con un contenido variable de agua. La resistividad es función de la porosidad, la granulometría y la cantidad de sales disueltas en el agua.

El método de Resistividad consiste en crear un campo eléctrico en el terreno mediante la emisión de corrientes



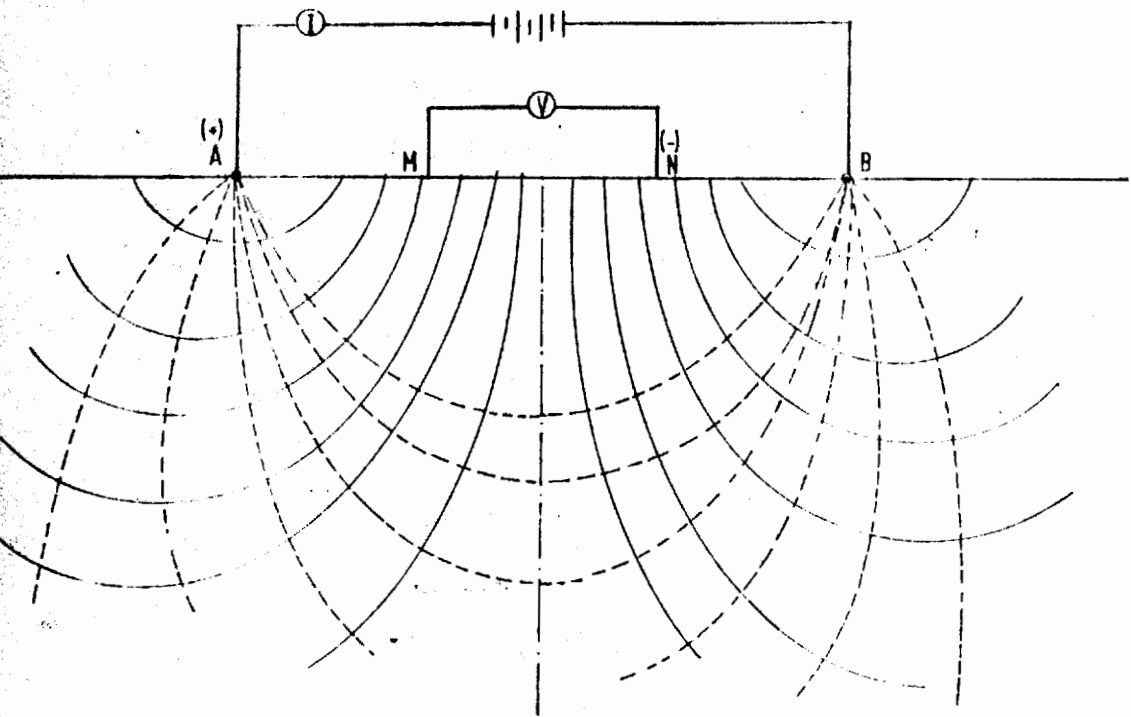
te cuya intensidad es I a través de los electrodos A y B . Se producen de esta forma líneas de corriente y superficies equipotenciales perpendiculares a las primeras.

Entre los electrodos M y N se establece una diferencia de potencial V la cual es proporcional a la intensidad de corriente. Esta diferencia de potencial crece cuando la distancia MN aumenta. En el caso de un dispositivo Wenner dicha diferencia es proporcional a la distancia MN .

Los electrodos son considerados puntuales. Con fines prácticos se ha establecido que un electrodo de corriente (A, B) es positivo si por él entra la corriente; en tanto que un electrodo será negativo si de él sale la corriente. Por lo general los electrodos se disponen en línea recta, tal como se muestra en el gráfico que sigue.

Si se determina el potencial en M se obtiene

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right); \quad \text{Ecuación RA-1}$$



—— Superficies equipotenciales
 ---- Líneas de corriente

DISTRIBUCION ESQUEMATICA DE LA CORRIENTE EN UN SUELO HOMOGENEO

El potencial en N será

$$V_2 = \frac{I \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AN} + \frac{1}{BN} \right)$$

Ecuación RA-2

V_1 y V_2 son los voltajes (volts o m. volts), I la intensidad (mA), ρ , la resistividad (Ω - m, Ω -cm).

Si en la sección que se muestra se considera como de mayor valor la sonda más próxima al electrodo de corriente positivo, la diferencia de tensiones viene expresada por $V_1 - V_2$, teniendo siempre un valor positivo así:

$$V_1 - V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{BN} + \frac{1}{BN} \right)$$

A la expresión contenida dentro del paréntesis se le asigna el valor "G" el cual es llamado factor geométrico de configuración de electrodos. La ecuación RA-3 queda así:

$$\Delta V = V_1 - V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} G \quad \text{Ec. RA-4}$$

Donde la resistividad:

$$\rho = \frac{2\pi \Delta V}{G.I}$$

$$\text{Si } \frac{\Delta V}{I} = R \quad \rho = \frac{2\pi}{G} R$$

2.1.1. Resistividad aparente.- En un solo suelo homogéneo la resistividad aparente está definida por el valor de la diferencia de potencial existente entre los electrodos

M: N: La intensidad I entre A y B. Mediante una fórmula se expresa así:

$$\rho_a = \frac{2\pi}{G} \frac{\Delta V}{I}$$

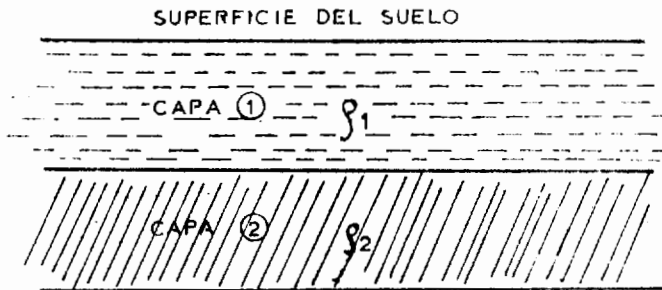
La resistividad aparente de un terreno heterogéneo es la resistividad que tendría un terreno homogéneo en el cual con la misma disposición de electrodos se obtendrían los mismos valores de $V = I$.

Esta resistividad aparente que existe en un terreno depende de la geometría o configuración de electrodos.

Se denomina Profundidad de Investigación a la profundidad a partir de la cual un cuerpo que perturba un campo eléctrico determina anomalías en las medidas. Dicha profundidad de investigación depende de la distancia AB.

En el presente análisis se considera un terreno de características homogéneas de Resistividad ρ_1 en contacto horizontal sobre otro terreno de resistividad ρ_2 , la profundidad de investigación varía en forma directa

mente proporcional al espaciamiento entre A y B. Cuando la profundidad de alcances es inferior al espesor de la primera capa, estaremos midiendo la resistividad de esa capa o sea ρ_1 . Si se profundiza el alcance de investigación, la resistividad aparente estará influenciada por la resistividad de la segunda capa ρ_2 .



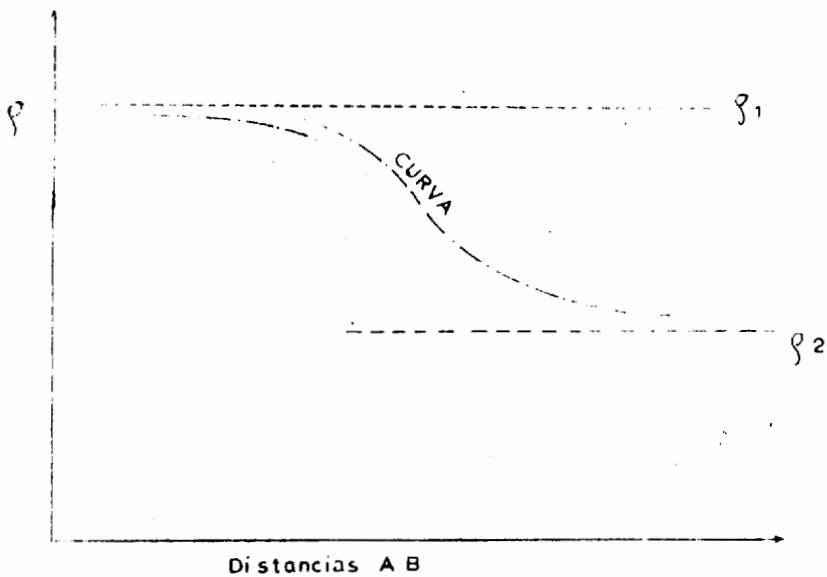
De tal forma que se puede establecer la siguiente dependencia:

$$\rho_a = f(h, \rho_1, \rho_2)$$

h = profundidad de investigación

Si se grafica en las abcisas las longitudes AB y en las ordenadas los correspondientes valores de resistividad, se obtiene una curva como la siguiente.

Este gráfico puede interpretar la influencia que tiene la existencia de terrenos con 2 tipos de resistividades.



La curva muestra 2 asíntotas, cada una de las cuales da un valor de resistividad característico ρ_1 , ρ_2 , se puede deducir la perturbación que causa un cambio de resistividad. Mediante el uso de ábacos estos valores de resistividad pueden definir la existencia de 2 capas.

2.1.2. La Resistividad aparente y la Profundidad de Investigación.- Son dos aspectos cuya relación tiene vital importancia para las interpretaciones que se puedan dar a un trabajo de prospección geofísica por resistividad aparente y que se los presente a modo de discusión.

La profundidad de investigación también se la define como la profundidad a la cual una capa horizontal

(paralela a la superficie) de tierra contribuye con la máxima cantidad de señales recibidas en la superficie.

Se han realizado varios trabajos prácticos para determinar una profundidad absoluta de investigación en materiales homogéneos. Si se emplea un dispositivo - Wenner el cual fué empleado en este trabajo, A. Roy y A. Aparao consideraron que la profundidad de investigación es $0.11 L$, L es la distancia entre los electrodos extremos que están activados. (Si bien el dispositivo - Wenner es el que menor profundidad de investigación ofrece es el que tiene la más alta resolución vertical).

Desde hace algún tiempo se ha considerado a la profundidad como un sinónimo de la profundidad de penetración de la corriente o que dicha profundidad de investigación pueda ser inferida a partir de la corriente en general, aquello hace asumir que con altos porcentajes de corriente puede conseguirse altas profundidades de investigación. Pero a partir de 1941 Muskat y Evinger han realizado extensos cálculos demostrando que la distribución de las líneas de corriente o profundidad de penetración no es indicativa de la profundidad de inves

tigación.

Anteriormente Evien (1938) encontró que en un dispositivo Wenner la profundidad de investigación es $\frac{1}{9} L$; también Keller y Frischknecht determinaron que la profundidad de investigación es 0.92 (Disp. Wenner). Sin embargo, Wenner el ideador del dispositivo que lleva su nombre considera que la profundidad de investigación es aproximadamente $\frac{1}{3}$ de la longitud entre los electrodos de corriente.

Esta situación ha hecho que A. Roy y A. Apparao critiquen aquella última apreciación como no valderea y sin fundamentos ya que entre otras cosas la asumción que hace Wenner emplea para determinar la profundidad de interfaz a partir de los puntos de inflección de las curvas de resistividad aparente multiplicando la separación entre electrodos por una constante numérica que a veces es igual a la unidad.

8.2.2. REQUERIMIENTOS Y OPERACION DE CAMPO

El instrumento empleado para tomar datos fué el Re-

sistivímetro Modelo 274M "Michimho" de propiedad de la ESPOL. El equipo consta del aparato de medición con sus respectivos controles, el cual va conectado a 4 electrodos de cobre en forma de clavos, mediante 4 alambres de extensión de 50 mt. \pm cada uno de ellos.

La forma de conexión de las diferentes partes del equipo se muestra claramente en el siguiente esquema:

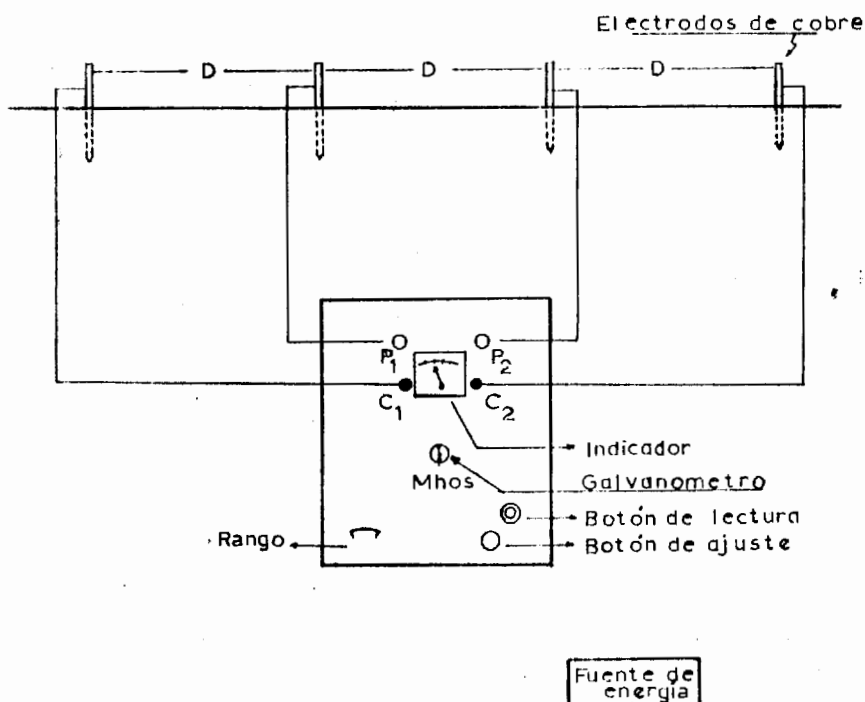


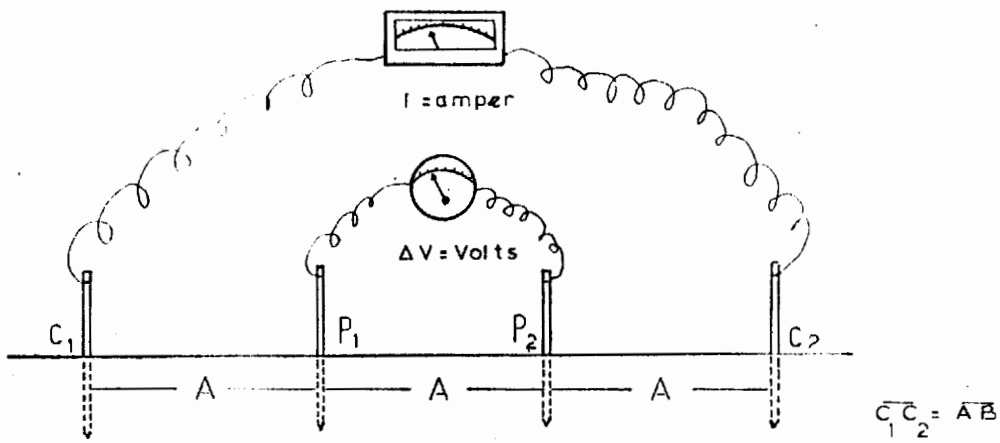
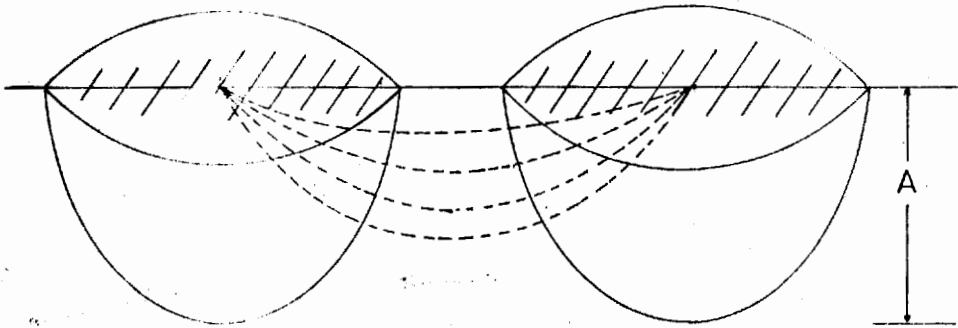
Fig. R₂

Como se puede observar los electrodos de corriente son nominados por C_1 y C_2 ; así mismo los de potencial son designados como P_1 , P_2 . El aparato en mención también tiene como característica el proporcionar los datos directamente en valores de conductancia (MHOS).

Para la campaña de prospección se requirió del siguiente personal: un operador, 2 ayudantes para el tendido de cables, 2 medidores de distancia y clavadores de estacas, 2 macheteros para abrir mangas.

8.2.3. DISPOSITIVO ELECTRODICO EMPLEADO EN LA PROSPECCION

Existen varias configuraciones o dispositivos electrónicos los cuales se utilizan en los diferentes métodos eléctricos, en el caso de este análisis se utilizó el dispositivo Wenner mediante el cual la separación entre electrodos conserva un valor uniforme "A", el factor geométrico de configuración G, antes mencionado, toma de esta forma el valor "A". En un nuevo diagrama se muestra la disposición electródica, lo que sucede en realidad en el interior del aparato.

FIG. R₃

La expresión que da un promedio de resistividad y que fue asumida por Wenner es la siguiente:

$$\rho = \frac{4\pi AR}{1 + \frac{2A}{(A^2+4B^2)^{1/2}} - \frac{A}{(A^2+B^2)^{1/2}}}$$

Si la distancia "B" es muy pequeña respecto a la distancia "A" se simplifica transformándose en:

$$\rho = 2\pi A \frac{\Delta V}{I}$$

$$\rho = 2\pi AR$$

Ecuaciones semejantes a (RA-5)

En la Figura R-3, se hace la asunción de Wenner en que la profundidad de exploración es igual a la separación electródica constante, para cumplir con el dispositivo de 10 mt. por tanto la profundidad asumida para este estudio es la misma distancia anterior.

8.2.3.1. Conversión de datos

Los valores obtenidos mediante instrumentos antes descritos vienen expresados en términos de conductancia (MHOS), para que aquellos pudieran ser transformados en resistividad se aplicó las fórmulas analizadas anteriormente; así:

$$\rho_a = 2\pi A \frac{\Delta V}{I} \quad \text{ó} \quad \rho_a = 2\pi AR$$

$$\text{Si la conductancia } C = \frac{1}{R}; \quad R = \frac{1}{C}$$

Siendo los valores C los datos que proporciona el Instrumento, la fórmula escrita se transforma en:

$$\rho_a = 2\pi A \frac{1}{C}$$

Si a más de ello, "A" tiene el valor constante de 10 mts:

$$\rho_a = 2000 \pi \frac{1}{C} \quad (\text{en } \Omega\text{-cm.})$$

$$\rho_a = 20 \pi \frac{1}{C} \quad \Omega\text{-m}$$

En las tablas que se presentan luego están los valores calculados y aproximados de resistividad en ohm-m, además los correspondientes valores de conductividad y espacio acumulado el cual muestra la longitud total del perfil.

8.2.4. INTERPRETACION

Para realizar la interpretación se debe tener en cuenta las limitaciones expuestas en el párrafo anterior. Sin embargo se hace la asunción de que la profundidad de investigación alcanzada es de 10 mt. Tal asunción sería un tanto válida si las estipulaciones técnicas del aparato utilizado para esta prospección y un buen estado del mismo, se mantuvieron durante el trabajo de campo. Se debe hacer constar que si se efectuó un chequeo del aparato previo a la toma de datos.

2.4.1. Relación entre valores de la litología y sísmica de refracción.- Mediante los registros de perforaciones y las observaciones hechas en las trincheras (Prospección Mecánica), se puede llegar a establecer una relación culitativa con los valores de resistividad, teniéndose lo siguiente:

a) Valores bajos de resistividad ($< 5 \leq 7$ ohm-m). Corresponde a la resistividad de materiales arcillo-limoso, los cuales son encontrados en forma anómala, interrumpiendo la estratificación en la trinchera mayor (ver corte estructural del muro). El espesor de dicho material es un tanto mayor de 4 metros. Un material de igual característica puede también ser encontrado en el registro del pozo PV-2 que se encuentra a pocos - metros y alineado al sitio de observación de la trinchera.

El mapa de isoresistividades muestra una lineación característica de estos valores los cuales están representados por una coloración roja y amarillo claro con una dirección N-NE, S-SW, que atraviezan el sitio de cierre, gran parte del vaso de la presa. Es importan

te que se destaque el hecho de que el rango de resistividad de $45 \leq 7$ ohms corresponde a un material de características especiales, ya que tanto en los perfiles de resistividad, como en los perfiles de Sísmica de refracción, (que son analizados y estudiados por mi compañero de investigación), muestran si tios anómalos los cuales son prácticamente coinciden tes en ambos tipos de perfiles geofísicos los mismos que fueron emplazados el uno sobre el otro.

En los perfiles de resistividad P_6R_6 , $P_{15}R_{15}$, $P_{18}R_{18}$, $P_{19}R_{19}$ y los sísmicos P_1S_1 , P_3S_3 , P_4S_4 mostrados en la tesis de M. Santos, se pueden encontrar aquellos "sitios anómalos".

- b) Valores de resistividad del rango $\geq 7 \leq 10$ --. Indican la presencia de materiales aluviales. Si bien es cierto los limos y arcillas también son parte del aluvial, se debe insistir que el rango en mención representa materiales que pudieran asimilarse al cajo. Esta dificultad es salvada al considerarse que los materiales de rango $45 \leq 7$ se manifiestan con una alineación preferencial.

En los datos obtenidos de las perforaciones que fueron realizadas en el vaso, se verifica la existencia de un depósito aluvial de 10 a 15 metros, circunstancia que también fué probada por M. Santos, mediante la sísmica.

En el mapa de iso-resistividades revela también una área muy reducida con valores altos de resistividad los cuales van de 23 a 33 ohm-m, están representados con colores verdes, café claro, verde azulado (Ver escala de valores).

- c) Valores de Resistividad del Rango $>10 \Omega\text{m.}$ - Se encuentran pocos datos de resistividad verdaderamente altos. Si se admite que los valores altos de resistividad son producidos por materiales compactados, y/o rocosos, se debe deducir que en muy pocas ocasiones se pudo llegar hasta dichos materiales (ver datos de resistividad), esta circunstancia también guarda relación con la profundidad de investigación alcanzada. En todo caso aquellos valores indicarían que hay sitios en los cuales la roca está casi aflorante. El mapa de iso-resistividades revela también una área muy reducida con valores altos de resistividad los cuales

van de 23 a 33 ohm-m, están representados con verde, café oscuros.

8.2.5. CONCLUSIONES

Las interpretaciones demuestran un "camino" anómalo provocado por la existencia de un material de características definidas, el mismo que atravieza el vaso y la zona del muro, aspecto que también es señalado por M Santos en su trabajo de Sísmica de Refracción.

El material en mención que es limoso - arcilloso - tiene también un contenido de carbonatos los cuales son observados en la zona de la trinchera en forma de manchas blancas, igual apreciación se puede hacer en el Pozo PV-2, esta circunstancia brindaría otra forma de diferenciarlo. Se vislumbra la existencia de un Paleocanal el cual fué relleno por dichos materiales.

También se puede concluir que la zona del vaso ofrece un buen contenido de materiales finos que previo al análisis de sus propiedades físicas servirían para im-

permeabilizar la presa, concretamente recomendaría el área comprendida entre los perfiles $P_{15} R_{15}$, $P_{16} R_{16}$, $P_{17} R_{17}$, $P_{18} R_{18}$, $P_{19} R_{19}$. Los cuales son mostrados en el mapa de ubicación de perfiles de resistividad aparente.

8.3. PROSPECCION MECANICA

Este numeral contiene la información que se ha podido obtener de las labores de campo, las mismas que han sido realizadas en el sitio de presa Valdivia.

La prospección mecánica como tal, abarca todos aquellos trabajos con los cuales se puede tener un conocimiento directo del subsuelo, trincheras, pozos, túneles, perforaciones y sondeos, taludes, etc. son efectuados para tales fines.

En las páginas de los informes técnicos que antecede

den a nuestra investigación, se encuentran los registros de perforaciones, manuales (utilizando calicata) y con máquina tipo Acker; las primeras llegan a una profundidad promedial de dos metros, en tanto que las perforaciones a máquina llegan a 10 y 25 metros de profundidad.

En el área del proyectado muro, se encuentra una trinchera de la cual se habla en el punto 8.3.3. en el mismo que también se exponen los trabajos financiados por la CEDEGE.

8.3.1. Perforaciones y sondeos: Litología de las muestras.

Algunas perforaciones y sondeos están ubicados a lo largo del eje del muro de la represa, otras están indistintamente en el vaso y en el paramento aguas abajo (ver los mapas de geología local y geología del muro).

Al examinar los "perfiles estratigráficos" algunos de los cuales son mostrados al final de esta tesis, se establece la siguiente litología la cual es predominante.

Areniscas.- Bien clasificadas, duras friables, a veces formando estratificación cruzada en algunos sitios interestratificados con lutitas, formando parte de conglomerados. También se encuentran junto a limolitas y concreciones carbonatadas, las coloraciones de las areniscas cambian de gris a verde amarillento y hasta pardo.

Lutitas.- A veces laminadas e interestratificadas con areniscas, contienen pocas vetillas de yeso. Se presenta en coloraciones verde oscuro hasta amarillento pardo.

Conglomerados.- En estratos de mayor potencia que las anteriores con granos subredondeados a redondeados de cuarzo y guijos de rocas ígneas. Por lo general los conglomerados están fuertemente cementados con tobas silicificadas y arcillas.

8.3.2. Correlación estratigráfica de los Sondeos: Para desarrollar este tema se ha escogido algunas de las perforaciones ubicadas como ya se dijo siguiendo el eje del muro de la presa, una trinchera situada siguiendo ese mismo eje también prestó gran ayuda para lograr el

cometido; en el cuadro correspondiente se indica claramente la correlación entre sondeos. (Ver Anexos).

8.3.3. Trincheras: Este punto constituye una parte importante de esta investigación, mediante la cual se llega a establecer y definir la anomalía geológica que cruza el vaso y muro de la represa.

Trinchera mayor.- Se da esta denominación a una trinchera hecha para investigaciones anteriores de unos 70 metros de longitud, 4.5 metros de ancho y de 3 a 4.5 metros de profundidad. La excavación fue efectuada justamente en el sitio de cierre, cortando la elevación topográfica allí existente, tal como se puede ver en el mapa de ubicación de perfiles.

Esta trinchera muestra dos paredes rocosas por tal motivo ha sido empleada para estudiar el problema del yeso así como también para graficar un corte estructural (ver corte estructural del muro). Sin embargo las observaciones están limitadas en profundidad, pues existe un lugar en donde aparentemente se ha producido fallamiento, pues se manifiesta una brusca interrupción de la estratificación. Esta circunstancia hizo que algunos

geólogos consideraran la existencia de una falla de - grandes proporciones que atravesaría el vaso y muro surgiendo así un intrincado problema para la construcción de la represa.

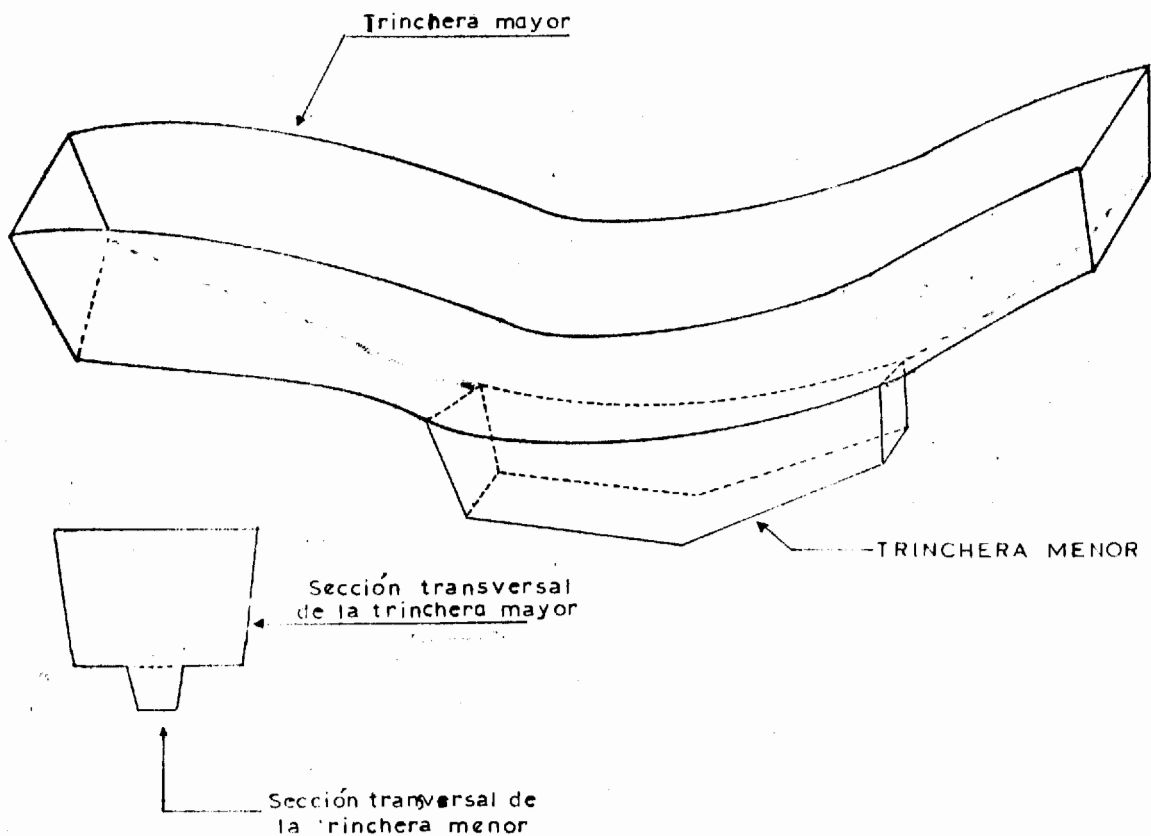
Trinchera menor.- Antes los planteamientos expuestos en los informes geológicos ya mencionados y más que nada apoyándonos en nuestro estudio geofísico, en el que se visualiza una lineación anómala con características asimilables a una estructura de paleocanal, se hacía necesario comprobar la existencia del mismo, por lo que se construyó una trinchera de ahondamiento en el sitio de interrupción de los estratos, correspondiente también al paso de la lineación. Se diseñó y trabajó una trinchera cuyas dimensiones promediales fueron 12x3x2 (4) metros, con un volumen semejante a un trapezoedro, (Ver las figuras siguientes).

Aquella labor fue efectuada por 6 hombres durante 4 días y medio, el trabajo fue controlado, suspendiéndose la excavación cuando se encontró roca muy compacta.

A continuación se describe y analiza la sucesión de

SE

NW



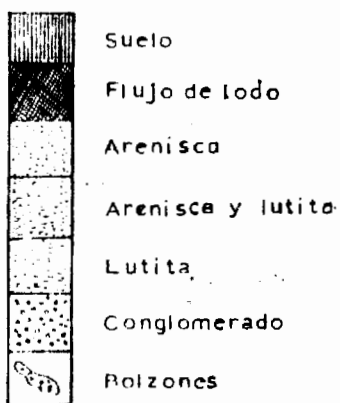
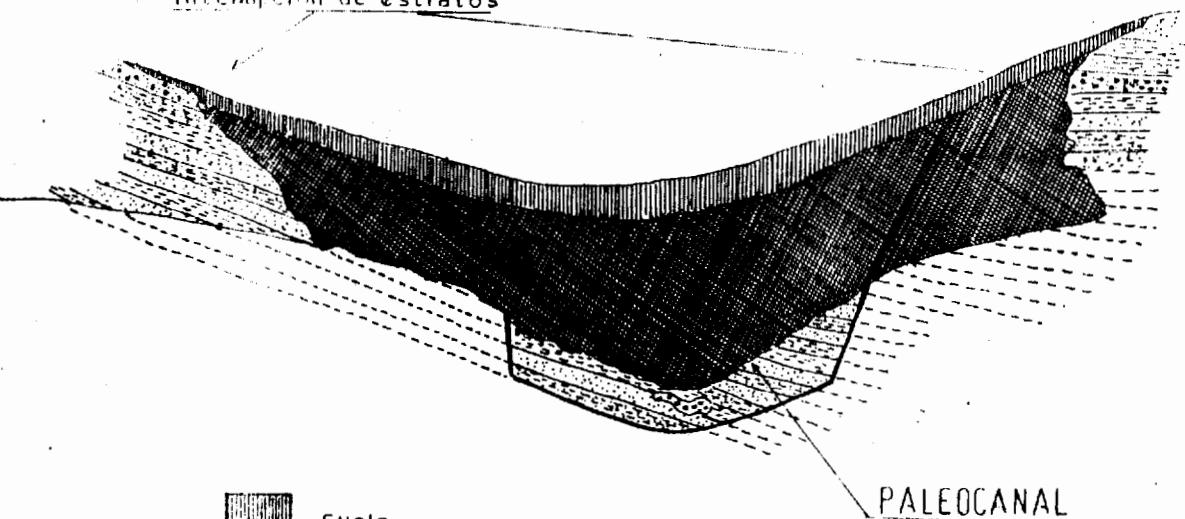
materiales encontrados durante la construcción de la a ludida trinchera.

- a. Material rodado (20 a 30 cms.), formado por suelo y fragmentos de roca, puesto que se comenzó a excavar en el fondo de la trinchera mayor.
- b. Inmediatamente después se encuentra un material de

características muy especiales constituido por limos y arcillas de una coloración negrusca y con manchas carbonáticas blanquecinas; también fueron identificadas grietas de disecación y fragmentos redondeados y semiredondeados de roca ignea y sílice, - los cuales están envueltos en la matriz limo-arcilloso. Este material así dispuesto fué denominado "flujo de lodo" (MF) en las paredes de la trinchera forma una sección transversal cóncava.

- c. Aquella sección transversal cóncava está demarcada por un brusco contacto entre el flujo de lodo y roca sedimentaria, cuyos estratos se presentan "cortados" (ver gráfico) en tal forma que configuran la sección antes mencionada. La litología, la cual no sufre cambios, está constituida por areniscas, lutitas y conglomerados, con estratificación definida y constante NS/15 W; en las partes erosionadas más bajas se encuentran bolsones de grava y arena, compactados y cementados con pequeñas vetillas de yeso. En razón de que la situación estaba definida, además de que la roca es muy compacta y dura se suspendió la excavación.

Intemperación de estratos



INTERPRETACION: La sección transversal corresponde a la de un canal, el cual se formó por la energía fluvial, que fue erosionando los estratos, tal como se puede apreciar actualmente. La existencia de bolzones de grava y arena es una evidencia mas de que se trata de un fondo de cauce. El flujo de lodo que hoy se encuentra relleno el canal fue transportado en forma de las llamadas "avenidas de lodo", junto con soluciones carbonatadas.

La prospección geofísica también determinó la existencia de un paleo-cauce, el cual atraviesa el vaso y muro de la presa; en el mapa de iso-resistividades se puede señalar la posición y dirección de la mencionada estructura, aprovechando este medio y mediante otra excavación se comprobó el paso del canal a unos 300 metros aguas abajo del muro.

CONCLUSIONES:

1. Todas las evidencias muestran la existencia de un paleo-canal.
2. Si no hay cambio de orientación y dirección, tampoco desplazamiento de estratos, ni otros indicios, se puede concluir que no existe falla.
3. Puesto que no hay cambio de litología ni falla, no existen 2 formaciones sino una, que se la denominó Zapotal.
4. Que la roca tiene buenas propiedades mecánicas como para servir de fundación del proyectado muro.

8.4. GEOLOGIA DE LA ZONA DEL MURO

Geomorfológicamente, la zona del muro configura un cierre natural del valle del río Valdivia, el cual se abrió paso en dos sitios, uno de ellos el cauce antiguo (Paleo-Cauce). La roca está aflorante en la parte central y los extremos de lo que sería el muro; esta circunstancia permitió que se realizaran minuciosas observaciones, las que fueron ampliadas posteriormente con la prospección mecánica.

Formaciones Geológicas.- Se pudo establecer claramente que existía un solo tipo de litología, la misma que está representada por lutitas y limolitas, areniscas, algunas veces intercaladas y también masivas; conglomerados formando bancos (de más de 5 metros de espesor) y en formas lenticulares (ver corte estructural del muro), en algunos sitios contienen sub-estratos de arenisca. Entre estrato y estrato o rellenando pequeñas diaclasas se encuentran soluciones carbonáticas y yeso, muy poco frecuentes (ver problema del yeso).

En la prospección mecánica, se constató que los estra

tos se hallan bastante consolidados, si no están expues-
tos al interperismo que ocasiona su meteorización. Las
lutitas y limolitas presentan un aspecto gris-verdoso a
pardo amarillento; las areniscas que son de grano fino
a medio, tienen una coloración pardo-verdusca. Los con-
glomerados de aspecto café negrusco están conformados
por fragmentos redondeados, con una matriz arcillosa -
que ha ocasionado una fuerte cementación; las formas -
lenticulares son más bien microconglomerados en los
que se destaca la presencia de abundantes materiales -
carbonáticos y silicíferos también redondeados (retra-
bajados) pero que integran un todo muy compacto.

En el numeral 9.4 de la tesis de M. Santos se encuen-
tra el estudio petrográfico de variadas muestras, en el
cual están determinados los minerales existentes en los
estratos que constituyen la litología.

Todo lo expuesto nos llevó a la conclusión de que
la única formación geológica era la Zapotal, en la for-
ma como fué definida por los geólogos Gubler y Ortins-
ky; en el lugar escogido para muro, la mencionada for-
mación tiene como rumbo y buzamiento el siguiente va-

lor NS/+ 15W.

ESTRUCTURAS: En la zona del muro se localizaron 3 estructuras geológicas, 2 de las cuales son fallas normales, una de ellas se muestra en el corte estructural del muro (f 5), su rumbo es N 200 y buzamiento 62° E, tiene aproximadamente 3 cms. de espesor, y un desplazamiento de 70 cms. La otra falla (f 5') fue determinada en la correlación estratigráfica de los sondeos se sitúa a unos cuantos metros del cauce actual, es al parecer igualmente pequeña, pudiéndose determinar que su desplazamiento es de unos 60 cms. su rumbo y buzamiento no fueron determinados.

La otra estructura es un paleocanal, del cual ya se habló en renglones anteriores, atraviesa también el vaso, con un rumbo promedial de N45E. De acuerdo a las observaciones hechas en el mapa de iso-resistividades se puede advertir que el "cauce viejo" es un tanto meandriforme al pasar por el vaso (al igual que en el cauce actual), para luego pasar en forma más o menos recta y perpendicular por el área del proyectado muro.

9. INVESTIGACION GEOTECNICA EN DETALLE

Este capítulo trata del análisis del problema geotécnico existente en el proyecto de estudio. La parte complementaria se encuentra en la Tesis de M. Santos, bajo los títulos 10.1. Problema geotécnico de los estribos; 10.2 Estabilidad de taludes (estribos); 10.3 Problema geotécnico de los vertederos: fundaciones; 10.4. Problema geotécnico del vaso: filtraciones; 10.5. Análisis del Yeso: características geológicas.

9.1. PROBLEMA GEOTECNICO DEL MURO

El muro constituye sin lugar a dudas, la parte vital para realizar un proyecto de presa, por lo tanto es la estructura que requiere los más amplios y cuidadosos estudios, los mismos que están encaminados sobre todo a la determinación de estructuras geológicas en posición, magnitud y características, ya que van a incidir directamente en la fundación del muro y en general en todo el cuerpo de la represa.

Como se puede apreciar en los planos geológicos, cor

tes estructurales, y correlación estratigráfica de los sondeos, el área donde va a ser levantado el muro, las estructuras y sus características son las siguientes:

- a. Fallas.- Han sido localizadas dos pequeñas fallas, una de ellas la f5, la misma que es una falla normal, de rumbo N20°W y buzamiento 62°E, de unos tres cms. de espesor, el cual está relleno por un material arcilloso calcáreo; el desplazamiento es de 80 cms.

En base a la correlación estratigráfica, también se determinó otra falla, que al parecer es paralela a la anterior con características semejantes a aquella; tiene la nominación de f5'.

- b. Paleo-Cauces.- Como se puntualizó en el Capítulo anterior, se ha encontrado un paleo canal y como indican los mapas y cortes geológicos, cruza aproximadamente por el centro del vaso, pasando por el muro en la zona de depresión que hay en esa área sin contar con la del cauce actual.

La dirección del paleo canal en mención es promedial

mente $N45^{\circ}E$; esta estructura llega en profundidad a la cota 30 m. \pm . El fondo es definido por una sección asimilable a cóncava de roca sedimentaria (ya descrita), la cual ha sido erosionada por la energía fluvial, en tiempos pasados.

- c. Formaciones geológicas.- De acuerdo a lo establecido en el numeral 8.4 (geología de la zona del muro), hay solamente una formación geológica de litología y orientación, ya descritas.

El aspecto geotécnico más importante en cuanto a las formaciones geológicas está referido a la disposición y características de los estratos que constituyen tales estructuras.

Según el buzamiento de la estratificación, se pueden tener los siguientes casos:

1. Estratos con buzamiento dirigido al vaso: este caso brinda las más óptimas condiciones, puesto que no se espera pérdidas de agua en el embalse debidas a infiltraciones a través de los planos de estratificación.

2. Estratos con buzamiento dirigido al parámetro aguas abajo: caso opuesto al anterior, consiguiendo da lugar a las condiciones más desfavorables.
3. Estratos cuyos buzamiento que sigue aproximadamente la dirección del eje de la presa; es decir perpendiculares a los dos casos anteriores.

Puede considerarse éste, como un caso favorable, en la medida que, las pérdidas de agua por causas de la estratificación son poco significativas.

Los tres casos analizados, pueden variar en razón al tipo de buzamiento: de ángulo pequeño, de ángulo medio, de gran ángulo; la magnitud de las pérdidas de agua viene dada en esa escala, lógicamente dependiendo de la litología.

Los estratos que se encuentran en el cierre de la presa tienen como buzamiento: 15 dirigido al Oeste, lo cual indica que siguen la dirección del "eje de presa". Por lo visto, éste es el caso 3) con un ángulo catalogado como pequeño.

9.2. ESTABILIDAD DE TALUDES: ZONA DEL MURO

En esta parte de la tesis, se busca determinar si los taludes diseñados, son estables de acuerdo a las características de los materiales de la fundación y de los que van a ser empleados para construir el muro en sí.

El análisis es efectuado también en los taludes que deberán formarse al excavar la trinchera para construir la barrera impermeable.

9.2.1. Descripción de los materiales empleados en la construcción del embalse y del terreno de fundación.-

Las propiedades ingenieriles de los materiales de construcción fueron determinadas a partir de muestras alteradas y semialteradas obtenidas mediante perforaciones (a máquina y a mano) en sitios cercanos al embalse (ver plano de préstamos 101-V14-135 del Proyecto Valdivia INERHI).

Los terrenos de fundación fueron igualmente estudiados, habiéndose efectuado adicionalmente pruebas de permeabilidad, cuyos valores no exceden de 1×10^{-4} cms/seg.

Dado que para el análisis de estabilidad de taludes

Dado que para el análisis de estabilidad de taludes se requiere de propiedades tales como el peso unitario, la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (ϕ), en el mapa N^o 2 (sección transversal de la presa), se muestran dichos valores, para cada capa de material, tanto del cuerpo de la presa como de la fundación, adjuntándose también la descripción correspondiente.

9.2.2. Breve descripción y análisis de los métodos empleados

El método general empleado es el del círculo sueco (ideado por W. Fellenius), el cual está basado en el análisis estático de la masa localizada arriba de cualquier arco de circunferencia. De esta manera se tiene en dos dimensiones un sector circular definido por la circunferencia y los taludes; luego se procede a dividir en rebanadas verticales de igual grosor, razón por la cual este método es denominado específicamente, método de rebanadas o tajadas.

El centro de la circunferencia que define la línea potencial de deslizamiento (línea de fallas), es ubicado arbitrariamente para cada círculo a analizarse.

En las tajadas (rebanadas) así determinadas se calcula el área y luego el volumen considerando en la tercera dimensión un espesor igual a la unidad. El peso de cada tajada, se obtiene multiplicando el volumen por el peso unitario del material del cual están constituidos.

El peso de cada tajada, representado por un vector es descompuesto en dos vectores: normal y tangencial. Este paso es conseguido en dos formas: graficando a escala y aplicando el método ortogonal de vectores (ver en gráficos método 1), o mediante la determinación de un ángulo (α) referido a un eje vertical que pasa por el centro del círculo y una línea que une dicho centro con la mitad del arco de una tajada (ver en gráficos, método 2).

Se efectúan análisis de la estabilidad de los taludes de los paramentos y de la excavación de la trinchera, para los casos siguientes:

CASO 1. Análisis de estabilidad de taludes sin considerar filtraciones. Ocurre en los taludes de la trinchera, así como en los taludes de los paramentos, cuando la presa está vacía.

Las fuerzas actuantes son las fuerzas tangenciales (t)

y, las fuerzas resistentes son: a) Fuerzas normales (N) - multiplicadas por la tangente del ángulo de fricción interna ϕ ; b) La cohesión (c) multiplicada por la longitud del arco, de cada tajada (L).

No se considera el desbalance de esfuerzos laterales, actuantes en cada tajada. Existe conciencia que el tipo de análisis a realizarse es una simplificación del problema, que lo vuelve estáticamente determinado.

Tanto la cohesión (c) como el ángulo de fricción interna ϕ y el peso unitario (γ) fueron determinados en el laboratorio de la Universidad de Guayaquil (a cargo del I-NERHI) a partir de las muestras inalteradas, mediante ensayos triaxiales rápidos, consolidación y compresión sin confinar.

El factor de seguridad (FS), queda definido así:

$$FS = \frac{\sum \text{Esf. resistente}}{\sum \text{Esf. actuantes}}$$

Y de acuerdo a lo expuesto:

$$FS = \frac{\sum (c, L + N \text{Tg}\phi)}{\sum T}$$

Donde:

N = Fuerzas normales

T = Fuerzas tangenciales

α = Angulos de fricción interna

c = Cohesión

L = Longitud de arco en cada tajada

ϕ =

En cada tajada se considera aceptable para estructuras de tierra un factor de seguridad mínimo de 1.3.

CASO II. Análisis de estabilidad de taludes considerando las filtraciones.

La filtración a través de una estructura de tierra se define por líneas de flujo y líneas equipotenciales que forman la llamada "Red de Flujo".

El diseño de redes de flujo es una tarea muy compleja especializada, por tal motivo se escogió un modelo, que puede ser explicado al caso en estudio, se trató de un modelo de sección verdadera analizado por H.R. Cedergren, (autoridad en esa materia), en el que se considera que la permeabilidad del embalse es igual a la permeabilidad de la fundación.

En nuestro caso se tiene aproximadamente lo mismo. Se menciona que como en el modelo los coeficientes de permeabilidad horizontal y vertical son distintos, la condición de perpendicularidad entre líneas de flujo y equipotenciales, no se cumple.

El análisis en sí, utiliza los esfuerzos del caso I, añadiéndose a esto las presiones neutras, las mismas que actúan en la misma dirección pero en sentido contrario a las fuerzas normales actuantes en cada tajada. Para la determinación de las presiones neutras se hizo en resumen lo siguiente:

A partir de los taludes y el círculo en análisis se calculan cargas totales y cargas de altura; haciendo la diferencia entre estas dos se obtienen las cargas de presión (todo a escala); finalmente uniendo los puntos que aquellas determinan se traza una curva que representa el diagrama de presiones hidrostáticas. De este diagrama se sacan los valores deseados de cargas de presión (u). Las presiones neutras (U).

9.2.2. Cálculos, Discusión y Conclusiones

TALUDES A LA TRINCHERA

Los diagramas para determinar los taludes de la trinchera son nominados como T-1, T-2, T-3, T-4, T-5, T-6, acompañados de sus respectivas tablas de cálculo.

El talud analizado en los ensayos T-1 y T-2 (método 1), tiene una pendiente 1:1. Se escogieron dos posiciones del centro del círculo; el factor de seguridad para cada caso es de 1.05 y 1 respectivamente.

El talud T-3 con una pendiente 1.25:1, alcanza un factor de seguridad de 1.1.

Se analizó un nuevo tipo de talud, el cual está compuesto de partes con pendientes 1:1 y una bema intermedia de 6 metros. El factor de seguridad tiene los valores de 1.31 (Método 1, diagrama T-4) y 1.36 (Método 2, diagrama T-5).

En razón a los resultados obtenidos se concluye que el último diseño es el más aceptable (el factor de seguridad mínimo considerable es 1.3), para la trinchera en el lado del paramento aguas abajo. Mientras que los taludes de lado opuesto, podrían tener un diseño compuesto por una pendiente 1.25 : 1 y una línea sin pendiente, has

ta empatar con los taludes de la ataguía (el análisis de termina un factor de seguridad igual a 1.52).

TALUDES DE LOS PARAMENTOS

Los taludes de los paramentos fueron analizados para las siguientes condiciones:

- a) Cuando la presa está llena
- b) Cuando la presa está vacía

La condición a) se descompone así:

1. Cuando el peso del agua del vaso gravita sobre el paramento aguas arriba; los análisis TN-1 y TN-3 arrojaron factores de seguridad de 1.54 y 2.03 respectivamente.
2. Cuando el peso del agua no gravita sobre el paramento, pero se considera que la filtración sigue sucediendo - en el cuerpo de la presa (caso hipotético de un vaciado súbito). Tanto en el análisis TN-1 como en el TN-3 se obtuvo un factor de seguridad nulo, en el paramento aguas arriba. Para el caso del paramento aguas abajo, el factor de seguridad fué de 2.41 en el análisis TN-2.

Para la condición b), es decir cuando la presa está vacía, los factores de seguridad fueron de 2.03 y 2.84, - en los análisis TN-1 y TN-3 del paramento aguas arriba. En el análisis TN-2 del paramento aguas abajo el factor de seguridad fue de 2.73.

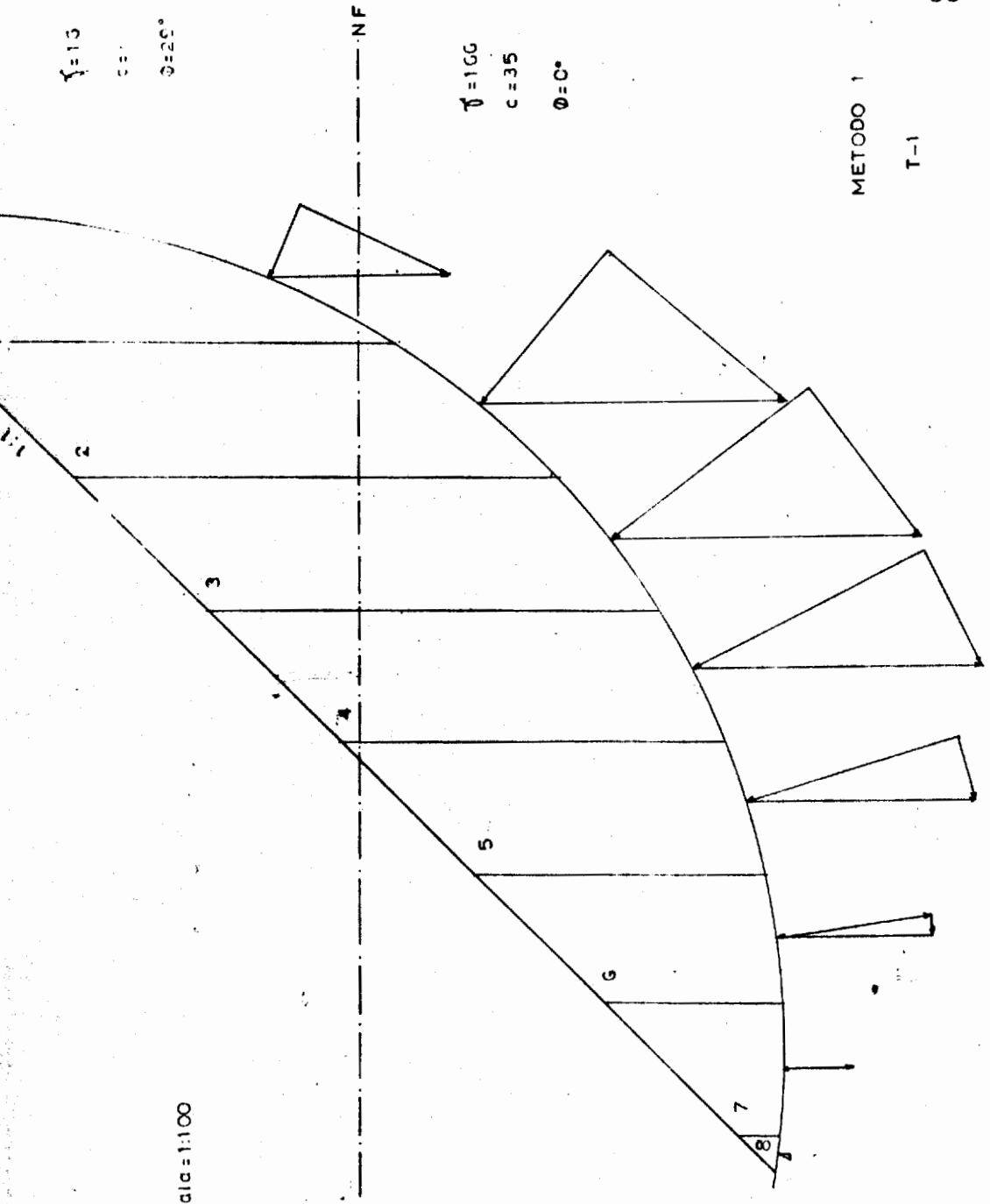
Para este análisis, se han escogido los círculos de falla más probables, tomando en cuenta los factores de seguridad obtenidos, se puede anticipar estabilidad en los paramentos. Se reconoce sin embargo la necesidad de efectuar mayor número de análisis (usando otros círculos potenciales de falla) para poder garantizar la aseveración de que los taludes son definitivamente estables.

En la sección transversal de la presa (plano N° 2) se hacen constar los taludes escogidos, con los círculos potenciales de falla y sus respectivos factores de seguridad.

$\gamma = 13$
 $c = 1$
 $\theta = 25^\circ$

$\gamma = 100$
 $c = 35$
 $\theta = 0^\circ$

Escala = 1:100



METODO 1

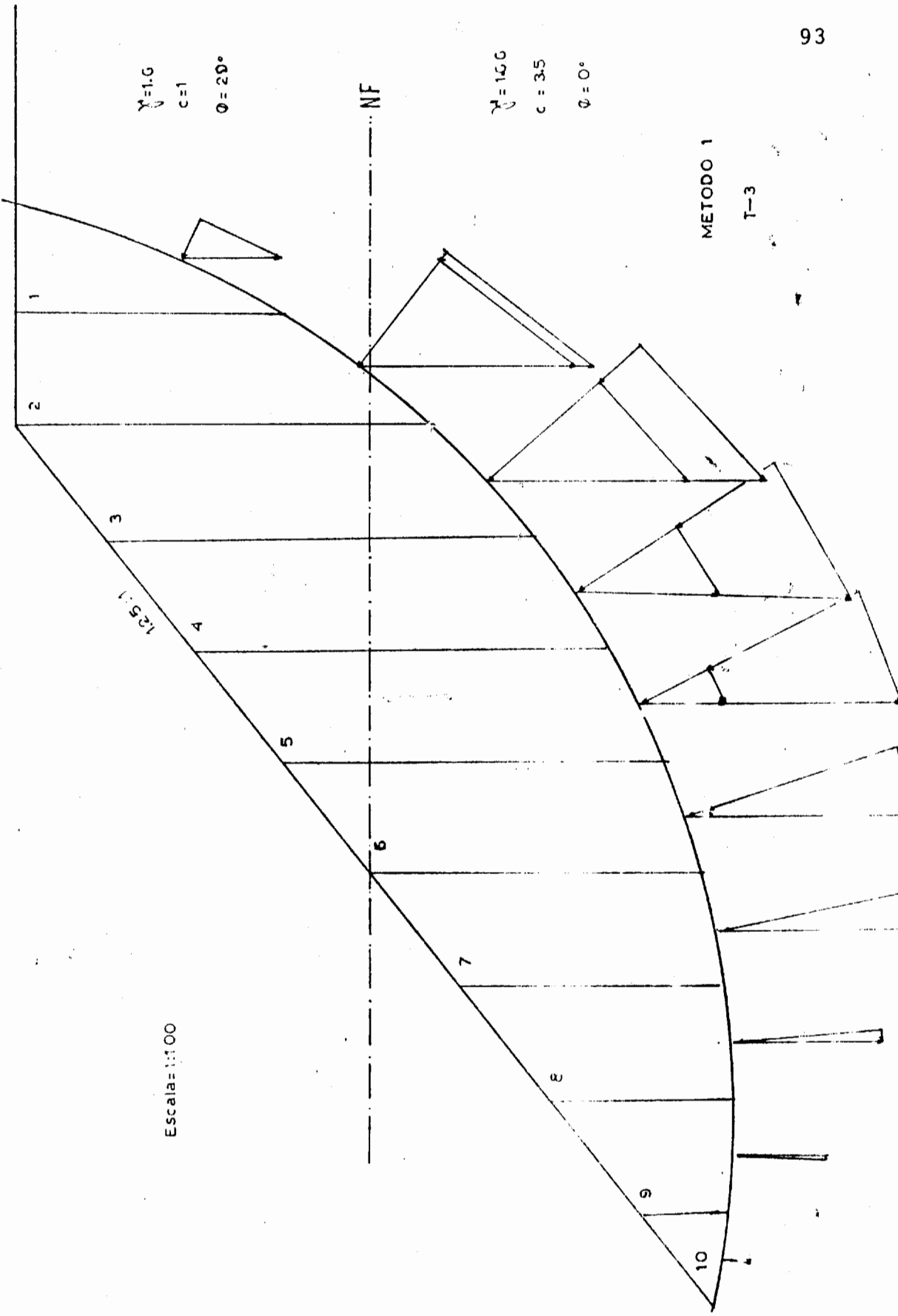
T-1

Nº Tajada	CL	N _{Iq} φ	T
1	1,06	0,04	9,8
2	4,64	2,30	16,4
3	7,66	3,36	15,3
4	9,45	0	12,0
5	8,4	0	8,1
6	7,7	0	4,6
7	7,35	0	1,7
8	7,35	0	0,20
9	7	0	0
	Σ60,61	Σ5,00	Σ69,6

$$FS = \frac{\Sigma(CL + N Iq \phi)}{\Sigma T} = 1,2$$

№-Тождa	c l	M Tgφ	T
1	5.4	2.16	7.56
2	6.56	1.17	15.68
3	9.62		15.26
4	8.4	0.0	10.6
5	7.88	0.0	10.0
6	7.35	0.0	6.4
7	7.35	0.0	3.3
8	7.12	0.0	1.0
9	7.2	0.0	-0.35
10	5.95	0.0	-0.48
	Σ73.11	Σ6.66	Σ74.06

$$FS = \frac{\Sigma(CI + M Tg\phi)}{\Sigma T} = 0.4$$



$\gamma = 1.6$
 $c = 1$
 $\theta = 20^\circ$

$\gamma = 10.0$
 $c = 3.5$
 $\theta = 0^\circ$

METODO 1

T-3

Escala = 1:100

N° Taja da	CL	T	NTg φ			
1	1,7	0,5	0,1			
2	4,4	10,2	2,99			
3	8,02	11,2	3,02			
4	9,24	12,5	0			
5	8,4	9,5	0			
6	1,05	7,0	0			
7	7,7	6,0	0			
8	7,35	3,7	0			
9	7,2	1,2	0			
10	7,0	-0,8	0			
11	7,0	-0,75	0			
12	7,2	0	0			
13	6,74	0	0			
	77,89	60,15	2,11			

$$FS = \frac{(CL + NTg \phi)}{\xi T} = 1,31$$

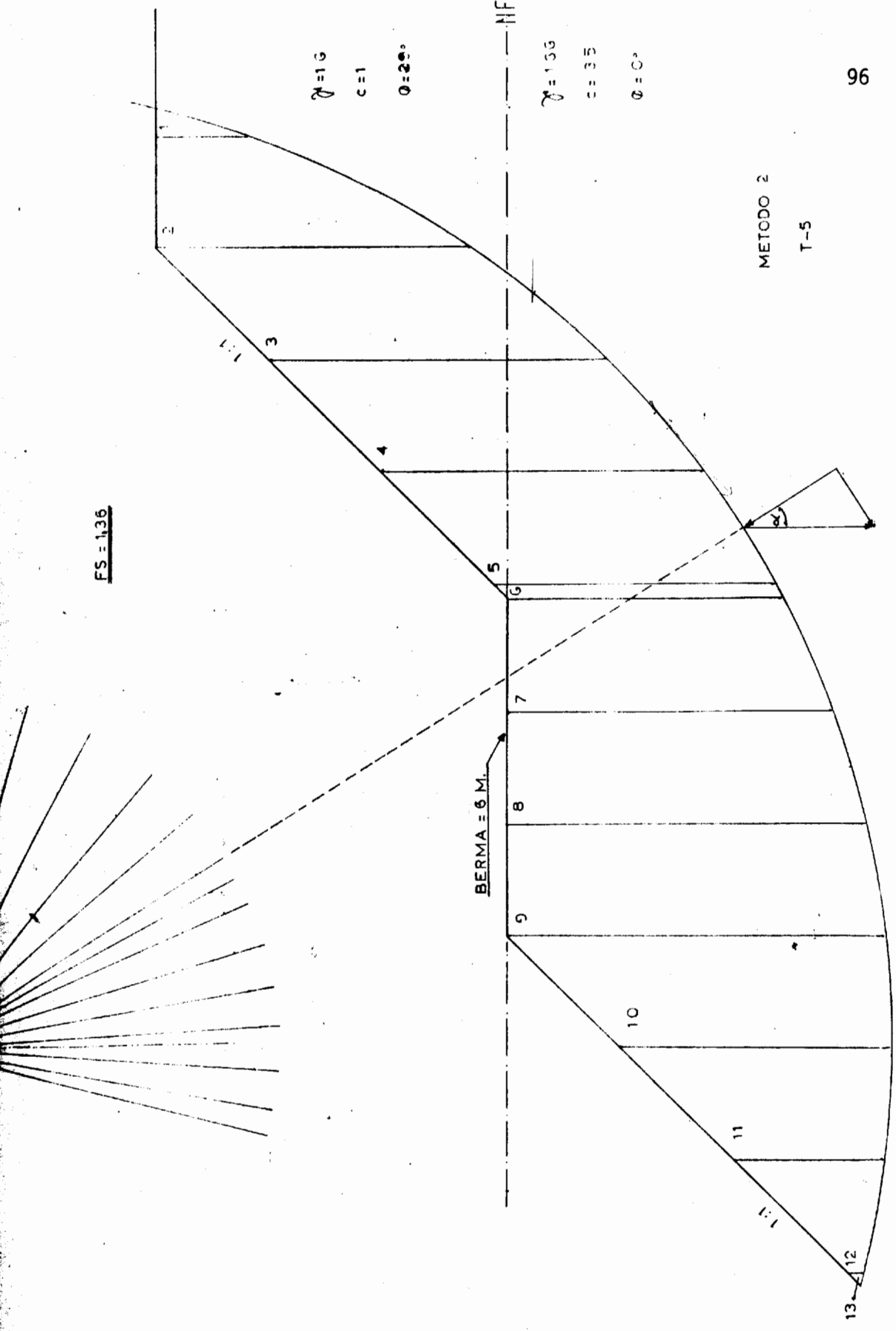
METODO 2
T-5

NF

$R = 16$
 $C = 1$
 $\theta = 25^\circ$

$R = 100$
 $C = 35$
 $\theta = 0^\circ$

FS = 136

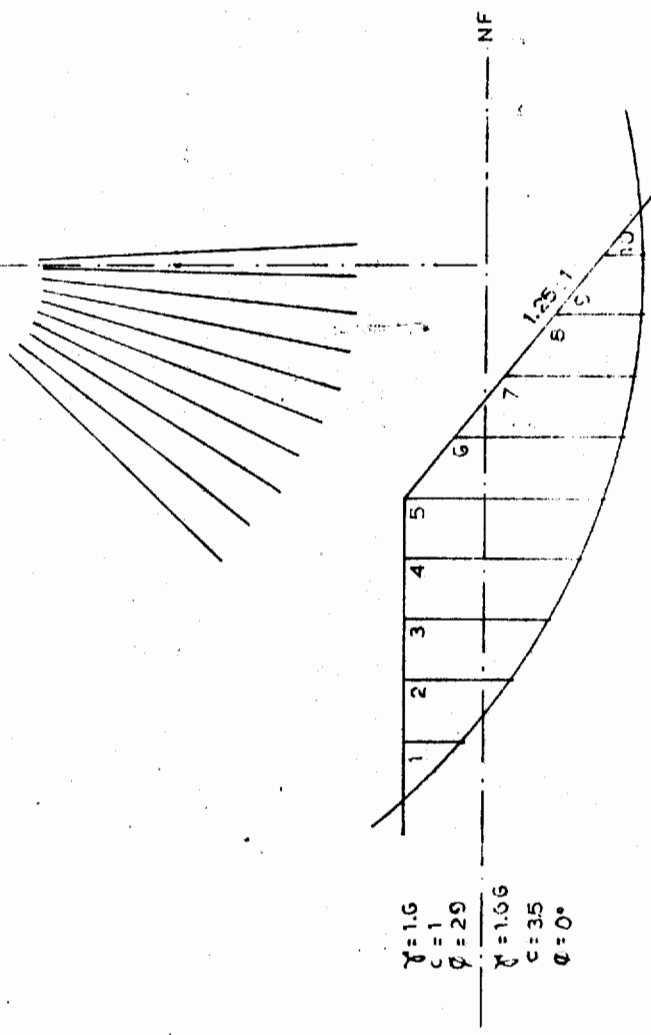


Nº Tajuada	P	N Prosd.	T P send.	C c.a/cosd.	N Tg φ
1	0,412	0,12	0,394	1,71	0,07
2	11,552	5,22	10,22	4,25	3
3	18,81	14,23	12,23	9,23	2
4	17,24	14,57	9,26	8,4	0
6	0,983	0,87	0,472	2,1	0
7	17,48	15,96	17	8,4	0
8	19,94	19,02	5,963	7,7	0
9	21,53	21,19	3,812	7,35	0
10	18,97	18,93	1,224	7,014	0
11	12,27	12,247	-0,749	7,013	0
12	4,32	4,264	-0,752	7,106	0
13	0,005	0,004	-0,008	1,1	0

$$FS = \frac{C + N \cdot Tg \phi}{\Sigma T} = 1,36$$

FS = 1:52

Centro del círculo



$r = 1.6$
 $c = 1$
 $q = 29$
 $r = 1.06$
 $c = 35$
 $q = 0$

METODO 2
T-6

Nº Tajeada	PESO P	ANGULO α	N PCOS α	T P SEN α	C cos α	NTg φ
1	2,16	11,2°	2,07	0,37	2,0	1,07
2	19,57	31,1°	16,65	7,3	2,54	1,34
3	19,53	22,2°	11,53	7,26	8,27	0
4	17,28	26,7°	15,44	7,76	7,33	0
5	20,27	21,4°	18,87	7,4	6,52	0
6	20,04	16,5°	19,21	5,52	6,7	0
7	16,91	11,2°	16,59	3,28	6,87	0
8	12,12	6,3°	12,05	1,33	6,04	0
9	7,14	1,4°	7,14	0,17	7	0
10	1,74	-3°	1,74	-0,09	7	0
				Σ42,85	Σ=51,67	Σ=2,09

$$FS = \frac{\Sigma(C \cdot NTg \theta)}{\Sigma T} = 1,52$$

(CUADRO N.º 3)

METODO Z
IN-1

Nº Tajada	Peso	U	ANGULO α	N Pcos α	T Psen α	C cc / cose	U u / cose α	N-U	(N-U) Z Ig φ	N Ig φ	Z+A
1	26.97	0	0.5°	26.97	0.47	0	0	10.77	7.21	7.81	17.91
2	47.05	3.0	37.0°	27.95	40.13	0	31.70	4.3	3.12	18.93	3.0
3	73.18	7	57.3°	39.12	60.75	0	57.17	1.07	1.23	23.91	0.0
4	74.28	10.0	36°	47.17	47.70	0	55.77	2.51	2.75	40.70	20.34
5	76.63	12.6	24.0°	60.91	31.10	0	65.30	4.09	2.97	50.70	20.37
6	81.43	14	11.5°	79.79	16.23	5.1	71.45	8.34	4.62	42.23	35.02
7	71.82	15.5	0.5°	71.82	0.63	5	77.5	-5.68	-3.15	39.81	30.6
8	66.49	16	-7.5°	65.98	-8.22	5	80.0	-1 4.02	-8.10	36.57	20.15
9	52.96	14.7	-15.0°	51.15	-13.7	5.18	76.1	-24.95	-13.83	28.35	26.92
10	32.21	12.7	-23.0°	29.65	-12.58	5.43	68.98	-39.33	-21.8	16.43	22.45
11	5.34	10.5	-36.0°	4.62	-2.67	3.0	31.14	-26.82	-14.27	2.56	6.06
Σ					173.48	28.71			-72.72	323.14	200.2

$$PS_1 = \frac{\sum C + (N-U) T \cos \alpha}{T} = \text{NULO}$$

$$PS_2 = \frac{\sum (C + Z + A)}{\sum N} = \frac{173.48 + 28.71}{323.14} = 2.00$$

ΣC

#	U	U/cos α	U/cos α	Psen α	Pcos α	Angulo α	Preson	Peso	U $\cos^2 \alpha$	U $\cos \alpha$	(N-U) T α	N-U T α	N T α ϕ
1	0,731			0,35	0,64	61°	-1	0,731		-6,18	4,7	6,53	0,25
2	16,53			9,17	13,75	56,3°	-0,5	16,53		-2,7	8,62	11,87	6,66
3	29,23			19,21	22,03	48,9°	0	29,23		0	13,96	19,21	13,96
4	29,12			21,46	19,7	52,5°	1	29,12		1,07	13,30	17,20	13,30
5	41,24			22,19	26,17	26,1°	1,5	41,24		5,59	20,03	27,6	20,11
6	43,06			25,26	22,5	31,5°	2,1	43,06		7,09	20,68	28,47	26,05
7	43,01			38,62	18,92	26,1°	2,7	43,01		9,02	21,5	29,6	28,06
8	49,07			45,65	17,98	21,5°	3,1	49,07		10	25,83	35,55	33,17
9	51,71	2,02		51,38	15,71	17°	3,4	53,73	2,02	10,67	22,56	40,71	23,1
10	48,84	1,92		49,63	10,64	12,1°	3,2	50,76	1,92	9,82	22,07	39,81	27,51
11	46,23	8,82		54,57	7,57	7,9°	2,9	55,11	8,82	8,78	25,38	45,79	30,25
12	43,62	8,64		52,17	3	3,3°	2,4	52,26	8,64	7,21	24,92	44,96	28,92
13	40,49	9,12		49,6	-0,86	-1°	1,9	49,61	9,12	5,7	24,33	43,0	27,19
14	38,4	9,4		46,39	-4,19	-5,3°	1,4	46,3	9,4	4,22	22,19	42,26	25,90
15	35,27	6,24		40,59	-7,14	-9,0°	0,2	41,51	6,24	2,7	21,17	39,19	22,66
16	32,66	2,4		33,97	-2,49	-4,0°	0,5	34,06	2,4	1,15	19	32,47	18,90
17	25,06			22,69	-8,2	-10,4°	0,1	25,06		10,30	16,07	22,06	17,0
18	7,83			7,18	-3,12	-23,5°	0	7,83		0	5,22	7,18	5,22
				$\Sigma=150,62$	$\Sigma=30,73$						$\Sigma=332,39$		$\Sigma=380,23$

$\Sigma P = 150,62$ $\Sigma P \cos \alpha = 30,73$ $\Sigma P \sin \alpha = -3,12$ $\Sigma P \cos^2 \alpha = 30,73$ $\Sigma P \sin^2 \alpha = 30,73$

10

METODO 2
IN-3

(CUADRO N.º 4)

Nº Talleda	Peso P	Carga de Presion $\frac{P}{U}$	Angulo α	N Pesos α	T sen α	C $\frac{cd}{cos \alpha}$	U $\frac{hd}{cos \alpha}$	N-U	Z $\frac{(N-U)}{Tg}$	ϕ	N Tg ϕ	Z+A
1	15,13	0,2	21,5°	0,58	12,32	0	1,97	7,01	5,09	6,39	7,01	
2	56,66	2,6	47,05°	1,2	26,1	0	13,81	10,47	7,62	17,65	10,49	
3	84,85	3,2	50°	1,2	26,22	0	24,69	10,15	7,39	25,22	10,79	
4	48,21	8,0	21,9°	4,1	25,53	0	34,11	6,89	5	29,79	17,75	
5	48,15	9,9	25,2°	4,3,57	20,5	0	39,61	3,96	2,88	31,65	21,87	
6	47,37	11,8	19,25°	44,72	15,62	0	45,24	-0,52	-0,30	32,49	26,45	
7	52,49	13,4	13,5°	51,04	12,25	1,86	49,88	1,16	0,64	28,29	25,41	
8	54,2	15	7,2°	53,77	6,79	3,65	54,73	-0,96	-0,53	29,805	24,74	
9	52,77	16,1	1,9°	52,74	1,75	3,62	58,31	-5,57	-3,08	29,23	22,26	
10	48,5	16	-3,5°	48,41	-2,96	3,62	58,03	-9,62	-5,33	26,03	21,15	
11	42,2	15	-9,5°	41,62	-6,96	3,67	55,05	-13,43	-7,44	23,1	17,69	
12	32,75	14	-15,1°	31,62	-8,53	3,75	52,49	-20,87	-11,57	17,52	14,78	
13	21,1	12,6	-21,05°	19,62	-7,78	3,88	48,87	-29,19	-15,18	10,01	8,82	
14	3,49	12	-25,25°	3,19	-1,39	4,02	48,21	-45,12	-25	1,77	-18,56	
Σ					110,0	20,29			200,06	310,77	310,81	

$$P_{S1} = \frac{E(C + \cos \alpha \cdot P)}{E \cdot T}$$

$$= \text{NÚMERO}$$

$$P_{S2} = \frac{E' \cdot \Delta \cdot \cos \alpha}{E \cdot T} = \text{NÚMERO}$$

$$P_{S3} = \frac{E' \cdot \Delta \cdot \cos \alpha}{E \cdot T} = \text{NÚMERO}$$

9.3. PROBLEMA GEOTECNICO DE LOS VERTEDEROS: Resistencia de los materiales al pié de los vertederos.

Según los diseños efectuados por el INERHI, el embalse tiene un aliviadero, el mismo está ubicado en el estribo derecho, captando el agua en exceso a una cota de 46.50 metros, para luego atravesar parte del talud del muro y continuar por el plano aluvial hasta llegar al río.

En el numeral 10.3 de su tesis de grado, Mariano Santos, habla de la roca que va a servir de fundación del aliviadero (vertedero), sin embargo debe adicionarse que los materiales del muro y la cubierta aluvial (± 10 m.), también son integrantes de la fundación de dicha estructura ingenieril.

Se pretende plantear un problema que puede pasar desapercibido, me refiero a la acción provocada por el agua - proveniente del embalse, la misma que al descender por el canal adquiere una fuerza hidráulica capaz de erosionar el material que sirve de fundación del canal, el cual, evidentemente debe ser revestido; tal erosión empezaría justamente al pié del vertedero, es decir en la parte donde termi-

na la capa de concreto. Podría suceder, que los técnicos constructores, sólo pusieran revestimiento en un tramo del vertedero; por ejemplo al terminar la pendiente principal (según el diseño), o lo que es lo mismo al pié de los taludes del estribo y muro, entonces, la fuerza erosionadora del agua haría que los materiales de fundación fuesen removidos, empezando primero por la roca meteorizada, luego por las rocas frescas, cuya litología como se anotó anteriormente está representada por areniscas conglomerados y lutitas que tienen la propiedad de ser delesnables, complicándose de esta forma el estribo y muro de la represa. Si el aliviadero se revistiera unos cuantos metros más, sin llegar hasta el final, el problema subsistiría pues los materiales de fundación son en ese sitio la gruesa capa aluvial (+ 10m.) y los efectos empezarían vertiginosamente. Aún cuando el revestimiento de concreto llegaría hasta la desembocadura en el río y al no tomarse las precauciones adecuadas en lo referente a un modelo técnico de la terminación del canal, de cualquier forma la erosión empezaría como continuos y rápidos derrumbes, talvez no adquiriría la peligrosidad del primer caso, pero al menos ocasionaría la destrucción del vertedero. Por otra parte se debe tomar en cuenta de dotar un diseño ingenieríl al final del a

liviadero, tomando en cuenta los peligros que se derivan de la brusca caída del agua. Dada la posición que tiene el mencionado vertedero, respecto al río, no existirán problemas de acumulación de sedimentos, pues estos serán arrastrados por las aguas del mismo río.

9.4. PROBLEMA GEOTECNICO DEL VASO

El estudio de las posibles pérdidas de agua y la capacidad de almacenamiento del vaso es otro aspecto importante, el cual ha sido analizado por mi compalero de investigación en el numeral 10.4 de su tesis de grado.

4.1. Estabilidad de taludes y sedimentación en el vaso

Los taludes conformantes del vaso, tienen como características las siguientes: pendiente topográfica suave a excepción de un sector localizado junto al estribo de la margen izquierda (según se ve en las curvas topográficas). La roca aflora únicamente en el sitio antes mencionado; puede decirse que la pendiente fuerte (70 - 80%) produjo el afloramiento. Consecuentemente gran parte de los taludes del vaso están definidos por la topografía del terre

no ya que la roca está cubierta por una gruesa capa de suelo, lo cual fué comprobado mediante el marco geológico.

En razón a las características y aspectos ya enunciados, puede anticiparse que los taludes serán bastante estables, excepción que se hace con la zona cercana al estrato izquierdo, tanto por su pendiente pronunciada como por el buzamiento de los estratos ($15 - 20^\circ W$) con dirección al vaso, circunstancia que facilita la inestabilidad. Todo el talud derecho, en cambio tendrá gran estabilidad, porque la pendiente es de bajo porcentaje y los estratos buzán en sentido contrario a la misma.

SEDIMENTACION EN EL VASO.- Los sedimentos que van a depositarse en el vaso provendrán principalmente de dos fuentes y son las que se enuncian a continuación:

1. A partir de los taludes del vaso: el aporte de sedimentos estará en relación a la estabilidad o inestabilidad de los aludidos taludes (la inestabilidad provocaría caída de materiales). Pero también rodarán sedimentos con ciclos repetidos de vaciado-secado del agua del embalse, los cuales facilitarían la erosión de

los taludes.

2. CUENCA DE DRENAJE.- Esta es la principal fuente que producirá la acumulación de materiales en el vaso, en la medida en que, a través de este sistema fluvial se producen procesos de erosión y transporte, cuyo producto será depositado en el embalse.

Dado que la cuenca de drenaje no tiene abundantes ríos es aventurado, hacer un estudio completo aplicando parámetros geomorfológicos; pues una de las bases de tal estudio, son las probabilidades, las cuales a su vez son planteadas a partir de valores paramétricos, que son sacados de los afluentes y sus respectivas sub-cuencas, actuando consiguientemente como muestras. Entonces, estas no serían las suficientes como para establecer relaciones con valores (muestras) igualmente obtenidos de otras cuencas (por lo menos 2 mas), una de las cuales debe ser "conocida". Al hacer la comparación (por reglas probabilísticas) entre cuencas, se prueba o rechaza una hipótesis que es planteada inicialmente. Hay que dejar constancia, sin embargo, que si fueron realizados varios intentos, obteniéndose valores no convincentes, que no son mostrados en esta tesis.

9.5. ANALISIS DEL YESO: Reacciones Químicas

Las características químicas de las muestras del yeso presentes en el sitio de "Cierre" de la presa arrojan los siguientes resultados:

Formula: $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Precipitación con un PH = 8

Dado el tipo de problema que se está confrontando, es to es la posible disolución del mencionado sulfato; fue necesario hacer un análisis especulativo considerando las reacciones más importantes entre yeso-agua en relación al PH. Para tales fines hubo de realizarse un muestreo de aguas en varios sitios a partir del parametro aguas arriba, se seleccionaron 3 muestras representativas, encontrándose los valores de PH siguiente:

<u>Muestra</u>	<u>PH</u>	<u>Fecha de Muestreo</u>
1	8.14	12 de Sept. 1974
2	8.32	12 de Sept. 1974
3	8.35	12 de Sept. 1974

(No se determinó el Redox ó Potencial de Oxido - Reduc-

ción por considerársele con menor influencia en la disolución del yeso).

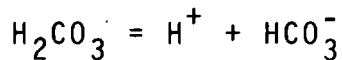
Generalmente las aguas de los ríos y lagos tienen un PH que varía entre 7.3 y 8.5, en el caso de Valdivia, como se puede ver en los resultados, también se tienen valores de PH que son básicos, y mayores que el PH de precipitación (8), en tal virtud teóricamente no se esperaría una disolución.

Sin embargo, las condiciones del PH en los cauces son susceptibles de variación de acuerdo a la cantidad de agua circulante. En el caso presente, el muestreo fue realizado en época de sequía, en consecuencia el caudal del río era mínimo (altura de agua 20 cm.), se podría pensar entonces en una concentración de sales productoras de iones ya que un caudal con baja energía, dichos iones se acumulan y son mayormente producidos en los sitios donde la corriente se detiene (tal es el caso de los meandros muy frecuentes en el río Valdivia).

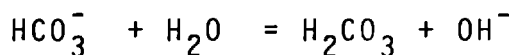
A continuación se hace un análisis de los agentes y/o factores que tienen su influencia en los cambios del PH:

a) El CO_2 y sus derivados.- Para la mayoría de las aguas naturales la magnitud del PH depende fundamentalmente de la correlación de las concentraciones de ácido carbónico y sus derivados.

La disociación del ácido carbónico en el agua dando como resultado la formación de iones hidrógeno y carbónico es la siguiente:



En el agua en estado natural los iones HCO_3^- se producen principalmente, no por disociación del H_2CO_3 sino como resultado de la hidrólisis de los carbonatos $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ y $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ presentes frecuentemente, los cuales dan lugar a mayores proporciones de HCO_3^- disminuyendo por tanto el H^+ (aumento del PH), es decir conducen a la formación de una Reacción Básica con el aumento de iones OH^- como se muestra en esta ecuación de hidrólisis:



por esta razón, para las aguas superficiales en las cuales el contenido de CO_2 no es muy grande se tendrá

una reacción básica característica. A pesar de todo, en el caso de que exista una gran cantidad de CO_2 y relativamente poca cantidad de HCO_3^- , el PH puede ser menor de 7.0, basándose en la ecuación de disociación del ácido carbónico en concentraciones de 1 m.ml/lt. de CO_2 (44 mg CO_2 /lt). Todas las aguas cuyos contenidos de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ menor de 3 mg-Ey/lt (183 mg CO_3 /lt), tienen PH menor que 7.0 para aguas con pequeño contenido de HCO_3^- (menor de 1 mg-Ey/lt) es suficiente 0.3 m. mol de CO_2 para que el PH sea menor que 7.0 en presencia de pequeñas cantidades de HCO_3^- , la magnitud del PH aumenta. Para el agua natural, cuyo CO_2 alcanza un equilibrio con la atmósfera, el PH alcanza 8.3. Si el contenido de HCO_3^- es menor de 1 mg-Ey/lt. las magnitudes de PH mayores que 8.5 serán inestables. Aquellos valores son frecuentes para las horas del día en el período de verano cuando tiene lugar un consumo acelerado en CO_2 del agua a expensas de la vegetación.

La circunstancia analizada guarda consecuentemente una buena relación con el caso que se estudia, puesto que los valores representativos de PH están en aquel rango de "equilibrio" también aseguran una estabilidad de un

modo general se puede deducir la existencia de pocas - cantidades de CO_2 .

- b) **Acidos Humicos Orgánicos.**- Constituyen otra fuente de iones hidrógeno en el H_2O , estos ácidos están presentes en los suelos acidos, en las ciénegas y en los bosques donde hay vida orgánica en destrucción.

Esta circunstancia última es de una gran trascendencia, pues en la época en que se realice el embalse el agua inundará una zona grandemente poblada de árboles y plantas cuya descomposición originará la producción de grandes cantidades de ácidos orgánicos y CO_2 los cuales podrían neutralizar y quizá hasta transformar el medio básico antes existente en un predominio de acidez (PH menor que 7.0).

- c) **Salas de los metales pesados.**- La hidrólisis de las salas de los metales pesados son la tercera fuente de iones hidrógeno y tiene significación en condiciones específicas, cuando al agua llegan considerables cantidades de sulfato de hierro, de aluminio, cobre y de otros. En estos casos, en la hidrólisis por ejemplo del sulfato de

hierro, se desprenden Iones Hidrógeno.



Esta especulación es puramente teórica, pues no se han determinado los componentes químicos del agua.

Existen también otras fuentes de PH de menor importancia y que no son anotadas.

Finalmente y de acuerdo a lo expuesto se puede considerar que el yeso denominado Selenita (de acuerdo a la fórmula) existente en la zona del muro de la presa sería muy poco atacado por las aguas del Río Valdivia, pero esto solo en una primera instancia ya que existe la evidencia mencionada en el punto b) mediante la cual el problema de disolución sería un hecho. Dadas las circunstancias para las cuales se hace el presente análisis están orientadas al aspecto de disolución del yeso, el problema geotécnico que conlleva sería crítico, sin embargo las características geológicas del yeso (estudiadas por M. Santos) determinan que ese sulfato es poco

frecuente y por tanto si hubiere tales reacciones la magnitud de efectos no pasaría a constituirse una objeción.

10. MATERIALES DE CONSTRUCCION

Este capítulo está dedicado al análisis y recopilación de datos procedentes de las prospecciones, otros estudios de campo y la información que se puede obtener en los Anexos A y B de propiedad del INERHI.

Las gravas y arenas, conocidos también como áridos para hormigón complementan el estudio de materiales de construcción y se muestran en el numeral 11.1 y los subsiguientes de la tesis de grado de mi compañero de investigación.

10.1. ARCILLAS

Se trata del estudio de los materiales finos que van a servir de reductores de permeabilidad en el embañse. - Las arcillas serán puestas en el corazón del muro, en tanto que arcillas limosas y limos formarán otras capas del cuerpo de dicho muro y parte de las ataguías.

10.1.1. Localización

Como ya se anotó anteriormente, gran parte del área del vaso está cubierta de material aluvial el cual eviden

temente contiene los materiales en cuestión. Arcillas con características favorables pueden ser ubicadas en un área delimitada por la margen derecha del río, el sitio destinado para muro y unos 500 metros de fondo, esto es, en el vaso. A este respecto el INERHI ha ubicado préstamos de arcillas, los cuales están indicados en el plano 101-V11-125 que corresponde al libro de memorias y Anexo B. La variedad llamada tipo C, la cual está constituida por una mezcla de arcillas y limos, también puede ser extraída del vaso y se encuentran ubicadas en el mismo plano de préstamos.

1.2. Propiedades Físicas y Mecánicas

Para la investigación que estoy desarrollando, se efectuaron únicamente pruebas de campo superficiales, y breves, puesto que existen análisis de laboratorio, realizados para los informes del INERHI. En tal virtud se anota a continuación lo que aparece en el Anexo A y el capítulo correspondiente a materiales de construcción.

Los suelos arcillosos fueron clasificados mediante ensayos de plasticidad Proctor Standard y se encontró que

la humedad natural varía entre 24 y 29 por ciento. El ensayo indicó que las arcillas eran de alta plasticidad - (CH) variando el límite líquido entre 62 por ciento y 72 por ciento y el índice plástico entre 33 por ciento y 43 por ciento. En promedio el Límite Líquido fue de 66 por ciento y del límite plástico 37,6 por ciento. Los ensayos proctor Standard de los materiales arcillosos del préstamo, indicaron que la humedad óptima variaba entre 30 y - 32 por ciento con un promedio de 31,8 por ciento y el peso volumétrico máximo seco varió de 1.365 a 1.425 Kg/m³, con un promedio de 1.410 Kg/m³, sin embargo, se espera - que algunas capas arcillosas tengan valores ligeramente más bajos respecto al peso volumétrico máximo, por lo que se adoptó para los efectos del cálculo un valor bajo que correspondía alrededor del 95 por ciento de compactación del Proctor Standard.

Se realizaron ensayos cortantes rápidos y consolidados de muestras remoldeadas, con una compactación ligeramente inferior al 95 por ciento. En las pruebas rápidas la cohesión fue ligeramente superior a los 0.5 Kg/cm², debido a sus características mineralógicas, muy particulares de la región, por lo que se adoptó en el análisis -

0,5 Kg/cm², para el esfuerzo cortante con un ángulo de fricción cero. La prueba consolidada rápida, mediante el ensayo de corte directo, resultó un ángulo de fricción de 29° y la cohesión alrededor de 0,18 Kg/cm².

Los depósitos de arcillas presentan dos variedades: una fuertemente expansiva, la que fué desechada para los análisis y otra, con mediana a baja capacidad de expansión. Estas arcillas, por la experiencia que se tiene al respecto pueden comprimirse de 1 a 1,5 por ciento del espesor por peso propio, en el rango de presiones del proyecto, a una humedad cercana a la última.

Otros suelos que deberán ser empleados en la construcción de la presa fueron así mismo ensayados y corresponden a una amplia variedad del tipo (c), es decir, arcillas limosas y limosas y limos arcillosos y arenas limosas cuya humedad óptima y peso volumétrico máximo seco Standard tiene valores promedio de 1.500 Kg/m³ y humedad 23 por ciento generalmente tienen un ángulo de fricción cercano a los 29° y una cohesión de 0,1 Kg/cm², compactado previamente al 96 por ciento de compactación, en una prueba rápida consolidada de 24 horas de consolidación.

11. DISCUSION, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

(CON LA DIRECTA COLABORACION DE M. SANTOS)

11.1. MURO

† Las presas de hormigón, en general, requieren de fundaciones en roca de buena calidad, principalmente en lo que se refiere a la capacidad portante de la roca. Las presas de tierra (como la de Valdivia) no necesitan del mismo grado de calidad de fundaciones. La orientación de planos de discontinuidades, tales como la estratificación es también un factor condicionante para la cimentación del Muro, pues generalmente la resistencia de la roca es mayor, perpendicular a las discontinuidades y disminuye considerablemente a lo largo de las mismas. ✕

En la zona donde se piensa construir el muro de la presa de Valdivia, las rocas tienen una calidad aceptable, que en su mayoría son conglomerados y areniscas ; y, lutitas. Los conglomerados que son muy compactos y cementados a tal punto que el martillo de Geólogo no los penetra, más aún, se tiene conocimiento de la dificultad que se tuvo para efectuar las perforaciones y excavaciones, lo cual prueba que poseen las mejores características para fundación, pudiendo considerárseles como impermeables; en las areniscas,

cuando su permeabilidad es alta, su utilización como material de fundación es comprometida, pero los valores de permeabilidad obtenidos en el área de estudios varían de 10^{-3} a 10^{-6} cm/seg., además su grado de compactación es relativamente bueno. Las lutitas, dan la apariencia de tener un buen grado de consolidación, aunque no se descarta la idea de que puedan haber asentamientos, pero que serán de poca magnitud dado la menor potencia de los estratos de las mismas y que por tanto no incidirán mayormente en la estabilidad del muro.

Las fallas, f_5 y f_5' que cruzan el muro de la presa, son de proporciones mínimas, una de ellas la f_5 tiene su abertura rellena de arcilla y carbonato de calcio. Es posible que el carbonato se disuelva y que ocurran infiltraciones, pero esto va a depender de la profundidad de ellas, de las fallas. Debido a su pequeña magnitud es probable que no se extiendan mayormente en profundidad. Aún más, existe la posibilidad de las fallas f_5 y f_5' no sean tales, sino únicamente diaclasas de tensión originados por esfuerzos regionales.

La inclinación de las capas, no excede los 16° hacia

el Oeste (rumbo N-S), en donde los esfuerzos debidos al peso del muro serían casi perpendiculares a estas discontinuidades, condición apropiada para su fundación; y, aunque esta inclinación es hacia un costado de la presa que permitirían infiltraciones del agua del embalse, los resultados de los ensayos de permeabilidad compensan esta situación, pues los valores son bajos; y, las pérdidas serán también bajas.

Al momento de excavarse la trinchera del muro, deberá considerarse la existencia del paleocanal, en la medida en que, el material que rellena dicha estructura deberá ser sacado íntegramente, esto es, el nivel de excavación estará un par de metros más abajo que la cota del fondo del paleocanal (cota 28 metros).

La estabilidad de taludes, tanto del cuerpo de la presa como de los taludes de excavación viene dada por los análisis que han determinado un factor de seguridad mayor que 1.3 (ver sección transversal de la presa, plano N° 2).

La existencia del yeso, de acuerdo a los estudios efectuados, no será un impedimento para la construcción del embalse.

En conclusión las consideraciones geológicas y geotécnicas desarrolladas en esta investigación indican que la construcción del muro es factible.

11.2. ESTRIBOS

11.2.1. Estribo de la Margen Derecha del Río

Como se discute en el numeral 10.1 (tesis de M. Santos), las características de la roca en este estribo, a excepción de los lentés de conglomerados muy compactos, no son muy apropiadas, debido a su excesiva meteorización que le dan un aspecto delesnable, acentuado más en las areniscas que en las lutitas (que están en menor volumen). Sin embargo, estas observaciones que fueron hechas en los afloramientos existentes, pueden no encontrarse en la roca no aflorante. * Por este motivo es necesario "limpiar" este estribo cuando se decida construir la presa, hasta tener roca sana o inalterada.*

La estratificación en este estribo no está orientada favorablemente, pues el buzamiento de las capas es hacia el Oeste (15° como máximo); pero, de acuerdo a los resultados de los ensayos de permeabilidad, se podría considerar que las filtraciones serán menores. El yeso también se pre

senta aquí, pero, debido a su escasa cantidad, no ocasionará mayores filtraciones en caso de que se disuelva.

11.2.2. Estribo de la Margen Izquierda del Río

Las características geológicas de este estribo fueron mencionadas ya en los numerales 10.1.1. y 10.2; (Tesis de M. Santos); es decir, la roca aflorante de conglomerados muy compactos, areniscas y lutitas; la falla f_5 normal; el material suelto que recubre la roca, etc.

Aquí, las rocas están en mejores condiciones que en el estribo derecho ya que los efectos de meteorización han sido menores, pero en todo caso se hace necesario "limpiar" este sector hasta encontrar la roca sana, previo a la ejecución del Proyecto.

* Otro aspecto importante y que también fué discutido en párrafos anteriores es la estabilidad de talud. Debido a que la inclinación de los estratos es hacia el vaso y muro de la presa, es posible que se produzcan deslizamientos a lo largo de la estratificación por efectos del aumento de la presión de poros, cuando el embalse adquiriera ciertos ni

veles de agua. Por este motivo se hace necesario realizar ensayos en seco y húmedo de resistencia al corte de la masa rocosa, para evaluar este posible deslizamiento, aunque vale acotar aquí que el buzamiento de las capas que nó excede los 15° hacia el Oeste aparentemente no sería de mayor peligro.

11.3. VERTEDEROS

El único vertedero a construirse de acuerdo a la planificación del INERHI, parte de un costado del estribo de derecho, cuya cresta tiene la cota 46.50 hasta empalmarse con el cauce del río, y será revestido de hormigón, desde luego con un diseño técnico del canal y perfil del vertedor de tal forma que se evite la destrucción del vertedero a partir de su parte terminal, por la erosión sucesiva del suelo que sería provocada por la caída del agua.

Este vertedero estará asentado en roca en la parte más alta, y en suelo aluvial en la más baja. Para lo primero, tendría que excavarse la roca delesnable hasta tener roca fresca de mejores condiciones; y para lo segundo, es necesario realizar ensayos de expansión para tomar las medidas preventivas en caso de que el suelo sea

compactado a un mínimo del 95% del Proctor modificado hasta una profundidad de por lo menos 50 cm. abajo de la superficie inferior del concreto de revestimiento.

11.4. VASO

En esta parte de la Presa es quizás donde no existan mayores problemas. Los resultados de los ensayos de permeabilidad tipo Lefranc, con valores inferiores a 10^{-4} cm/seg. indican que las pérdidas por infiltración serán mínimas. Las estructuras presentes, tales como el cauce fósil del río; y, las pequeñas fallas halladas en el estribo de la margen izquierda del río y las del muro de la presa, que podrían proyectarse hacia el vaso, no incidirán en mayor grado.

En lo referente a los taludes del vaso se puede decir en términos generales que el talud de menor estabilidad será el izquierdo, en virtud de que el buzamiento de los estratos rocosos, está en el mismo sentido que la pendiente topográfica, pero como ya se anotó anteriormente el buzamiento de los estratos es poco pronunciado al igual que la pendiente. Merecen especial atención los taludes cercanos al estribo izquierdo en donde la pendiente topo-

gráfica (que es también suave) casi todas las áreas que comprenden los taludes del vaso están cubiertas por una gruesa capa de suelo que disminuirá notablemente la fuga de agua y sobre todo en el estribo derecho y en el cual las capas buzan afuera del embalse.

12. MAPAS, PLANOS CUADROS Y ANEXOS

12.1. MAPAS

MAPA N° 1. Mapa de Ubicación

MAPA N° 2. Mapa de Drenaje y Líneas de Vuelo

MAPA N° 3. Geología en la Cuenca de drenaje parcial del río Valdivia.

MAPA N° 4. Estructuras (fallas y pliegues) en la cuenca de drenaje del río Valdivia.

MAPA N° 5. Geología local del área del proyecto y localización de los trabajos prospectivos.

MAPA N° 6. Curvas de Isoresistividades

12.2. PLANOS

PLANO N° 1. Geología del Muro

PLANO N° 2. Sección transversal típica de la presa

12.3. CUADROS

CUADRO N° 1. Corte Estructural (parcial) del Muro

CUADRO N° 2. Correlación estratigráfica de los Sondeos.

CUADRO N° 3. Análisis de Estabilidad de taludes TN-1 y TN-2.

CUADRO N° 4. Análisis de Estabilidad de taludes TN-3

13.4. ANEXOS

ANEXO N° 1. Perfiles geofísicos de Resistividad aparente.

ANEXO N° 2. Registro de las perforaciones:

Pv-2, Pv-3, Pv-4, Pv-6, Pv-9, Pv-11, Pv-14 y
V-7, V-8.

ANEXO N° 3. Pruebas de permeabilidad y penetración del PO
ZO Pv-2.

ANEXO N° 4. Análisis granulométrico.

PROSPECCION GEOFISICA

PERFIL P₁R₁

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	4.5	13.0	resistividad alta
20	6.4	9.0	
30	7	8.0	
40	7	8.0	
50	9	6.0	
60	7.5	8.0	
70	6.6	9.0	

PERFIL P₂R₂

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	9	6.0	
20	10	6.0	
30	9	6.0	

PROSPECCION GEOFISICA
 PERFIL P₃R₃

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHCS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.- METRO	OBSERVACIONES
10	10	6.0	
20	10	6.0	
30	20	3.0	
40	8	7.0	
50	7	8.0	
60	6.3	9.0	
70	8	7.0	
80	6	10.0	
90	4.0	12.0	resistividad alta
100	7	8.0	

PROSPECCION GEOFISICA
 PERFIL P 4 R 4

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	10	6.0	resistividad alta
20	5	12.0	
30	6.3	9.0	
40	6	10.0	
50	7	8.0	
60	8	7.0	
70	8.4	7.0	

PERFIL P 5 R 5

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	5.8	10.0	

PROSPECCION GEOFISICA

PERFIL P6 R6

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	7.6	8.0	
20	10	6.0	
30	12.4	5.0	resistividad baja
40	11	5.0	

PERFIL P7 R7

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	14	4.0	resistividad baja

PERFIL P8 R8

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	9.5	6.0	
20	10	6.0	
30	8.5	7.0	
40	8.2	7.0	
50	7	8.0	
60	7	8.0	
70	6.8	8.0	
80			

PROSPECCION GEOFISICA

PERFIL P₉R₉

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	6.8	8.0	
20	6.7	9.0	
30	6.1	9.0	
40	7.4	8.0	
50	8	7.0	
60	11.5	5.0	
70	10.5	5.0	
80	11.5	5.0	
90	10	6.0	
100	11	5.0	

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	11.5	5.0	
20	10.5	5.0	
30	9.6	6.0	
40	9.6	6.0	

PROSPECCION GEOFISICA

PERFIL P₁₁ R₁₁

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	5.2	12.0	
20	4.7	12.0	resistividad alta
30	4.9	12.0	
40	6.4	9.0	
50	4.95	12.0	
60	5.7	10.0	
70	4.8	12.0	
80	6.1	9.0	
90	7	8.0	
100	8.5	7.0	
110	12.7	5.0	
120	17.8	3.0	resistividad baja
130	19	3.0	resistividad baja
140	18.5	3.0	resistividad baja

P E R F I L P 12 R 12

DISTANCIA METROS	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	4.7	12.0	resistividad alta
20	5	11.0	resistividad alta
30	6.1	9.0	
40	5.2	10.0	
50	5.6	10.0	
60	6.8	8.0	
70	7.8	7.0	
80	7.5	8.0	
90	8.8	7.0	
100	8.9	6.0	
110	8.7	7.0	
120	11	5.0	resistividad baja
130	10.7	5.0	resistividad baja
140	11.5	5.0	resistividad baja
150	10.2	6.0	resistividad baja
160	12.2	5.0	resistividad baja
170	13.8	4.0	resistividad baja
180	12.5	5.0	resistividad baja
190	13	4.0	resistividad baja
200	15.8	4.0	resistividad baja
210	14.5	4.0	resistividad baja
220	17	3.0	resistividad baja
230	16	4.0	resistividad baja
240	16.5	3.0	resistividad baja

PROSPECCION GEOFISICA

PERFIL P 13 R 13

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	11	5.0	
20	7.2	7.0	
30	7.3	7.0	
40	7.2	7.0	
50	6.3	6.0	

PERFIL P 14 R 14

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	10	6.0	
20	5.8	10.0	
30	9.5	6.0	
40	4.6	13.0	resistividad alta
50	6.9	8.0	
60	4.8	12.0	
70	5.2	11.0	
80	3.7	16.0	resistividad alta
90	3.3	17.0	resistividad alta
100	4.6	13.0	resistividad alta
110	3.6	16.0	resistividad alta
120	3.6	16.0	resistividad alta

PERFIL P 14 R 14

OBSERVACIONES

CONDUCTIVIDAD RESISTIVIDAD APARENTE
MHOS OHMS.-METRO

DISTANCIA METR	130	140	150
CONDUCTIVIDAD MHOS	9.1	7.7	2.7
RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	6.0	7.0	21.0

resistividad

PERFIL P 15 R 15

OBSERVACIONES

CONDUCTIVIDAD RESISTIVIDAD APARENTE
MHOS OHMS.-METRO

DISTANCIA METRO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
CONDUCTIVIDAD MHOS	9.5	200	200	8	9.5	10	3.7	11	11.5	11	11.5	11	9	9.5	9.5	8.5	8.5
RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	6.0	0.3	0.3	7.0	6.0	6.0	16.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0	7.0	7.0

resistividad muy baja
resistividad muy baja

PROSPECCION GEOFISICA

PERFIL P 16 R 16

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	6	10.0	
20	8	7.0	
30	8	7.0	
40	200	0.3	resistividad muy baja
50	200	0.3	resistividad muy baja
60	9	6.0	
70	8.5	7.0	
80	7	8.0	
90	7	8.0	
100	2	29.0	resistividad alta
110	10	6.0	
120	9	6.0	
130	5	12.0	resistividad alta
140	4	14.0	resistividad alta
150	1.9	30.0	resistividad alta
160	200	0.3	resistividad muy baja
170	4.5	13.0	resistividad alta
180	7	8.0	
190	7	8.0	
200	7	8.0	

PROSPECCION GEOFISICA

PERFIL P 17 R 17

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSEVACIONES
10	15	4.0	resistividad baja
20	15	4.0	resistividad baja
30	15	4.0	resistividad baja
40	15	4.0	resistividad baja
50	15	4.0	resistividad baja
60	15	4.0	resistividad baja
70	15	4.0	resistividad baja
80	15	4.0	resistividad baja
90	15	4.0	resistividad baja
100	15	4.0	resistividad baja
110	16	4.0	resistividad baja
120	17.5	4.0	resistividad baja
130	17.5	4.0	resistividad baja
140	17.5	3.0	resistividad baja
150	1.45	40.0	alta resistividad
160	20	6.0	

PROSPECCION GEOFISICA

PERFIL P₁₈ R₁₈

DISTANCIA METROS	CONDUCTIVIDAD MHOS	RESISTIVIDAD PARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
10	10.1	6.0	
20	10.1	6.0	
30	10.4	6.0	
40	10	6.0	
50	9.6	6.0	
60	9.6	6.0	
70	200	0.3	resistividad muy baja
80	8	7.0	
90	19	3.0	
100	1.55	37.0	
110	6	10.0	
120	200	0.3	resistividad muy baja
130	0.37	15 0.0	resistividad muy alta

PROSPECCION GEOFISICA

PERFIL P 19 R 19

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MHOS 4.7	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO 12.0	OBSERVACIONES
20	6.5	9.0	
30	5	12.0	resistividad alta
40	2.7	21.0	resistividad alta
50	200	0.3	resistividad muy baja
60	4.4	13.0	resistividad alta
70	5	12.0	resistividad alta
80	200	0.3	resistividad muy baja
90	2.89	20.0	resistividad alta
100	10	6.0	
110	4.5	13.0	
120	200	0.3	resistividad muy baja
130	5	12.0	resistividad alta
140	3.5	16.0	resistividad alta
150	4.5	13.0	resistividad alta
160	0.68	85.0	resistividad muy alta

PROSPECCION GEOFISICA

PERFIL 719 R.9

DISTANCIA METRO	CONDUCTIVIDAD MEIOS	RESISTIVIDAD APARENTE OHMS.-METRO	OBSERVACIONES
170	5	12.0	resistividad alta
180	2.9	20.0	resistividad alta

No. de muestra: 1011110
 Perfil: 11 V-1
 C. de muestra: 11
 Muestra: Magima ACKER
 Profundidad: 11 m

F. T. ELEVACION	DESCRIPCION
	Arcilla - limosa con capa vegetal, café - gris.
1.00 2.00	Arenisca grano fino café a amarillo, café-rojizo con vetas de lutita y algunos lentes de yeso.
3.00 4.00	
5.00 6.00	Lutita estratificada con arenisca de grano fino café amarillo y café-rojizo y algunos lentes de yeso, seca. De 6.27 a 6.42 m aparece una veta de arena gruesa a media con gravillas.
7.00	
8.00 9.00	

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Proyecto..... *147111A*
 Perforación..... *PV-1*
 Sección.....
 Tipo de perforación..... *Magnum Acero*
 Elevación..... *47.61* Nivel Pre.....

Profundidad M.	Elevación M.	LUGAR DE MUESTRA	DESCRIPCION	CICLONACION
10.00				
11.00				
12.00				
13.00				
14.00				
15.00				
16.00				
17.00				
18.00				
19.00				
20.00				
21.00				
22.00				
23.00				
24.00				
25.00				
26.00				
27.00				
28.00				
29.00				
30.00				

Lutita café-verdosa
FIN Perforación

PERFIL LITOSTRATIGRAFICO

VALDIVIA

1907 27/69

PV-2

EJE CIERRE COL

Coordenadas:
Escala de perforación: máquina ACKER 106 65 - 1 L. - 106 100

Elevación: 35.22

Profundidad P. E.	Litología E.	DESCRIPCION				
200		Arcilla-limosa con capa véce tal café-gris				
300	1	Lit. café, seca con algunas grasillas y vetas de caliza en polvo y capitas de arenisca y coloraciones café-amarilla				
400	2					
500	3					
600	4					
700						
800	5					
900						

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Proyecto..... VALDIVIA Fecha..... Mayo

Perforación N°..... PY-14 Localización.....

Coordenadas: X..... Y.....

Tipo de perforación..... Máquina ACKY Inspector.....

Elevación..... Nivel Práctico..... Hoja N°.....

Elevación	Elevación	MUESTRA	DESCRIPCION	CONSERVACIONES
15.73			se encuentra la arenisca compacta y dura.	
17.76	6		Fin Perforación.	

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Proyecto..... VALDIVIA Fecha..... Mayo 1969
 Perforación N°..... PV-3 Localización..... C. P. 21990
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... Máquina Acker Inspector.....
 Elevación..... 21.95 Nivel Probico..... Hoja N°.....

Profundidad M. m.	Elevación M. m.	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
0		Gravilla-arenosa con gravas a 160 cementada con arcilla, café-amarilla seca.	
2.00			
3.00		Lutita estratificada con arcilla mista grano fino, plomo-ve- doso, café-rojizo, seca.	
4.00		Grava cementada con arcilla mista y lutita.	
5.00		Arexica de grano fino, blan- do, café-amarillo y colora- ciones blanquinosas (sales) y café rojizo seca	
6.00			
7.00		Desde 700 m. aparece estrati- ficada con lutita, dura.	
8.00			

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Proyecto..... *VALDIVIA* Fecha..... *Mayo 26/69*
 Perforación n°..... *PV-3* Localización..... *EJE CIERRE Carrizal*
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... *Waguna Acber* Inspector..... *Inc. G.S. - J.E. -*
 Elevación..... *4175* Nivel Probico..... Hoja n°.....

Profundidad M.	Elevación M.	ANCHO M.	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
		16	<i>Arenisca, etc...</i>	
10.00				
		7	<i>Gravillas cementadas con arcilla, húmeda, café o ma rillo.</i>	
11.00				
		7		
12.00				
		7		
13.00				
		9	<i>Arenisca de Gravo fino a me diana, algo húmeda, café-a marilla, café-rojiza.</i>	
14.00				
		16	<i>Lotita gris-oscuro con coloraciones café-rojiza, seca</i>	
15.00				
		11	<i>Arenisca de Gravo fino, gris oscuro, algo húmeda, está intercalada con lotita gris-ol</i>	
16.00				
17.00				

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Proyecto..... VALDIVIA Fecha..... 27 Mayo 7/69
 Perforación N°..... PV-4 Localización..... Cerro Caridad
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... Máquina Acker Inspector..... Inc. G.S. - J.L. -
 Elevación..... 2793 Nivel Preábrico..... 6.58 Hoja N°..... 2

Profundidad H. El.	Elevación El.	Observaciones	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
			Arcilla gris, seca con algunas gravas y gravillas	
100			Arcilla café-verdosa con vetas de sales, algo húmeda, con algunas gravas y gravillas.	
200			Arcilla café-verdosa con muchas macruzcos, algo húmeda, algunas gravas y gravillas.	
300			Arcilla amarilla fina, café-amarilla, con vetas de sales, espesura de 2.30 a 4.50m, con algunas gravas y gravillas.	
400			Grava de grano fino, húmeda, café-amarilla y café rojiza.	
500			Arcilla húmeda con vetas pequeñas de yeso.	
600			Grava gruesa de grano fino, café amarillo en vetas, con arena clara, húmeda.	

PERFIL INVESTIGATIVO

No. de Hoja..... 10014 Fecha..... 10/10/19...
 Performance No..... PU-4 Localización..... 1500 m...
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... Máquina Acker Inspector.....
 Elevación..... 2793 Nivel Freático..... 256 Hoja No.....

Profundidad H.	Observaciones	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
10.00	1-1 2-2	roca arenisca, etc...	
11.00	4		
12.00	5		
13.00	5-1	conglomerado, gris oscuro, debitosite cementado con arena.	
14.00	6		
15.00	7	arenisca de grano grueso firme, blanda, poco cementada, blanca, con gravillas, gris obs cura.	
16.00			
17.00	8		
17.68		conglomerado duro, cementado.	

PERFIL LITOLÓGICO

Proyecto..... *VILLAVIEJA* Fecha..... *Mayo 7/77*
 Perforación N°..... *TV-6* Localización..... *En el cerro Villavieja*
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... *Mano y Acker* Inspector..... *Ing. G. S. - J. E. - Ing. C. S.*
 Elevación..... *2827* Nivel Freático..... Hoja N° *1* de.....

Profundidad m.	Elevación m.	Muestra Símbolo	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
1.00			<p><i>arcillas arcillosas con algunos cantos rodados, algo de gravel y arena limosa y gravellos. Gris, gris-ama- rilla, húmeda.</i></p>	
2.00	1			
3.00	2			
4.00	3			
5.00	4			
6.00	5			
7.00	6			
8.00	7			
9.00	8			

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Proyecto..... VAL DIV 77 Fecha..... 11/11/77
 Perforación N°..... PY-6 Localización..... Estación 1001 de la
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... Máquina ACKER Inspector..... Valdivia 11-11-77
 Elevación..... 12.00 Nivel Freático..... Hoja N°..... de.....

Profundidad m.	Elevación m.	Muestra	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
12.00		9	Gravel arenosa arcillosa gris obscura, húmeda.	
11.00		10		
12.00		11		
13.00		12		
14.00		13	Arenisca grano fino, estrati- ficada con lotita, gris obs- cura con algunas gravas, húmeda.	
15.00		14		
16.00		15		
17.00		16		
18.00		17		
19.00		18		
20.00		19		

BOLETIN ESTADISTICO

Proyecto.....
 Corriente N°..... Localización.....
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... Inspector.....
 Elevación..... Nivel Freático..... Hoja N°..... de.....

Profundidad M.	Elevación M.	Muestra Litología	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
		15	Arenosa, etc.	
		16	Coque quemado.	
		17	Lolita con arenisca (capitas) con algunas gravillas, etc.	
		18	Arenosa con capitas de lutita y algunas gravas.	
			FIA ESCAVACION	

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Proyecto.....(VILLAVIEJA).....Fecha.....Mayo 19/67.....
 Perforación N°.....711-9.....Localización.....Las Alveas Car...
 Coordenadas: X.....Y.....
 Tipo de perforación.....Mojuna Mackey.....Inspector.....Ing. J. E. - Ing. L. C.
 Elevación.....34.26.....Nivel Freático.....Hoja N°.....de.....

Profundidad m.	Elevación m.	Metros CICLO D	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
1			Limo-arcillosa, seco, duro, habano	
2			Arcilla-limosa gris - habano, seca, dura	
3			Arcilla media o lco arcillosa, con algunos gravas, habano.	
4			Arcilla blanda gris-verdosa con algunos gravas y gravillas.	

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Proyecto..... Fecha.....
 Perforación N°..... Localización.....
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... Inspector.....
 Elevación..... Nivel Freático..... Hoja N°..... de.....

Profundidad	Elevación	Metros	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
			Arcilla, etc....	
			Gravas arenosas cementadas, con arena fina y arcilla gris verdosa.	
			Lutita gris, plomo-verdosa con coloraciones café-rojiza.	
			De 13.50 - 17.50 m. aparecen Gravas-arenosas cementada con lutita	
			Lutita color gris dura.	

REGISTRO ESTRATIGRAFICO

Proyecto: VALDIVIA Fecha:
 Perforación N°: PV-9 Localización:
 Coordenadas: A..... Y.....
 Tipo de perforación: Manera Helico Inspector:
 Elevación: 11.20 Nivel Freático: 6.20 Hoja N°: 20

M. Elevación	M. MESTRA MÉTRICO	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
		Lutita, etc	
		Arenisca bien dura.	
		Arenisca suave de grano fino	
		Fin Perforación.	

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Proyecto..... VALDIVIA Fecha.....
 Perforación N°..... PV-11 Localización.....
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... sondeo Inspector.....
 Elevación..... 3426 Nivel Freático..... Hoja N°.....

Profundidad m.	Elevación m.	Muestra SÍMBOLO	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
			Limo arcilloso-arenoso, café claro-amarillo, alternada con arcilla limosa-arenosa, café- amarillo, algunas gravas.	

LABORIO ESTADÍSTICO

Proyecto..... Fecha.....
 Exploración N°..... Localización.....
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... Inspector.....
 Elevación..... 34.26 m..... Nivel Freático..... Hoja N°..... de.....

Elevación m.	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
	Limo, etc.....	
	Arenilla con arenisca café-amarillo (transición)	
	Arenisca de grano fino, suave café-amarillo.	
	Lutita gris, seca, dura.	
	Arenisca bien dura, gris. Grava cementada con arenisca y lutita gris.	

FORMULARIO ESTRA GEOLÓGICO

Proyecto.....VALDIVIA.....Fecha.....Mayo 26/69.....
 Perforación N°.....PV-13.....Localización...............
 Coordenadas: X.....Y.....
 Tipo de perforación...............
 Elevación.....2412.....Nivel Freático...............Hoja N°.....de.....

Profundidad m.	Elevación m.	Muestra Símbolo	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
			Limo arcilloso, café-amarillo No se	
			Arena fina arcillosa, compacta con algunas gravillas, café-amarilla, algo húmeda.	
			Arcilla algo arenosa, dura. Gris-verdosa con gravillas y vetas de caliza, algo húmeda.	
			Arenisca grano fino y lutita café-amarilla con algunas gravilla (transición)	
			Arenisca de grano fino y ca petos de lutita verde se	

MEMORIAL ESTADÍSTICO

Proyecto..... VALDIVIA Fecha..... Mayo 26/69
 Perforación N°..... PV-13 Localización..... EJE CERRE Carriza
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... Wagner-Acker Inspector.....
 Elevación..... 34.12 Nivel Freático..... 6.20 Hoja N°.....

Profundidad m.	Elevación m.	Muestras S.M.O.L.O.	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
			ca. café-rojiza.	
10.00		6		
11.00		7		
12.00				
13.00		8		
14.00				
15.00		9		
		10	De 15.40 a 15.60 m. aparece una arenisca suave de 8 m. no gruesa a R. 40.	

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Proyecto..... VALDIVIA Fecha..... Mayo 26/69
 Perforación n°..... PY-13 Localización..... EJE CERRE Carriza
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... Wagner de Key Inspector.....
 Elevación..... 34.12 Nivel Freático..... 6.20 Hoja n°.....

Profundidad m.	Elevación m.	Muestra SINDOLO	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
			ca. café-rojiza.	
10.00		6		
11.00		7		
12.00				
13.00		8		
14.00				
15.00				
16.00		10	De 15.44 a 15.68 m. aparece una arenisca suave de gra no grueso a fino.	
			De 15.68 a 15.78 m. aparece una arenisca de grano grueso a fino gris.	
17.00			De 16.30 a 16.80 m. aparece gravillas aumentadas con lutita y arenisca, grano fino.	

FORMA ESTADÍSTICA

Proyecto.....*VALDIVIA*.....Fecha.....*Mayo 26/69*
 Perforación N°.....*PY-13*.....Localización.....
 Coordenadas X.....Y.....
 Tipo de perforación.....*Máquina Acker*.....Inspector.....
 Elevación.....*39.12*.....Nivel Freático.....*6.20*.....Hoja N°.....de.....

Profundidad m.	Elevación m.	Muestra Símbolo	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
			<i>Arenisca, etc.</i>	
			<i>Fin excavación</i>	

TRIESEL ESTADISTICO

Proyecto..... VALDIVIA Fecha.....
 Perforación N°..... PY-14 Localización.....
 Coordenadas: X..... Y.....
 Tipo de perforación..... Máquina Ackex Inspector.....
 Elevación..... Nivel Freático..... Hoja N° 1 de.....

Profundidad m.	Elevación m.	Metros CICLOS	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
			Arcilla-limosa y capa VEGETAL, café - gris, SECA.	
			Arcilla con algo de Grava, ca. café-amarillo, SECA.	
		1	Lutita compacta, seca, dura café amarillo-verdosa, con vetas pequeñas de ca- liza.	
		2		
		3	Arenisca de grano fino, oleo húmeda, compacta blanda, café-amarillo y coloraciones café-rojizo	
		4		
		5		

I N E R H I

Oficina Guayaquil

PERFIL ESTRATIGRAFICO

Proyecto.....*VALDIVIA*.....Fecha.....*Mayo 28/69*
 Perforación N°.....*PV-14*.....Localización.....*EJE cierre Carrizal*
 Coordenadas: X....., Y.....
 Tipo de perforación.....*máquina ACKET*.....Inspector.....*Ing. H.H - JE - Ing. L.N*
 Elevación.....*46.29*.....Nivel Freático.....Hoja N° *2* de *2*

Profundidad m.	Elevación m.	Muestra Símbolo	DESCRIPCION	OBSERVACIONES
10.40				
10.76	6	-	<p>A Las 10.71 la arenisca está muy dura. Fin Perforación.</p>	

Perforación: P-7 Localidad:
 Coordenadas: N E
 Tipo de perforación: Caliche
 Elevación: Nivel Medio

Profundidad m.	Elevación m.	DESCRIPCION	OBSERVACION
		Arcilla, café-gris, seca	p. 2 4/1000
		Branillas con granos de mañáctas con arcilla y arena fina y algunos capitos de totitas verdes	
		Limo-arcilla se. café-amarillo seco.	

Observaciones:

PLAN DE MUESTREO

Proyecto: Fecha:

Perforación N°: Localización:

Coordenadas: X: Y:

Tipo de perforación: *Calicata*, Inspector:

Elevación: Nivel Trazado: Cota N°:

Profundidad (m)	Elevación (m)	Elevación (m)	DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES
			<i>Limo-arcilloso, café-amarillo, seco</i>	<i>Se toman muestras.</i>
			<i>Gravillas cementadas con arcilla y arena fina, con algunas escamas de mica y poca arena.</i>	
			<i>Arena bien fina cementada con arcilla, amarilla-churo, algo seca</i>	
			<i>Arcilla, gris-café, seca</i>	
			<i>Limo-arcilloso, café-arcilla con arena, algo seco.</i>	

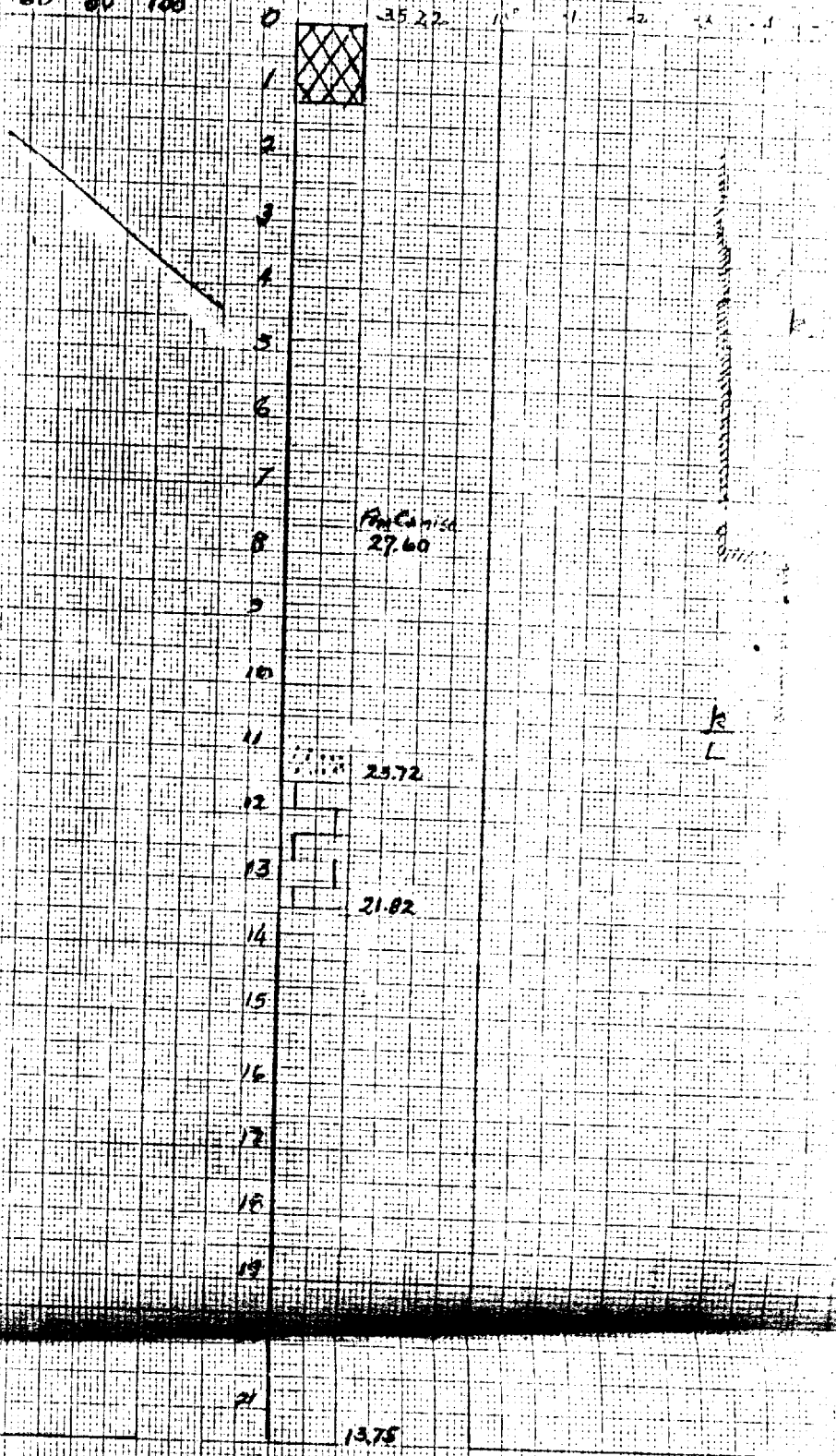
PRESA VALDIVIA Canal

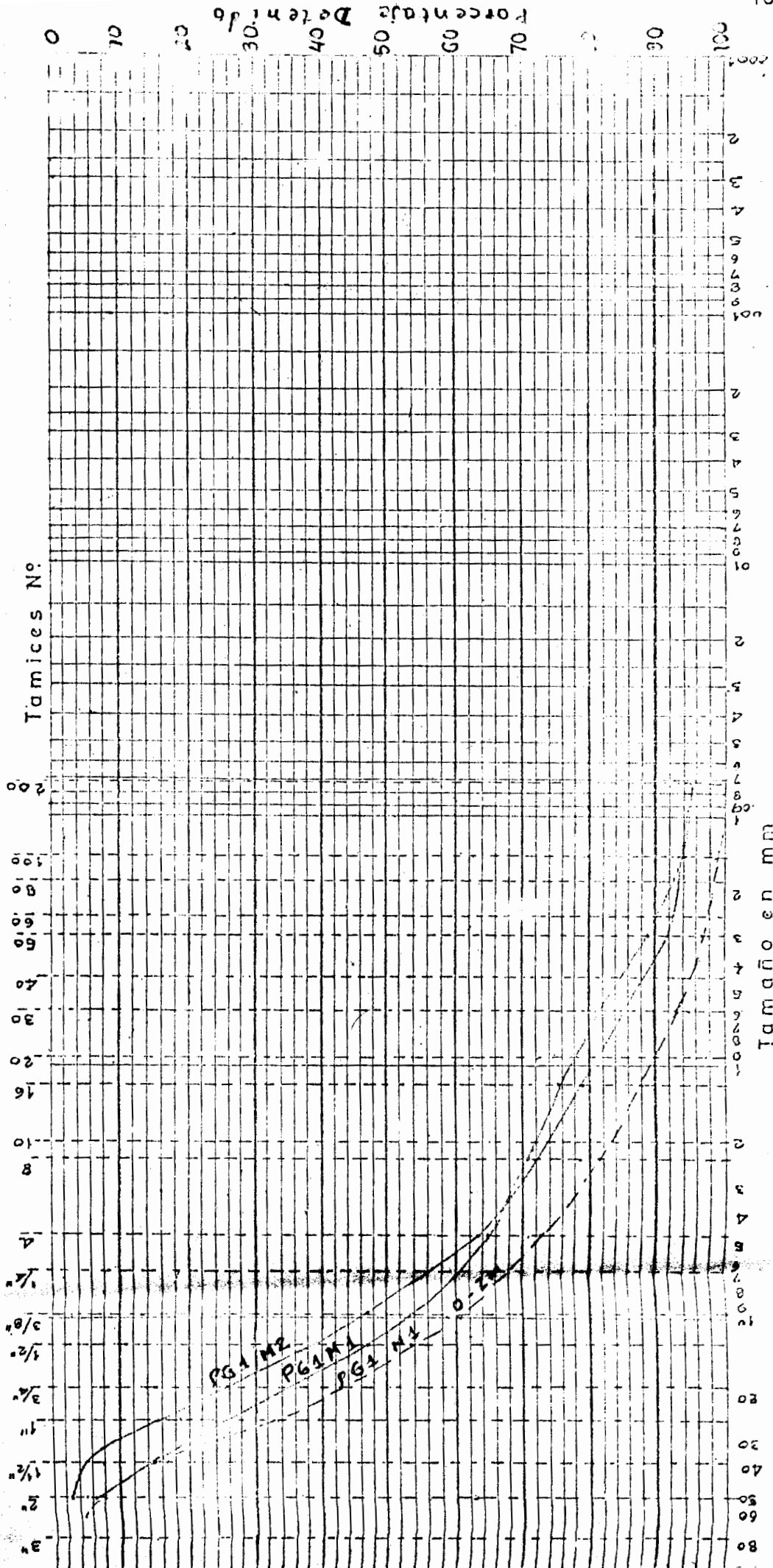
29-V-1

PV-2 Diámetro cámara 11"

Número de Golpes/pe
0 20 40 60 80 100

k
L





GRAVA ARENA LIMO ARCILLA

ANÁLISIS DE SUELOS

13. BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

1. Aguilera Ortiz E. 1973. GEOLOGIA DEL CUADRANGULO DELICIAS OLON (Tesis de grado, Cap. 4)
2. Alvarado R.B. 1971, P.S.U. Master's Thesis a PHOTO-GEO MORPHIC AND PHOTO-MORPHOTECTONIC INTERPRETATION OF THE NORTHEM BASIAN OF TRINIDAD, West Indies II y III.
3. Andre Bernard, 1969. INFORME GEOLOGICO DEL PROYECTO VALDIVIA (Anexo A y B).
4. Andre Bernard, 1970. INFORME GEOLOGICO DEL PROYECTO VALdivia.
5. ASSOCIATED RESEARCH INC. DETERMINING. The location and quantity of subsurface material (manual).
6. Bertrand Y., Julio 1967. LA PROSPECTION ELECTRIQUE APPLIQUEE A UX PROBLEMES DES PONTSET CHAUSSEES. Bullitin de Liaison des Laboratoires Routiers.
7. Billings P. Marland, 1972. STRUCTURAL GEOLOGY, Third - Edition, Chaps. 2, 3, 6, 7, 9, 19, 23.
8. Camperfort Henri, 1968. INYECCION DE SUELOS, Primera Edición, Ediciones Omega S.A. Barcelona III-10.

9. Castany C. TRATADO PRACTICO DE LAS AGUAS SUBTERRANEAS. Ed. Omega. Caps. 6, 17.
10. Catalhatic Construction Company, 1972. METODO DEL CAMINO CRITICO, Editorial Diana, México, Caps. 17,23.
11. Catalan Lafuente Jose G. 1969. QUIMICA DEL AGUA, Primera Edición, Editorial Blume, Cap. 137 pág. 143, Cap. 17 Pág. 269.
12. C.G.G. Compagnie Générale de Geophysique, Catalogue.
13. Deminson, John M. 1968. ANALISIS OF GEOLOGIC STRUCTURES
14. Grants West G.F. 1965. INTERPRETATION THEORY IN APPLIED GEOPHYSICS. Mc Graw Hill Book Company.
15. Heith Todd, David Ph. D. 1973. HIDROLOGIA DE AGUAS PA-RANINFO MADRID.
16. Hojfstelter R. 1956. LEXIQUE STRATIGRAPHIQUE INTERNATIONAL. Vol. V Amerique Latine, Paris.
17. Journal of Geophysics Research. Vol. 64, Vol. 65.
18. Jowers B., Jowers F., 1972. INTRODUCTION A LA MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES (Primera Edición. Cap. 3).

19. Kryning Dimitry P. William R. Judd, 1961. PRINCIPIOS DE GEOLOGIA Y GEOTECNIA PARA INGENIEROS. Omega S.A. Segunda Edición.
20. Krumbein Sloss, 1969. ESTRATIGRAFIA Y SEDIMENTACION. AID. México; 1ª Edición en español (2ª Ed. en Inglés) Cap. 4, 5 y 9.
21. L. M. de Sitter, 1970. GEOLOGIA ESTRUCTURAL, Editorial Omega, 2ª Edición, 9,13.
22. Martino R. L. 1974. DETERMINACION DE LA RUTA CRITICA (Tomo I) cuarta reimpresión, Edit. Técnica S.A. México Cap. 3, 4.
23. Martin P.L. 1970. PLANEACION DE OPERACIONES APLICADA (Tomo II) Segunda reimpresión. Edit. Técnica S.A. México.
24. Memorias y Anexo A PROYECTO VALDIVIA INERHI. Cap. V.
25. Memorias y Anexo B. 1970. PROYECTO VALDIVIA INERHI.
26. Ministerio de Industrias y Comercio, Servicio Nacional de Geología y Minas 1966. REPORTE GEOLOGICO DE LA COSTA ECUATORIANA.

27. Ministerio de Industrias y Comercio, Servicio Nacional de Geología y Minas. 1969. Mapa Geológico de la República del Ecuador (escala 1: 1.000 000) Quito.
28. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección Nacional de Geología y Minas, 1974. Mapa Geológico del Ecuador (1:100 000) hoja de Manglaralto, Quito.
29. Ministerio de L'E'quipement, Febrero 1967. Recommendations pour la Reconnaissance geologique et Geotechnique de tracés d'autoroutes.
30. Nettleton L.L. 1970, Geophysical Prospecting for Oil Mc. Graw Hill Book Company.
31. Parasnis, D.S. 1970. PRINCIPIOS DE GEOFISICA APLICADA. Paraninfo Madrid.
32. Parasnis, D.S. 1971. GEOFISICA MINERA PARANINFO MADRID.
33. Plata Antonio, 1972. ISOTOPOS EN HIDROLOGIA, 1ª Edición, Editorial Alambra S.A. Madrid. pág. 177-185.
34. Ragan M. Donald, 1968. STRUCTURAL GEOLOGY AN INTRODUCTION TO GEOMETRICAL TECHNIQUES. John Wiley & Sons, Inc.

lon. chapter 8, 13.

35. Roy A. and Appara O.A., 1971 act. de PTH OF INVESTIGATION IN INDIRECT CURRENT METHODS. National Geophysical Research Institut Hydernabad 7, A.P. India geophysics. Vol. 36 N° 5.
36. St. rard, Woodward, Ciziensky, Clevenger, 1967. EART - AND EARTH ROCK DAMS., Chapper I.1.2. Chapter 3,3.1, - chapter 7,7.4.
37. Stagg Zienkie Wicz W., 1968. ROCK MECHANICS IN ENGINEER ING PRACTICE. Chapper 2-2.3.
38. Spencer Edgar W. 1969. INTRODUCTION TO THE STRUCTURE OF THE EARTH. Mc- Graw Hill Book Company, part II; chap- ter 10 and 7.
39. Takeda H. 1969. INFORME DEL PROYECTO DE LA PRESA VALDI VIA, Quito.
40. Thimoshenko S. Godier J.N. 1951. TEORIA DE ELASTICIDAD.
41. Taylor Donald W., 1961. PRINCIPIOS FUNDAMENTALES DE ME CANICA DE SUELOS. Onceava Edición. Compañía Editorial Continental S.A. Cap. 6, 15, 16.

2. Tschibotarioff, G.P. 1967. MECANICA DE SUELOS, Aguilar S.A. Cuarta Edición, Cap. II, Cap. XI.