



# Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

Empleo de los métodos geofísicos en los estudios de factibilidad  
del proyecto hidroeléctrico "Aguamilpa" (alternativa colorines),  
Edo. de Nayarit.

## TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de

**INGENIERO GEOFISICO**

P r e s e n t a

**JUAN JOSE BRIONES GALVEZ**



México, D. F.

1984



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# I N D I C E

	PAGINA
RESUMEN . . . . .	1
I. INTRODUCCION . . . . .	2
I.1. Antecedentes . . . . .	3
I.2. Objetivos . . . . .	5
I.3. Geografía . . . . .	6
I.3.1. Localización y Vías de Comunica-- ción. . . . .	6
I.3.2. Clima . . . . .	6
I.3.3. Hidrografía . . . . .	7
I.3.4. Orografía . . . . .	8
I.4. Geología . . . . .	8
I.4.1. Fisiografía . . . . .	8
I.4.2. Geología del área de estudio . . .	8
II. EVALUACION DE SITIOS . . . . .	11
II.1. Etapas de Estudio . . . . .	11
II.1.1. Planeación . . . . .	11
II.1.1.1. Identificación . . . . .	12
II.1.1.2. Gran Visión . . . . .	12
II.1.1.3. Prefactibilidad . . . . .	13
II.1.1.4. Factibilidad . . . . .	14

	PAGINA
II.1.2. Diseño . . . . .	18
II.1.3. Construcción . . . . .	19
II.1.4. Operación . . . . .	19
II.2. Obras civiles de Proyectos Hidroeléc-- tricos. . . . .	20
II.3. Profundidad de Investigación en las di- ferentes obras civiles de Proyectos HI- droeléctricos . . . . .	25
II.4. Criterios de Evaluación . . . . .	26
III. FUNDAMENTOS DE LOS METODOS UTILIZADOS . . . .	30
III.1. Resistividad. . . . .	30
III.1.1. Conceptos Teóricos. . . . .	31
III.1.2. Resistividad Aparente. . . . .	32
III.1.3. Sondeo Eléctrico Vertical ..	33
III.2. Métodos Sísmicos. . . . .	34
III.2.1. Modelos de Refracción y con- tactos planos. . . . .	35
III.2.2. Caso de dos contactos irregu- lares en refracción. . . . .	37
III.2.3. Sismología en socavones. . . . .	38
III.2.3.1. Microsísmica. . . . .	38
III.2.3.2. Crossadit. . . . .	40
III.2.4. Sismología de Pozos. . . . .	41
III.2.4.1. Método Down-Hole. . . . .	41

IV	LEVANTAMIENTO E INTERPRETACION DE DATOS. . . . .	44
	IV.1. Sondeos Eléctricos . . . . .	44
	IV.1.1. Trabajo de Campo . . . . .	44
	IV.1.2. Interpretación . . . . .	44
	IV.2. Refracción Sísmica . . . . .	47
	IV.2.1. Trabajo de Campo . . . . .	47
	IV.2.2. Interpretación . . . . .	47
	IV.3. Sismología de Socavones. . . . .	48
	IV.3.1. Trabajo de Campo . . . . .	48
	IV.3.2. Interpretación . . . . .	49
	IV.4. Sismología de Pozos . . . . .	51
	IV.4.1. Trabajo de Campo . . . . .	51
	IV.4.2. Interpretación . . . . .	52
V.	CORRELACION GEOLOGICO GEOFISICA. . . . .	54
	V.1. Secciones Geoeléctricas. . . . .	55
	V.1.1. Secciones de Resistividad <u>Aparen</u> <u>te.</u> . . . . .	55
	V.1.2. Correlación Geológico-Geo <u>elétr</u> <u>í</u> <u>ca.</u> . . . . .	56
	V.1.3. Secciones Geoeléctricas. . . . .	56
	V.2. Métodos Sísmicos. . . . .	58
	V.2.1. Refracción Sísmica. . . . .	58
	V.2.2. Bancos de Agregados. . . . .	60
	V.2.2.1. Material Impermeable. . . . .	60
	V.2.2.2. Material Permeable. . . . .	61

PAGINA

V.2.3. Sismología de Socavones. . . . .	62
V.2.3.1. Microsísmica. . . . .	62
V.2.3.2. Método Crossadit. . . . .	63
V.3. Información Geológica y Geotécnica. . .	64
V.4. Integración de Resultados. . . . .	66
VI. CONCLUSIONES. . . . .	72
APENDICES	
- Apéndice A Método tiempo-retraso - - - - (Peters 1980). . . . .	75
- Apéndice B Programa en Computadora HP9845-B, Lenguaje Basic. JHOJA 3, para modelos geo- eléctricos. . . . .	83
- Apéndice C Programa en computadora HP9845-B, Lenguaje Basic. TIERET, calcula dos contac- tos ondulantes mediante sísmica de refrac- ción. . . . .	93
BIBLIOGRAFIA. . . . .	106

## RELACION DE FIGURAS ANEXAS

- FIG. I.- Localización del P.H. Aguamilpa alternativa Colorines.
- FIG. II.- Anteproyectos Materiales Graduados.
- FIG. III.- Anteproyectos Concreto Gravedad.
- FIG. IV.- Tipos de Cortinas.
- FIG. V.- Profundidad de exploración.
- FIG. VI.- Localización de líneas geofísicas en la alternativa Colorines.
- FIG. VII.- Perfil de resistividad aparente Sección GC - 6
- FIG. VIII.- Perfil de resistividad aparente Sección GC - 8
- FIG. IX.- Resistividad Aparente - Geología
- FIG. X.- Perfil geoelectrico de la Sección GC - 6
- FIG. XI.- Perfil de la Sección GC - 8
- FIG. XII.- Sección geofísica longitudinal de la planta hidro-- eléctrica subterránea.
- FIG. XIII.- Perfil de refracción sísmica sobre la sección GC-6
- FIG. XIV.- Perfil de refracción sísmica sobre la sección GC-8
- FIG. XV.- Plano de localización de materiales permeables e im permeables, ubicados con geofísica.
- FIG. XVI.- Plano de isopacas del BCO IV y IV' de material permeable y su ubicación.
- FIG. XVII.- Estudio sísmico para la estimación de las propiedades dinámicas dentro del socavón 6 (M.D.)
- FIG. XVIII.- Resultados de Crosadit mediante caracterización sísmica en los socavones 2, 4 y 6, sobre la línea 6 -- (margen derecha).

- FIG. XIX.- Dispositivo del método Down - Hole.
- FIG. XX.- Calidad de roca por geofísica
- FIG. XXI.- Perfil de calidad de la sección GC - 6
- FIG. XXII.- Perfil de calidad de roca sección GC - 8
- FIG. XXIII.- Sección E - E' de calidad de roca.

#### FIGURAS DEL APENDICE A

- FIG. 1.- Cálculo de Refracción
- FIG. 2.- Gráfica "Tiempo-Distancia"
- FIG. 3.- Gráficas
- FIG. 4.- Interpretación

## R E S U M E N

El presente trabajo describe la forma en que se aplicó Geofísica a la factibilidad del proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa Alternativa "Colorines".

Expone en forma breve las condiciones generales del área en estudio, tales como: Antecedentes, Objetivos, Geografía y Geología. -- Plantea las etapas de estudio que se llevan a cabo en un proyecto hidroeléctrico. Y analiza los métodos y técnicas geofísicas más adecuados en los levantamientos e interpretación de datos de campo.

Al hacer una integración de Geología, Geotecnia y Geofísica se concluye que las condiciones del macizo rocoso son buenas quedando cubierta de esta manera la etapa de factibilidad.

## I.- INTRODUCCION.

Teniendo presente la necesidad de fuentes generadoras de energía eléctrica, la Comisión Federal de Electricidad realiza una serie de estudios para seleccionar sitios favorables donde puedan ubicarse a las obras civiles que formarán parte de nuevas plantas Hidroeléctricas.

Los sitios seleccionados son evaluados mediante cuatro etapas; - - Planeación, Diseño, Construcción y Operación.

Un ejemplo reciente de ello es el estudio para el Proyecto Hidroeléctrico "Aguamilpa", Nay., donde la evaluación de la factibilidad para la construcción de una central Hidroeléctrica quedó determinada por las etapas de estudios anteriores.

Junto a la serie de estudios topográficos, geológicos e hidrométricos, necesarios en todas las etapas de estudios, cabe destacar la importancia de la exploración Geofísica, que interpreta las propiedades físicas de la tierra (velocidad de propagación de las ondas sísmicas, resistencia al paso de la corriente eléctrica, el potencial eléctrico natural, el magnetismo en las rocas, etc.) en términos geológicos y geotécnicos, permitiendo en muchos casos estimar la calidad de las rocas y localizar fallamientos, fracturas y cuerpos ígneos intrusivos. Esta información representa en general un -

importante apoyo dentro de los estudios del área en la que deberá realizarse la construcción de las obras civiles. La selección del sitio óptimo constituye el principal objetivo para el grupo interdisciplinario que enfrenta este tipo de problemas.

La prospección Geofísica, por otra parte, se está aplicando para resolver problemas de Hidrogeología, Geotermia, Minería, Arqueología, Ingeniería Civil e Hidrocarburos, mejorando sus técnicas notablemente en los últimos años debido a los grandes avances tecnológicos. En la práctica, no existe un método geofísico que sea único aplicable para un fin determinado, sino que se emplean varios de ellos para obtener resultados que puedan complementarse y se facilite la interpretación geológica de los datos.

#### I.1.- Antecedentes.

Dentro del proceso para el desarrollo de proyectos Hidroeléctricos en nuestro país, la C.F.E. inició en 1954 la etapa de identificación de sitios, estudiando entre ellos diversos estrechamientos del río Grande de Santiago, con el fin de precisar lugares que reunieran las condiciones mínimas necesarias para el establecimiento de centrales Hidroeléctricas.

A partir de 1957, en el nivel de gran visión se jerarquizan tres alternativas: Aguamilpa, Colorines y El Sordo.

El nivel de prefactibilidad consistió en la realización de estudios de tipo regional en estas alternativas. La alternativa Aguamilpa en una primera etapa fue estudiada de 1962 a 1973 mediante métodos directos: Geología Superficial, Socavones y Barrenos, - reanudándose los trabajos hasta 1978, cuando se hicieron nuevas exploraciones simultáneamente en las tres alternativas; esta vez aplicando también métodos indirectos: sísmico de refracción, eléctrico de resistividad y magnetométrico.

Como resultado de estos estudios se descartó la alternativa "Aguamilpa", debido principalmente al intenso fracturamiento que presentaban las rocas, cuyo tratamiento hubiera sido altamente costoso. Otra razón importante para su eliminación fue la falta de bancos de agregados cercanos, ya que eso también elevarían los costos de construcción.

Por otra parte, la alternativa "El Sordo" fue descartada debido en general a la mala calidad de la roca, originada principalmente por afallamiento, lo que produciría problemas durante la construcción e inestabilidad de las obras.

La alternativa Colorines no presenta las desfavorables condiciones de las otras dos alternativas y resulta ser la más viable, ya que en general nuestras rocas de buena calidad. La presente tesis refiere y analiza los estudios Geofísicos a nivel de factibilidad -

efectuados para la alternativa "Colorines".

## I.2.- Objetivos.

Uno de los objetivos principales de los métodos Geofísicos es la obtención de información confiable y suficiente para efectuar una interpretación geológica lo más cercano a la realidad, basándose tanto en los datos de campo como en el criterio del geofísico.

Con el fin de contribuir con los estudios geotécnicos que se llevaron a cabo para seleccionar los sitios donde quedarán instaladas las obras del proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, alternativa "Colorines", en la etapa de factibilidad, la exploración geofísica tuvo los siguientes propósitos:

- 1).- Determinar las condiciones geológicas generales de las rocas, a profundidad, donde deberán alojarse las obras según el diseño de Ingeniería Civil.
- 2).- Calcular y analizar las características geomecánicas de los macizos rocosos dentro de los socavones existentes.
- 3).- Estudiar los bancos de agregados que serán explotados durante la etapa de construcción, efectuando una cubicación de -

los mismos.

### I.3.- Geografía.

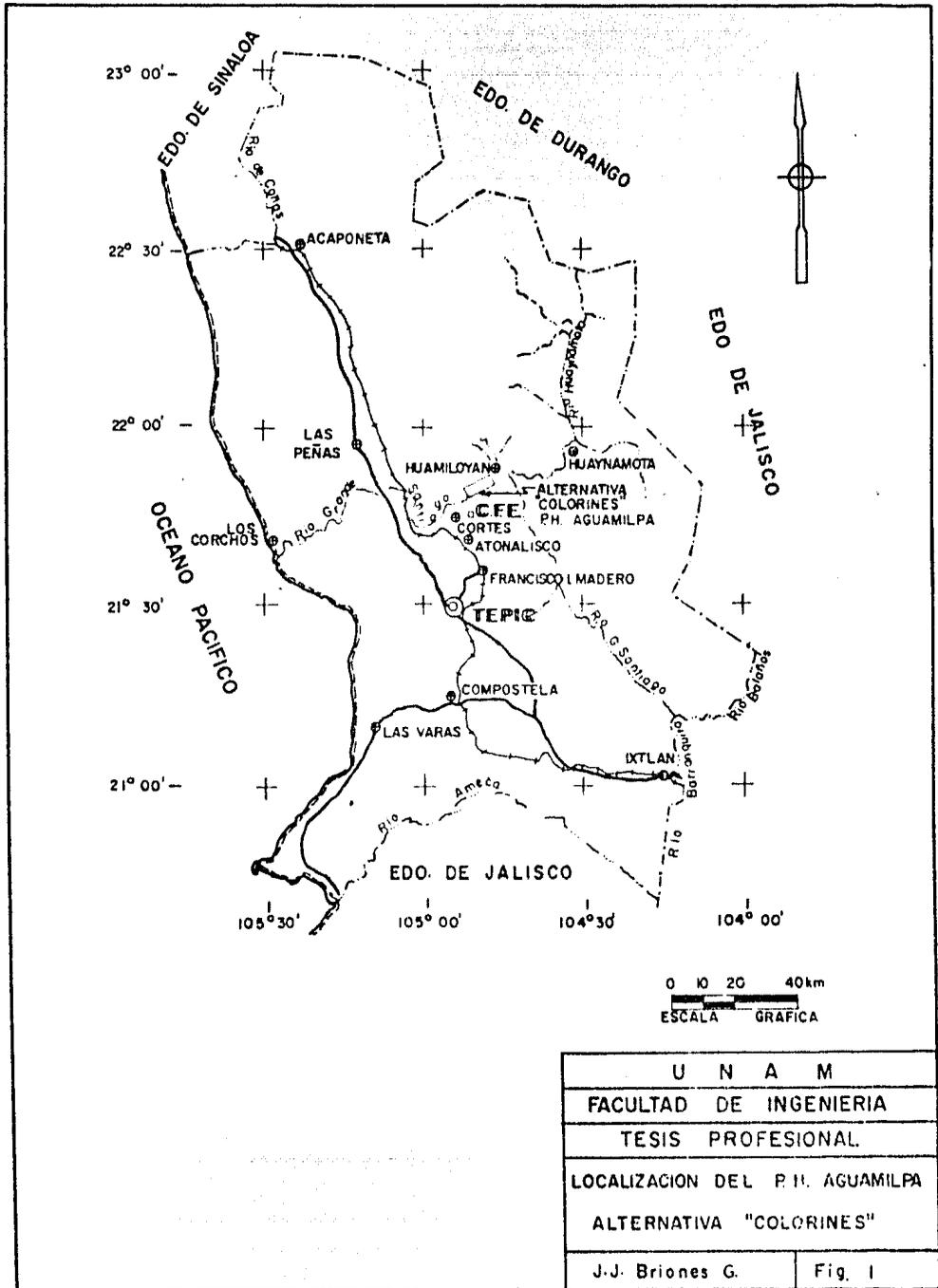
#### I.3.1.- Localización y vías de comunicación.

El presente estudio se realizó sobre la alternativa Colorines, una de las tres de que consta este proyecto, localizado en la hoja F - 14 G-21 de Detenal, siendo sus coordenadas geográficas: 21°50'17" de latitud Norte y 104°48'15" de longitud Oeste (Fig. 1).

Tiene comunicación con la ciudad de Tepic mediante la carretera -- Tepic-Ingenio Fco. I. Madero. Aproximadamente 2 Km. antes de llegar al Ingenio existe un camino de terracería que conduce al área de la alternativa Colorines, haciéndose en total un recorrido de 58km. la ciudad de Tepic cuenta con la carretera federal No. 15, - que la comunica con Puerto Vallarta, Jal., así como el Ferrocarril del Pacífico y servicio aéreo.

#### I.3.2.- Clima.

De acuerdo con la clasificación de Köepen, modificada por García - (Ortega et al., 1978), el clima del área es tropical con lluvias en verano, registrándose una temperatura media anual de 26°C con - valores máximos y mínimos de 33°C y 19°C, respectivamente. La pre-



U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
LOCALIZACION DEL P.H. AGUAMILPA	
ALTERNATIVA "COLORINES"	
J.J. Briones G.	Fig. 1

precipitación media anual en la estación Despeñadero es de 875mm. -- en 15 años de registro, la temporada de máxima precipitación es de Junio a Septiembre. La incidencia de ciclones de esta área constituye el componente principal de la precipitación de la zona; los meses de mayor escurrimiento son Agosto y Septiembre, coincidiendo con la época de mayor perturbación climatológica.

### I.3.3.- Hidrografía.

Según la descripción de las cuencas del Río Grande de Santiago, - realizada por Bolaños y Barrera (1975), el Río Grande de Santia--go, considerado desde la parte N.W. del Lago de Chapala en el estado de Jalisco, sigue su curso hacia el NW para internarse en estado de Nayarit en Analco, municipio de la Yesca, cambiando su dirección al Occidente a partir de la confluencia con el Río - - - Huaynamota, para después continuar al WSW hasta su desembocadura - en el Océano Pacífico al NW del puerto de San Blas, después de un recorrido de unos 265 km. en el estado de Nayarit.

Los principales afluentes del Río Grande de Santiago, hasta antes del sitio de Aguamilpa, son los Ríos Verde, Juchipila, Bolaños y Huaynamota. La cuenca Hidrológica del Río Santiago hasta la estación Yago, situada aguas abajo de la boquilla de Aguamilpa, tiene un área de 75,438 km<sup>2</sup>, estimándose que cada año arroja el mar - -

8,600 millones de m<sup>3</sup> de agua. (Bolaños y Barrera 1975).

#### I.3.4.- Orografía.

La región está formada por la porción meridional de la Sierra Madre Occidental, denominada Sierra de Nayar, la cual deriva hacia el sur de la Sierra Alica, con una elevación media de 2100 metros s.n.m.

#### I.4.- Geología.

##### I.4.1.- Fisiografía.

Fisiográficamente el sitio estudiado se encuentra en las estribaciones de la Sierra Madre Occidental, dentro de la subprovincia de Sierra de Piamonte, que colinda al sur con el parte Noroccidental de la provincia fisiográfica denominada Meseta Neovolcánica.

##### I.4.2.- Geología del área en estudio.

Está constituida principalmente por rocas ígneas de los tipos: Extrusivas e Intrusivas.

## ROCAS EXTRUSIVAS.

Se han clasificado como Ignimbritas dacítrica riódacíticas, datadas por el método de K-AR en  $19.4 \pm 0.9$  millones de años, por lo cual han sido ubicadas en el Mioceno Medio (datos de C.F.E.).

Su color varía de violeta claro a gris blanquecino: dura y compacta, de estructura masiva o pseudoestratificada y textura piroclástica y/o piroclástica eutaxítica. Aunque se distribuyen en toda el área, su espesor es desconocido, pero se infiere que es de varias centenas de metros.

Se presentan comunmente silicificadas en grado variable y en menor proporción propialitizadas y argilitizadas.

Esta última alteración ocurre únicamente en zonas residuales o muy fracturadas.

## ROCAS INTRUSIVAS.

Son principalmente diques de composición porfidoandesítico, monzonítico y diabásico, con rasgos estructurales diferentes y reducida exposición debido a que están cubiertos por suelos y depósitos de talud (III Reunión Geológico-Geotécnica, 1980).

Presenta formas de tendencia tubular con actitud vertical y espesores medios de 2.5 a 3.5 metros; por otra parte son fácilmente -- afectados por el intemperismo.

## II.- EVALUACION DE SITIOS.

Las posibilidades de acceso a zonas antes aisladas y los avances en la tecnología de los aprovechamientos hidroeléctricos han permitido hacer evoluciones de nuevos sitios para decidir la ubicación definitiva de una planta.

La Comisión Federal de Electricidad, organismo que produce y distribuye la energía eléctrica en el país, se ha encargado de que la explotación de la energía hidroeléctrica sea racional y eficiente, para lo cual ha comenzado por sistematizar las diversas etapas de los proyectos.

### II.1.- Etapas de estudio.

Las etapas para el desarrollo de los proyectos hidroeléctricos son cuatro: Planeación, Diseño, Construcción y Operación.

#### II.1.1.- Planeación.

La planeación de un proyecto hidroeléctrico se divide en los siguientes niveles de estudios:

- Identificación.

- Gran visión.
- Prefactibilidad.
- Factibilidad.

#### II.1.1.1.- Identificación.

Se localizan e identifican los sitios posibles a desarrollarse en una cuenca hidrológica determinada, tomando en cuenta factores hidrológicos, topográficos, geomorfológicos, económicos, etc.

El nivel de identificación es desarrollado tanto en gabinete como en campo. En gabinete consultando toda la información disponible, pero principalmente mapas topográficos. En el campo mediante reconocimientos aéreos de la zona. En nuestro país, el potencial identificado hasta la fecha incluye 541 sitios.

#### II.1.1.2.- Gran visión.

Dentro del área de estudio donde quedará el proyecto hidroeléctrico, se analiza cada uno de los sitios identificados haciendo una primera selección de éstos, en función de los esquemas preliminares de aprovechamiento propuestos para cuantificar de una manera tentativa costos y beneficios, con lo cual se jerarquizan los sitios seleccionados.

En este nivel, el trabajo de campo y de gabinete se enfoca a conocer las características generales de la zona de estudio, tales como la Hidrología, la Geología y los aspectos socioeconómicos, que pueden influir en la toma de decisiones. De aquí que las alternativas que presenten mejores condiciones se seleccionarán para estudiarse en el siguiente nivel de estudios.

#### II.1.1.3.- Prefactibilidad.

Este nivel comprende las exploraciones preliminares de estudios -- topográficos, geológicos, geofísicos e hidrométricos de los sitios, obteniéndose un conocimiento primario del lugar donde se ha ubicado un anteproyecto de las obras civiles.

Para la realización de los trabajos a este nivel es indispensable haber establecido un control topográfico del área, en el cual serán referidos los estudios para:

- Mapeo de la red Hidrográfica.
- Mapeo Geológico Regional.
- Determinación del volcanismo activo, latente o extinto.
- Determinación de la sismicidad regional.
- Localización de zonas inestables.
- Delimitación de áreas con posibilidades de fugas dentro del vaso de la presa.

- Determinación de calidad de las rocas para soporte de las obras civiles en:

- A) Cortina
- B) Obra de toma
- C) Obra de desvío.
- E) Casa de máquinas.

Dependiendo de la magnitud de los problemas, se procederá a pasar al siguiente nivel de estudios o a estudiar otra alternativa a ni vel de prefactibilidad que reúna condiciones más favorables.

#### II.1.1.4.- Factibilidad.

Los estudios que se realizan en este nivel tienen como finalidad - mostrar la factibilidad técnica, económica y social de un proyecto hidroeléctrico, por lo cual éstos deberán hacerse a detalle y con mayor precisión que los efectuados en los niveles anteriores, restringiéndose a áreas específicas.

Los estudios que se realizan a detalle se hacen tanto en la boquilla como en el vaso, comprendiendo:

A).- Estudios hidrológicos.- Se comprueba el correcto funcionamiento de las estaciones Hidrométricas y Climatológicas, ana

lizando los escurrimientos y sus períodos de recurrencia.

B).- Estudios geológicos, - Geología regional y a detalle en la boquilla y en cada una de las obras que forman el diseño. - Quedan aquí comprendidas las perforaciones (sondeos mecánicos) con recuperación de núcleos, para obtener la siguiente información de las rocas atravesadas:

- Litología
- Espesor de intemperismo
- Calidad de roca (R.Q.D.)
- Fracturamiento
- Permeabilidad
- Piezometría y nivel freático
- Infiltración.

También se realizan excavaciones (socavones de exploración) para aumentar la información y obtener los siguientes datos:

- Localización de problemas geológicos
- Sistemas e intensidad de fracturamiento
- Verificación litológica
- Calidad de roca
- Determinación de propiedades geomecánicas
- Infiltraciones.

C).- Estudios Geofísicos.- Debido al alto costo de los métodos de exploración directa, se han venido implementando programas de estudio en los que se aplican los métodos indirectos principalmente el de refracción sísmica, el eléctrico de resistividad y el magnetométrico.

La aplicación de estos métodos permite detectar problemas geológicos que por lo general son visualizados superficialmente, determina algunas de las características de los macizos rocosos, cuantifica volúmenes de bancos de materiales y orienta el programa de exploración directa (perforación).

D).- Estudio de Mecánica de Rocas y Mecánica de Suelos.- Donde se analizan los aspectos sobre:

- Estabilidad de taludes en las áreas de embalse y cortina.
- Características de deformación de los macizos rocosos.
- Tratamiento en cimentaciones y excavaciones, cuando así se requiera.

E).- Estudio de sismicidad.- Es necesario determinar el factor de riesgo sísmico para definir el grado de seguridad requerido en el diseño antisísmico de las obras, para lo cual:

- Se determina el origen, magnitud y periodicidad de la sis-

micidad a nivel regional y local.

- Se hacen recomendaciones sobre el diseño y construcción -- de las estructuras.

F).- Materiales de Construcción. Se estudian varios bancos de materiales para su utilización durante la ejecución de las - - obras, requiriéndose la localización de bancos de agregados para fabricación de concretos, así como de materiales permeable, impermeable, y para enrocamiento, en la construcción -- de la cortina y ataguas. Se realizan actividades de exploración en los bancos para estimar el volumen del material y así asegurar el abasto mínimo para las necesidades del proyecto.

G).- Evaluación económica.- El análisis de este aspecto es de tipo comparativo, en base a otros proyectos hidroeléctricos, - determinado así su viabilidad económica.

H).- Aspecto social. El gran impacto social que ocasiona una obra de esta naturaleza influye en un cambio del nivel de vida de las comunidades cercanas al vaso, debido a la creación de -- nuevas fuentes de trabajo, así como la inundación de tierra laborables que trae como consecuencia que los habitantes del lugar muchas veces deberán aprender trabajos muy diferentes

a los que vanían desempeñando hasta entonces.

## II.1.2.- Diseño.

Durante esta etapa de estudios se determina el proyecto definitivo, según los resultados de los estudios anteriores, y se propone el mejor diseño de cortina. Los principales factores que gobiernan esta decisión son:

- La tipografía del sitio.
- Las condiciones geotécnicas de las rocas.
- La disponibilidad de materiales para la construcción.
- Los gastos hidráulicos que manejará la obra de excedencias.
- Los datos hidrométricos, para conocer el N.A.M.E., que define la altura de la cortina.
- La sismología regional, tomada en cuenta para el cálculo de la acción de carga estática esfuerzos dinámicos que pudieran presentarse durante un sismo.

Las obras hidráulicas que conforman una planta hidroeléctrica son:

- Obra de desvío.
- Obra de control y excedencias.
- Descargas auxiliares.

Para el diseño definitivo se verá que el funcionamiento de las - -

obras sea eficiente y seguro y que tenga el menor costo posible.

### II.1.3.- Construcción.

Durante la construcción es importante la intervención de un geólogo y un geofísico, ya que su colaboración será valiosa principalmente en las excavaciones. El geólogo que tiene conocimientos del sitio puede prever accidentes, mientras que el geofísico, haciendo un análisis de las rocas expuestas, proporcionará datos valiosos sobre el efecto originado por la liberación de esfuerzos de la roca, los cuales suelen provocar inestabilidad de bloques.

Esto puede ser evitado oportunamente mediante anclajes, ademe o -- inyecciones, para conseguir seguridad y estabilidad en los macizos rocosos.

### II.1.4.- Operación.

Esta etapa comprende la operación del equipo electromecánico que requiera la planta hidroeléctrica, estando en general constituida por:

- Turbinas.
- Generadores.
- Subestaciones.

- Líneas de transmisión.
- Equipos auxiliares.
- Válvulas, compuertas, tuberías, etc.

Los análisis que se derivan de estos componentes corresponden a -- operación, por lo cual quedan fuera de los alcances de esta tesis. No obstante, es frecuente que los problemas que llegan a surgir -- debido a anomalías de permeabilidad, fugas o deslizamientos en -- los macisos rocosos durante esta etapa, generalmente son consultados con geólogos y geofísicos.

## II.2.- Obras civiles de proyectos hidroeléctricos.

En general, todo proyecto hidroeléctrico consta de cuatro partes esenciales y un número variable de componentes secundarias, en -- función de las características y uso de la corriente fluvial. Las partes esenciales son:

- A).- Cortina
- B).- Obra de desvío
- C).- Planta hidroeléctrica (casa de máquinas y obra de toma)
- D).- Obra de excedencias

#### A).- Cortina.

La cortina tiene como función represar el agua hasta una elevación suficiente que permita derivar el gasto por la obra de toma. Se -- diseña para que la corriente vierta sobre ella, ya sea parcial o - totalmente en su longitud.

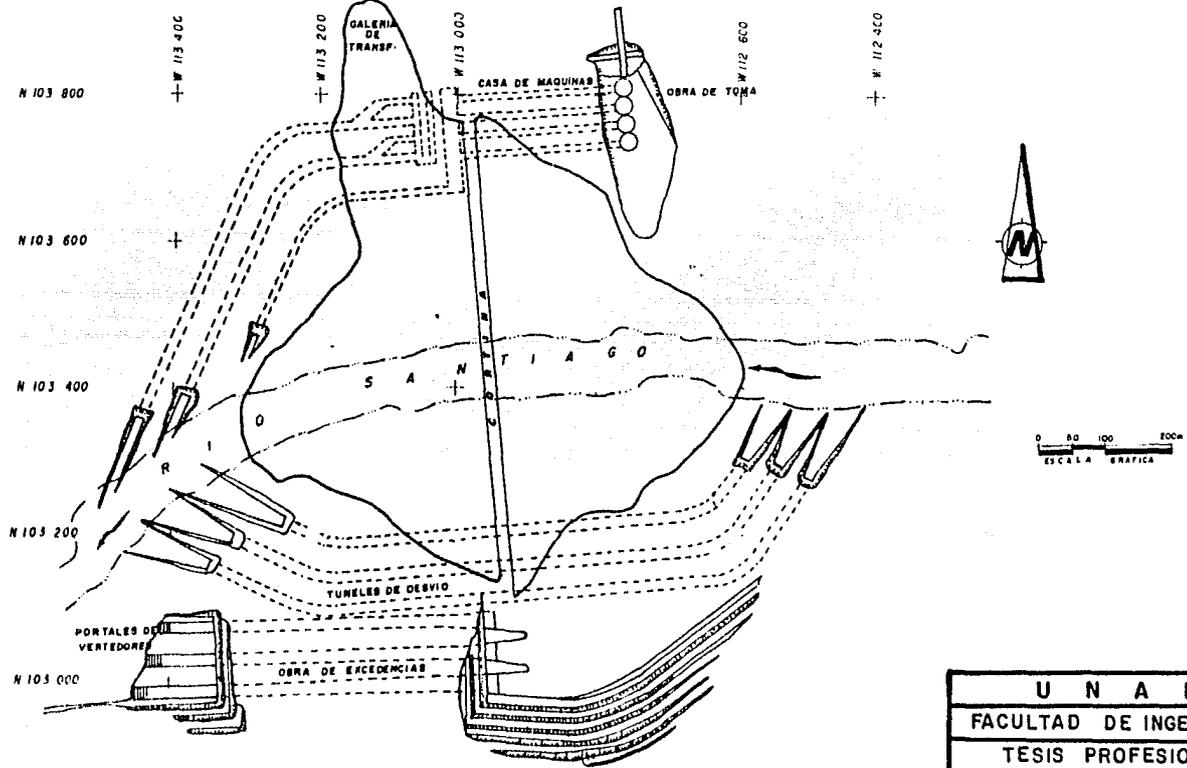
Las cortinas se pueden clasificar por su eje en planta en rectas y curvas.

La línea del eje generalmente es recta y normal a la corriente pero en ocasiones, debido a la topografía, o la geología, se adoptan ejes curvos y mixtos con el fin de disminuir las excavaciones y vo lumenes de material en el cuerpo de la cortina, o para cimentarla en estratos geológicos más favorables (Figs. II y III).

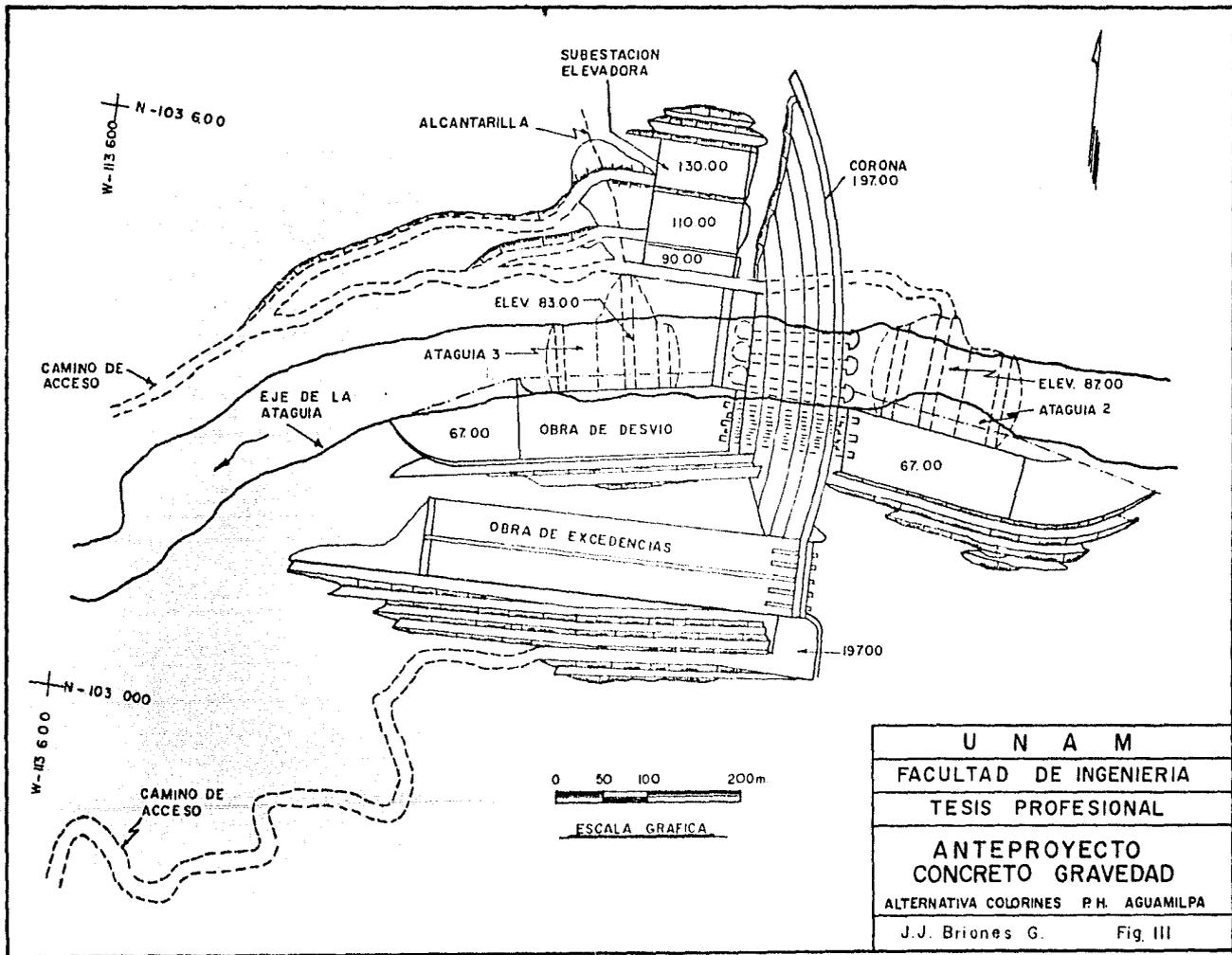
Por el tipo de materiales constituyentes se clasifican en flexi- - bles y rígidas.

Las cortinas flexibles o de materiales graduados se forman con materiales naturales de granulometría específica colocados en forma bandeada, permitiendo que la estructura se adapte a las deformacio nes naturales plásticas propias de estos elementos.

La figura IV-A muestra el orden en que van colocados los materia--



U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
ANTEPROYECTO MATERIALES GRADUADOS	
ALTERNATIVA COLORINES P.H. AGUAMILPA	
J.J. Briones G.	Fig. II



U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
ANTEPROYECTO CONCRETO GRAVEDAD	
ALTERNATIVA COLORINES P.H. AGUAMILPA	
J.J. Briones G.	Fig. III

les, los cuales deberán reunir las siguientes características:

- 1.- Suelo arcilloso.- Material propio para el corazón de la cortina, el cual debe contener cierta plasticidad y ser altamente impermeable, de acuerdo con los ensayos de mecánica de suelos.
- 2.- Material de transición.- Compuesto por grava y arena, con contenido de arena no menor de 30%, para protección de la arcilla contra tubificación, expansión y dispersión.
- 3.- Respaldo estabilizador.- A base de grava y arena con taludes que varían de 1:1.5 a 1:2.5.
- 4.- Enrocamiento estabilizador.- Compuesto por boleos de tamaño superior a 30 centímetros.
- 5.- Enrocamiento.- Definido para protección de oleajes, confinamiento, etc.

La figura II muestra en planta esta distribución.

Las cortinas rígidas se construyen con materiales pétreos unidos con algún compuesto cementante, produciéndose una ma-

## CORTINAS DE TIPO FLEXIBLE

2 Materiales graduados:

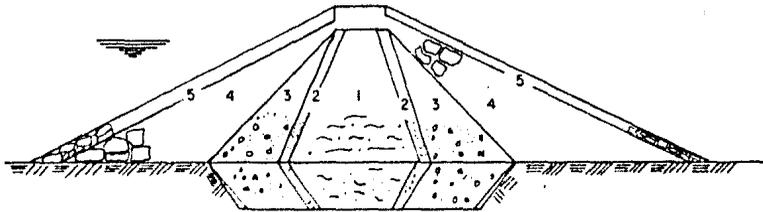


FIGURA "A"

## CORTINAS DE TIPO RIGIDO Y MATERIALES QUE LAS COMPONEN

Concreto común:  
 grava tamaño max.  
 arena 7.6 cm. (3")  
 cemento  
 agua

Cortinas de arco de concreto común  
 y acero de refuerzo en las zonas  
 que determine el calculo estructural.

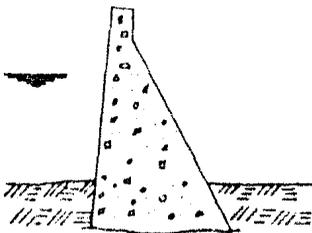


FIGURA "B"

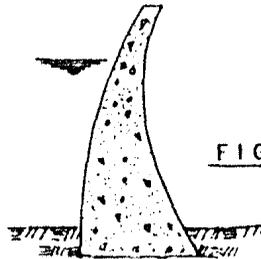


FIGURA "C"

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
P. H. AGUAMILPA	
CLASIFICACION DE CORTINAS ALTERNATIVA COLORINES	
J. J. Briones G	Fig. IV

sa casi homogénea. Las cortinas rígidas más empleadas son hechas de mampostería con mortero de cemento, concreto ciclópeo y concreto simple.

Un ejemplo de este tipo de cortina se muestra en sección en las figuras IV-B y C; en planta se muestra la figura III.

#### B).- Obras de desvío.

Atagüa y canal de desvío.- Intervienen frecuentemente en las presas que se proyectan sobre ríos y arroyos y régimen torrencial. El objetivo principal de estas obras es detener y desviar la corriente por donde los escurrimientos no puedan entorpecer la construcción ni los trabajos de excavación para la cimentación de las obras de la planta hidroeléctrica.

Una visión más generalizada se muestra en las figuras II y III, donde son expuestos ejemplos de diferentes anteproyectos.

#### C).- Planta hidroeléctrica.

Está constituida por la obra de toma, tubería a presión, pozo de oscilación, casa de máquinas y túneles de acceso y des

fogue. La obra de toma.- Es una estructura que surte el agua a casa de máquinas a través de la tubería a presión; gran parte de la vida útil de una presa depende de la localización de la obra de toma.

Una mala ubicación de ésta puede ocasionar la pérdida de funcionalidad de la misma, debido a que cuando el azolve alcanza la obra de toma se termina la vida útil de la presa. Las figuras II, y III muestran diferente disposición de estas obras.

Tubería a presión.- Son túneles que conducen el agua con flujo uniforme en toda su longitud y no admiten rugosidades en sus paredes para evitar la formación de turbulencias.

Pozo de oscilación.- Tiene como función regular las extracciones de agua con el fin de satisfacer las demandas en el tiempo oportuno y en la cantidad necesaria.

La casa de máquinas.- Es el lugar donde se localizan las turbinas, generadores, válvulas, compuertas y equipos auxiliares.

Túnel de acceso.- Define un túnel que conduce la corriente de agua en forma perpendicular a la sección de control.

Túnel de desfogue.- Tiene como finalidad alejar el agua que descarga el vertedor lo más distante que sea posible, aguas-abajo de las trazas del eje de la cortina, como se puede ver en las figuras II y III.

D) Obra de Excedencias.

La obra de excedencias es una estructura que tiene como objeto proteger el sistema de almacenamiento, permitiendo el paso encausado de los volúmenes de escurrimiento que exceden a la capacidad normal del vaso de almacenamiento, así como su descarga en el arroyo, aguas abajo de la cortina.

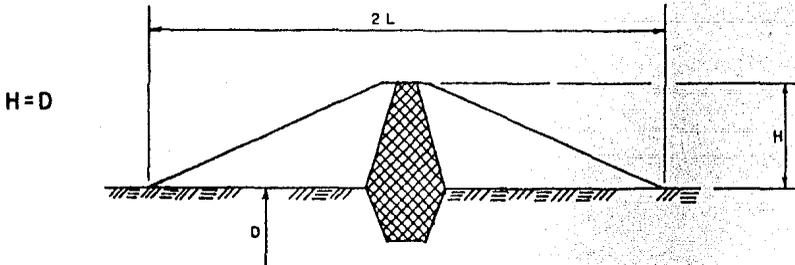
La obra de excedencias consta principalmente de un portal - vertedor de demasías con varios túneles que arrojan el agua a través de los portales vertedores aguas abajo de la cortina (Ver figuras II y III).

II.3.- Profundidad de investigación en las diferentes obras civiles de proyectos hidroeléctricos.

Como ejemplo, la alternativa "Colorines" del P.H. Aguamilpa cuenta con los anteproyectos de Materiales graduados y Concreto gravedad (figuras II y III), requerirán una profundidad máxima de exploración para sus cimentaciones.

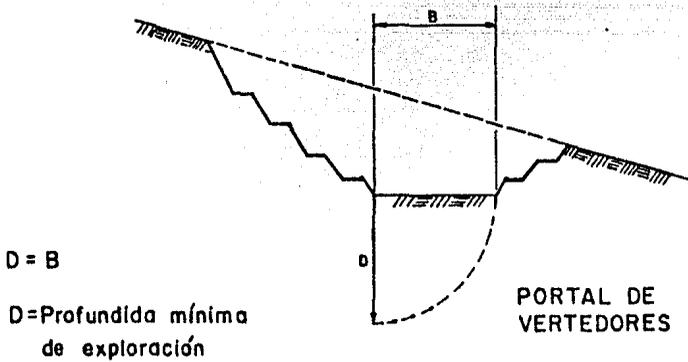
La figura V ilustra dos obras civiles (cortina y portal de vertedores), que de acuerdo al análisis de esfuerzos, no tratado en esta tesis, muestran la profundidad que requiere ser explorada. En el caso de la cortina de materiales graduados, la profundidad de explo-

Profundidad mínima de exploración  
para cortes rellenos y presas.



CORTINA DE MATERIALES GRADUADOS  
FIGURA "1"

Profundidad mínima de exploración  
en excavaciones.



$D = B$

$D$  = Profundida mínima  
de exploración

$B$  = Ancho del fondo  
de la excavación

$H$  = Altura de la cortina

FIGURA "2"

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
P. H. AGUAMILPA	
PROFUNDIDAD MINIMA DE EXPLORACION ALTERNATIVA COLORINES	
J. J. Briones G.	Fig. V

ración requerida es igual a la altura de ésta, mientras que, en vertedores, la anchura del piso marca la profundidad mínima de exploración. En cada una de las obras civiles que consta un Proyecto Hidroeléctrico se requiere una profundidad mínima de exploración, que se logra mediante los métodos directos e indirectos, -- mencionados anteriormente.

#### II.4.- Criterios de Evaluación.

Cada uno de los niveles de estudio en la etapa de planeación, mencionados en el primer apartado de este capítulo, requiere de ciertos criterios de evaluación.

Se revisarán aquí los principales criterios que se han seguido de acuerdo a las experiencias obtenidas en plantas hidroeléctricas ya construidas.

##### A).- Identificación.

En este nivel de estudio el criterio de evaluación de un sitio localizado dentro de una cuenca hidrológica, depende básicamente de la topografía, ya que se buscan los lugares donde se pueda represar el agua.

La selección de estos sitios estará definida por las dimensiones del posible vaso, así como por la localización de ca-

ñones o estrechamientos.

**B).- Gran visión.**

El criterio para hacer la jerarquización de sitios se hace -  
ben base al análisis de la descripción geográfica e hidro-  
gráfica de la cuenca, desde el punto de vista de su potencial  
hidroeléctrico.

**Criterio Geológico.-** Toma en cuenta la geología regional (es  
estructuras principales y descripción general de unidades de -  
roca).

El criterio socioeconómico toma en cuenta las afectaciones a  
poblaciones cercanas al vaso.

**C).- Prefactibilidad.**

Debido a estudios preliminares de carácter topográfico, hi--  
drológico, geológico y geofísico, son diversos los criterios  
que evalúan un sitio:

**Criterio Hidrológico.-** Se basa en las estadísticas de las es-  
taciones hidrométricas y climatológicas, estudiadas como mí-  
nimo durante los 10 años anteriores, a lo largo de los dife-

rentes períodos del año.

**Criterio Geológico.-** Detecta rasgos estructurales de importancia a nivel regional principalmente fallas y fracturas, que pudieran descartar un sitio para la construcción de las obras.

**Criterio Geofísico.-** Auxiliándose de la geología, proporciona un modelo del comportamiento del subsuelo, donde se hayan ubicado los anteproyectos, señalando zonas donde puedan existir problemas.

**D).- Factibilidad.**

**Criterio Geológico.-** Los estudios a detalle, tanto superficiales como en socavones y en sondeos mecánicos, dan información del fracturamiento, permeabilidad, infiltración, litología y calidad de la roca, factores decisivos en la viabilidad de un sitio.

**Criterio Geofísico.-** En áreas donde no se cuenta con información de los métodos directos, las propiedades elásticas y geoelectricas del sitio marcan la pauta a seguir, dando a conocer la calidad aproximada de la roca y recomendando, si fuera necesario, un tratamiento o un desplazamiento de las -

**obras.**

**Criterios Generales.-** Debido a la sismicidad del sitio, el factor de seguridad es muy importante en zonas con ocurrencia de sismos, debiendo analizarse la respuesta dinámica de las estructuras bajo ese marco de referencia.

La existencia de materiales para la construcción es también determinante para evaluar un sitio, puesto que de ellos depende el costo de las obras. Los volúmenes estimados y la distancia a los bancos o depósitos de agregados son los criterios principales.

### III.- FUNDAMENTOS DE LOS METODOS UTILIZADOS

#### III.1.- Resistividad.

El método eléctrico resistivo, en la modalidad de sondeo eléctrico Schlumberger se caracteriza por ser un método de campo artificial y por utilizar a la resistividad ( $\rho$ ) como una propiedad física - que presentan todos los materiales en el subsuelo, la cual se obtiene inyectando una corriente eléctrica en el terreno, mediante - dos electrodos de emisión A ( $\downarrow$ ) y B ( $\uparrow$ ) separados una distancia preestablecida, sobre una línea y conectados a una fuente de energía ( I ) creándose un campo eléctrico artificial, que origina diferencias de potencial en la superficie del terreno, medidas con - un voltímetro (V) mediante otro par de electrodos (M y N) colocados en el centro del tendido electródico, considerando para ello - la siguiente relación  $AB \geq 5MN$ .

La disposición que guarden los cuatro electrodos entre sí ( K ), - las diferencias de potencial medidas y las corrientes introducidas al terreno, tienen la finalidad de conocer la distribución de resistividades y los espesores de las distintas formaciones geológicas bajo el centro del tendido electródico.

### III.1.1.- Conceptos Teóricos.

Idealizando un modelo correspondiente a un medio infinito, homogéneo e isotrópico, por donde circule un flujo de corriente y puede ser leída la distribución de potencial, la ecuación de Laplace expresa dicha distribución para corriente continua.

$$\nabla^2 V = 0 \quad \text{--- ( 1 )}$$

Sabiendo que el valor del potencial es función de la distancia  $r$ , en coordenadas esféricas tendremos la ecuación diferencial.

$$\frac{d^2 V}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dV}{dr} = 0 \quad \text{--- ( 2 )}$$

Cuya función solución será:

$$V = \frac{I \rho}{2\pi r} \quad \text{--- ( 3 )}$$

Siendo la ecuación 3 la relación final del modelo propuesto.

En casos prácticos, la corriente es introducida en el subsuelo, -- utilizando dos electrodos puntuales A ( $\downarrow$ ) y B ( $\uparrow$ ) (fuente y sumidero). Para medir la diferencia de potencial se emplean otros dos electrodos M y N de donde la ecuación 3 toma la siguiente forma

$$\Delta V = \frac{I \rho}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right] \quad \text{--- ( 4 )}$$

La forma de esta ecuación se explica si recordamos que los campos

potenciales se superponen, de ahí que el potencial en M sea la suma de los campos debidos a A y B.

### III.1.2.- Resistividad Aparente.

Despejando de la expresión 4 conocemos la resistividad de un subsuelo homogéneo:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (5)$$

En donde: 
$$K = 2 \pi \left[ \left( \frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left( \frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1}$$

Al sustituir los datos de una medición de campo (K, AV, I), la resistividad no va a ser la real del subsuelo puesto que normalmente el subsuelo es heterogéneo, entonces a la resistividad así obtenida se denominará resistividad aparente.

Donde la constante K depende del arreglo o dispositivo electródico y se le conoce como factor geométrico: AV es la diferencia de potencial entre los electrodos M y N; e I es la intensidad de corriente inyectada al terreno a través del electrodo A y recibida en el electrodo B.

La resistividad aparente es un parámetro que se utiliza en la interpretación de los sondeos eléctricos verticales para determinar en forma cualitativa la distribución de resistividades en el subsuelo.

### III.1.3.- Sondeo Eléctrico Vertical.

Al conjunto de mediciones de resistividad aparente, realizadas con un arreglo electródico determinado, donde se varía el tamaño de éste y se conserva el punto de referencia, se le conoce como sondeo eléctrico vertical (S E V ). La aplicación del SEV se restringe prácticamente a zonas estratificadas, en donde las propiedades eléctricas varían principalmente con la profundidad. La finalidad del SEV en una campaña de exploración, es determinar las propiedades de las capas del subsuelo y su resistividad, siendo el arreglo Schlumberger el de más uso para esta finalidad.

El arreglo Schlumberger consiste en localizar cuatro electrodos -- sobre una misma línea, colocando los electrodos de potencial - - - (N,M ) a una distancia a muy corta, en comparación con la distancia L de separación entre los electrodos de corriente (A,B). En -- este caso, el cálculo de la resistividad aparente se logra haciendo tender a cero el valor de a. Sin embargo, en la práctica se usa  $L \gg 5a$ , por lo que resulta la siguiente ecuación:

$$a = \frac{\pi L^2}{4a} \frac{\Delta V}{I} \text{ ----- ( 6 )}$$

Cometiéndose un error del 4% con esta suposición. Conviene aclarar que la técnica de resistividad en la modalidad SEV Schlumberger es uno de los métodos de campo artificial que se enfrenta fundamental

mente a problemas debidos a las condiciones reales del terreno. Sin embargo, a partir de un modelo estratifico es posible determinar la curva teórica de resistividad, con tal que éste cumpla las siguientes condiciones: topografía plana, medios homogéneos e isotrópicos separados por superficies paralelas a la superficie. A pesar de estas simplificaciones, el cálculo de la curva teórica es matemáticamente difícil, pero se han encontrado varios procedimientos para su solución.

Por ejemplo la integral numérica de Stefanescu con la cual se calcularon y dibujaron las curvas maestras para sondeos eléctricos --- ( Orellana y Mooney 1966 ).

La solución de la ecuación de Laplace, se considera más eficaz y óptima que la anterior por lo que una vez obtenidas las curvas patrón (ábacos) de la solución al modelo matemático, que, generaliza terrenos con diferentes resistividades y estratos, se hacen comparaciones mediante computadora, con los datos de campo y modelos teóricos (Seara 1981), determinandose las resistividades y espesores de las capas del subsuelo.

### III.2.- Métodos Sísmicos.

Están basados en que los materiales tienen diferentes propiedades -

elásticas. Cuando se provoca una perturbación elástica, en la superficie del terreno, mediante alguna fuente de energía (en la mayoría de los casos dinamita) se origina frentes de ondas sísmicas que es registrado por detectores o geófonos colocados también en la superficie,

Las localizaciones de las fuentes de energía, conocida comúnmente como puntos de tipo (P.T.), se colocan principalmente en los extremos de cada tendido de geófonos: colocados a distancias previamente establecidas. Los registros que resulten luego de haber realizado una detonación y aprobación, ya sea en papel o en monitor, son conocidas como sismogramas.

#### II.2.1.- Modelos de Refracción de contactos planos.

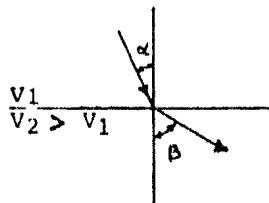
El problema estructural más sencillo que se resuelve por el método sismológico de refracción se refiere a la determinación de las velocidades de las ondas longitudinales y de sus capas horizontales, donde el contacto inferior tiene como condición que la velocidad sea mayor que la del contacto superior.

Para el cálculo de dichos parámetros existen los principios básicos de Fermat y Huygens y Ley de Snell.

Principio de Fermat, establece que la trayectoria de propagación entre dos puntos con el tiempo es mínima.

Principio de Huygens: dice que cualquier punto de un frente de onda será un punto generador de ondas secundarias y la envolvente de cada punto será un nuevo frente de onda.

Ley de Snell: establece que en medios homogéneos e isótropos, la relación de velocidades de propagación es igual al cociente de los senos de los ángulos de incidencia y refracción de las ondas, sobre el plano de separación entre ambos (ilustrándose de la siguiente forma):

$$\frac{\text{Sen } \alpha}{\text{Sen } \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$


El modelo matemático del problema directo, donde se tiene las profundidades de los refractores, las velocidades de las ondas longitudinales y las distancias fuente-receptores, determinan el caso más general que se refiere a  $n$  contactos planos horizontales y el tiempo de recorrido para la onda de refracción que viaje por la  $n$  capa más profunda; se representa mediante la fórmula:

$$t_n = \frac{x}{v_n} + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \frac{z_i \sqrt{1 - \left(\frac{v_i}{v_n}\right)^2}}{v_i} \text{ --- ( 7 )}$$

Siendo  $t_n$  el tiempo de refracción para la  $n$ ésima capa.

$Z_i$ ; Profundidad de la  $i$ ésima capa

$V_i$ ; Velocidad de la  $i$ ésima capa

$V_n$ ; Velocidad de la  $n$ ésima capa

$X$  ; Distancia crítica

Del análisis del modelo propuesto, la aplicación de esta fórmula - permite dar la solución al problema inverso, puesto que permite estimar de los contactos su profundidad, ya que los demás parámetros son conocidos.

Evidentemente este modelo estructural es el más simple que existe en la naturaleza, pues a medida que se hace variar alguno de estos parámetros las ecuaciones se complican.

### III.2.2.- Caso de dos contactos irregulares de refracción.

Entre las distintas técnicas interpretativas en el método de refracción, que permiten calcular contactos irregulares, se encuentran los procedimientos de F.D. Peters (1980), que son ejemplificados en el apéndice A de esta tesis.

Tiene su base en los principios mencionados y en el análisis de trayectorias de rayos sobre contactos irregulares.

### III.2.3.- Sismología de Socavones.

#### III.2.3.1. Microsísmica.

Entre los métodos geofísicos más utilizados en la determinación "in situ" de las propiedades geodinámicas está el sísmico en socavones, comúnmente conocido como microsísmico, que se aplica mediante tendidos sísmicos cortos en las paredes de los socavones.

Este método sísmico está basado en la propagación de las ondas -- elásticas, ya que mediante la acción de una fuerza instantánea -- aplicada sobre la superficie terrestre, muchos materiales se comportan de forma aproximadamente elástica. Este comportamiento se ha estudiado a través de un cubo unitario homogéneo e isotrópico de densidad  $\rho$

Donde se obtienen las velocidades longitudinales y transversales -- que se expresan en función de los módulos elásticos, de la siguiente forma:

$$v_L = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{(1-2\sigma)(1+\sigma)}} \quad \delta \quad v_L = \sqrt{\frac{3K(1-\sigma)}{(1+\sigma)}} \quad \text{--- ( 8 )}$$

$$v_t = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}} \quad \delta \quad v_t = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad \text{--- ( 9 )}$$

aunque las fórmulas de las velocidades son correctas, esta presen

tación no es empleada en exploración sísmológica.

Ya que prácticamente las velocidades sísmicas se obtienen mediante tendidos sísmicos que toman en cuenta la condición real de las rocas del subsuelo.

Del resultado de esas mediciones se considera a los módulos elásticos en función de las velocidades. Despojándolos de las fórmulas - 7 y 8 tendremos que:

El módulo de Young ( E ).- Reacciona la deformación lineal de un material con los esfuerzos longitudinales a que es sometido.

$$E = 2 \rho v_T^2 (1 + \sigma) \text{ - - - - - ( 10 )}$$

El módulo de compresibilidad (K):- Es la relación entre esfuerzos volumétricos (hidrostáticos) y el cambio de volumen sin cambiar la forma del cuerpo.

$$K = \rho \left( v_C^2 - \frac{4}{3} v_T^2 \right) \text{ - - - - - ( 11 )}$$

El módulo de rigidez (G).- Relaciona el esfuerzo cortante unitario con el desplazamiento relativo de los planos de deslizamiento (cambio de forma sin cambio de volumen).

$$G = \rho v_T^2 \text{ - - - - - ( 12 )}$$

De igual manera el coeficiente de Poisson se expresa en función de velocidades, de la siguiente forma:

$$\nu = \frac{\frac{1}{2} \left( \frac{V_L}{V_T} \right)^2 - 1}{\left( \frac{V_L}{V_T} \right)^2 - 1} \quad ( 13 )$$

Y relaciona el cambio unitario de área de la sección transversal con la deformación longitudinal unitaria.

Obteniéndose de ésta manera las propiedades geodinámicas dentro de los macizos rocosos.

#### III.2.3.2.- Crossadit.

Es otro método frecuentemente empleado en trabajos geotécnicos,-- interpretando los datos en términos de caracterización sismológica, en sitios donde se cuenta con dos o mas socavones paralelos; en uno de los cuales se colocan los puntos de tiro y en el otro se detectan los frentes de ondas.

El objetivo de este método es la detección de zonas de baja o alta velocidad que se encuentren dentro del macizo de roca que separa los socavones.

Los vectores velocidad están referidos a la trayectoria fuente --

detector, pero el entrecruzamiento de trayectorias hace problemática la división en zonas de velocidad.

Para resolver el problema se utilizó el programa VEL-INT, elaborado por Vázquez (1981), basado en el procedimiento de Lytle (1979), el cual divide la zona estudiada en celdas rectangulares o romboidales, asigna cierta velocidad a cada celda y calcula los tiempos teóricos de viaje; éstos se comparan con los tiempos observados y de acuerdo al error entre el modelo propuesto y el paquete de roca, se modifican las velocidades de modo iterativo, de tal manera que la diferencia entre los tiempos reales y teóricos vayan disminuyendo en cada nueva iteración, hasta lograr el mejor ajuste de velocidad por celda.

La figura XVIII muestra los resultados de este procedimiento, aplicado en la alternativa Colorines.

### III.2.4.- Sismología de Pozos.

#### III.2.4.1.- Método Down-Hole.

Es uno de los métodos empleados para obtener velocidades mediante mediciones en un pozo. Tomando como base el principio de Fermat, se considera que la onda viajará por un camino en donde el tiempo de recorrido es mínimo y cada trayectoria es tratada como vector

tiempo. Partiendo de este principio, se hacen dos suposiciones:

- La primera considera el rayo como una trayectoria recta.
- La segunda permite convertir a éstos en trayectorias verticales.

Sea H la profundidad de cada punto de tiro, X la distancia entre la boca del pozo y el detector,  $\theta$  el ángulo vertical de éste con vértice en el punto de tiro (fuente de energía),  $t_R$  el tiempo de registro y  $t_V$  el tiempo corregido a la vertical. Obteniendo las siguientes ecuaciones.

$$\tan \theta = \frac{x}{H} \text{ ----- ( 14 )}$$

y

$$t_V = t_R \cos \theta \text{ ----- ( 15 )}$$

Con  $t_V$  se construye la gráfica profundidad contra tiempo vertical, las gráficas de velocidad media contra profundidad y la gráfica de velocidad de intervalo contra profundidad, estos dos últimos mediante las siguientes fórmulas.

$$V_m = \frac{H}{t_V} \text{ ----- ( 16 )}$$

$$V_i = \frac{\Delta H}{\Delta t} \text{ ----- ( 17 )}$$

Estos análisis se hacen para cuantificación de velocidades, así co

mo para detectar zonas ciegas. La gráfica de velocidad de intervalo contra la profundidad determina generalmente capas de baja velocidad incluidas dentro de otras de mayor velocidad; de la gráfica de velocidad media contra la profundidad es posible efectuar calibraciones que servirán en la interpretación de los datos obtenidos por el método de refracción.

Por lo tanto es muy conveniente en todo estudio sísmico de refracción realizar un estudio Down - Hole o Up-Hole para determinar con mayor eficiencia el espaciamiento entre detectores.

Las fórmulas y cálculos que se requieren en el método de Up-Hole son los mismos del método Down-Hole, con la única diferencia que ahora los detectores se encuentran dentro del pozo y la fuente de energía en la superficie, quedando a la elección del geofísico - - cuál de los dos métodos deberá utilizar en un sitio dado.

#### IV.- LEVANTAMIENTO E INTERPRETACION DE DATOS.

La presente exploración se llevó a cabo en el Proyecto Hidroeléctrico Aguamilpa, alternativa Colorines, la cual contempla uno de los dos diseños de Ingeniería para cortinas: de materiales graduados con elevación de corona 230m. (Fig. II) y de concreto gravedad con elevación de corona 197m. (Fig. III). Para este fin se brecharon 19 líneas separadas en 50 metros, con longitud de 1000 metros cada una y orientación N 7°W, cubriendo una área aproximada de un kilómetro cuadrado (Fig. VI).

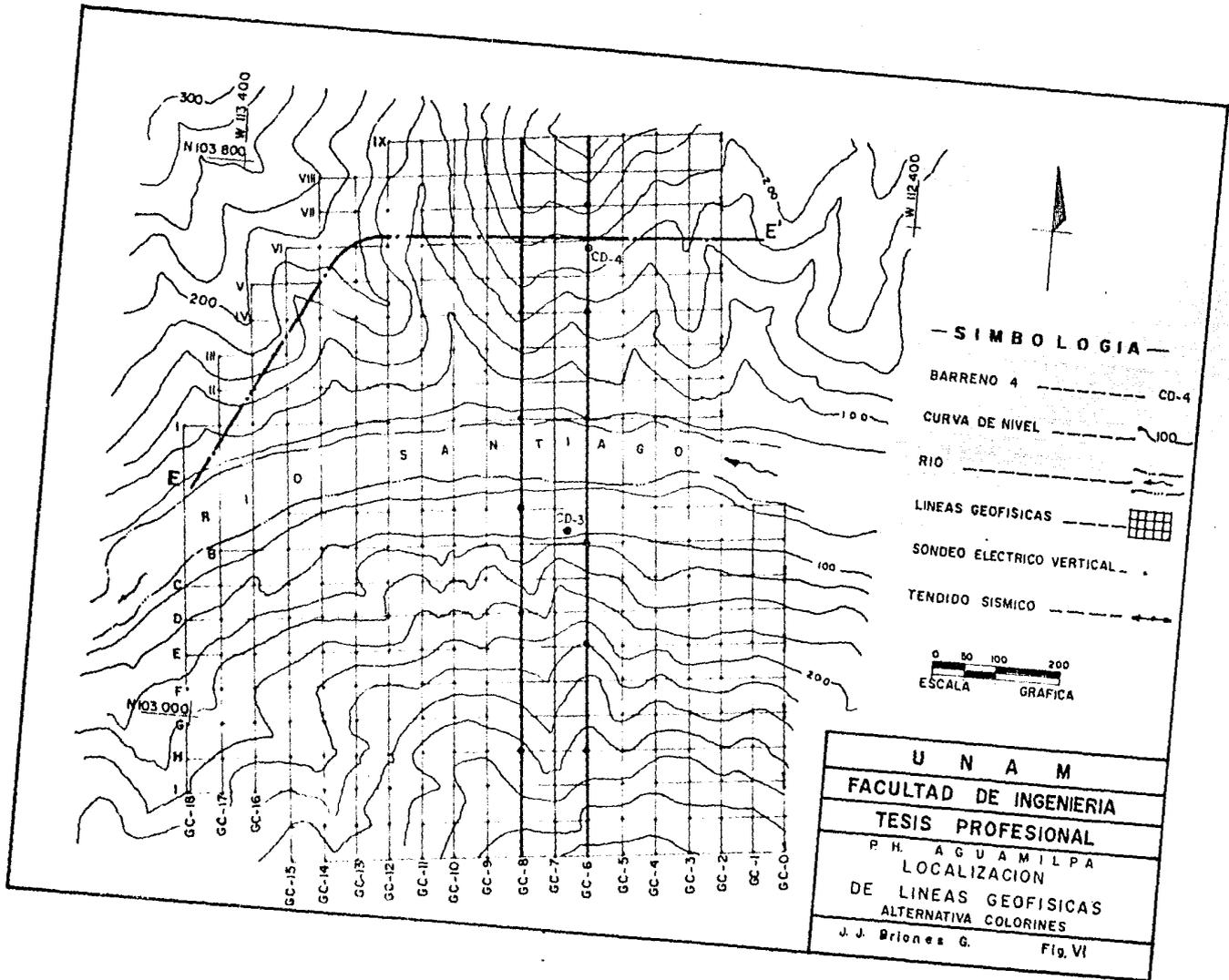
##### IV.1.- Sondeos Eléctricos.

##### IV.1.1.- Trabajo de Campo.

Con el método de resistividad se realizaron 329 SEV en la modalidad Schlumberger, con espaciamiento interelectródico de  $AB/2=400m$  y puntos de atribución a cada 50 metros, distribuidos como se ilustra en la fig. VI.

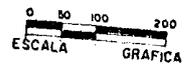
##### IV.1.2.- Interpretación.

La interpretación de los datos del método de resistividad consta de dos aspectos: Uno cualitativo y otro cuantitativo.



**- SIMBOLOGIA -**

- BARRENO 4 CD-4
- CURVA DE NIVEL 100
- RIO
- LINEAS GEOFISICAS
- SONDEO ELECTRICO VERTICAL
- TENDIDO SISMICO



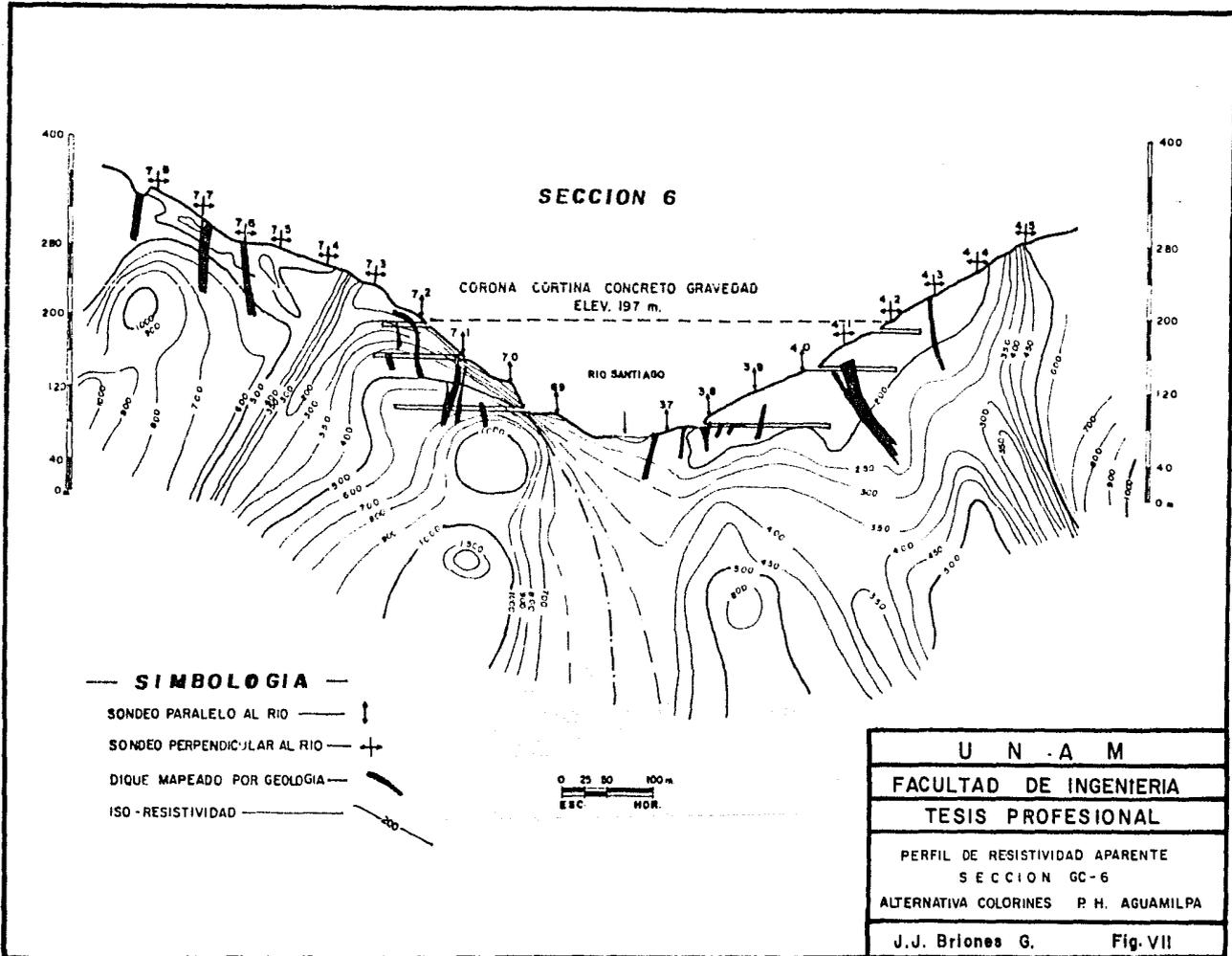
**U N A M**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**TESIS PROFESIONAL**  
 P. H. A G U A M I L P A  
**LOCALIZACION**  
**DE LINEAS GEOFISICAS**  
**ALTERNATIVA COLORINES**  
 J. J. Briones G. Fig. VI

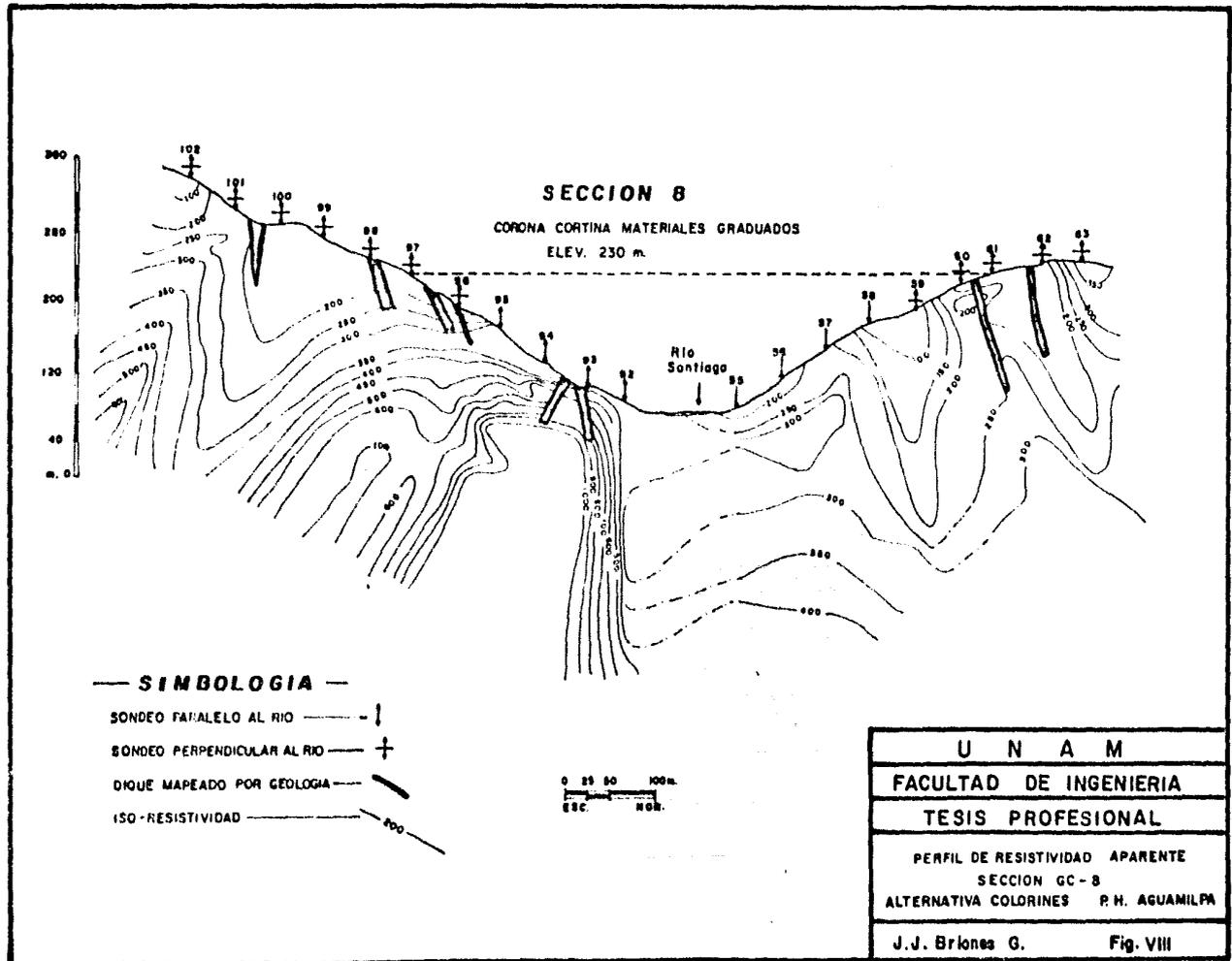
A).- Interpretación Cualitativa.- Se lleva a cabo utilizando los valores de resistividad aparente, colocados bajo cada punto de atribución del SEV, con sus distancias interelectródicas, a partir de las cuales se construyen secciones que permiten analizar cualitativamente las variaciones de resistividad de estructuras, no sólo horizontales sino también cuerpos sub-- verticales, tales como fallas, fracturas o diques ígneos.

Las figuras VII y VIII muestran las secciones de las líneas GC-6 y GC-8, de resistividad aparente. En planta, las anomalías de resistividad aparente fueron correlacionadas de sección a sección (fig. VI), logrando rastrear varios posibles diques (fig. IX) en combinación con Geología.

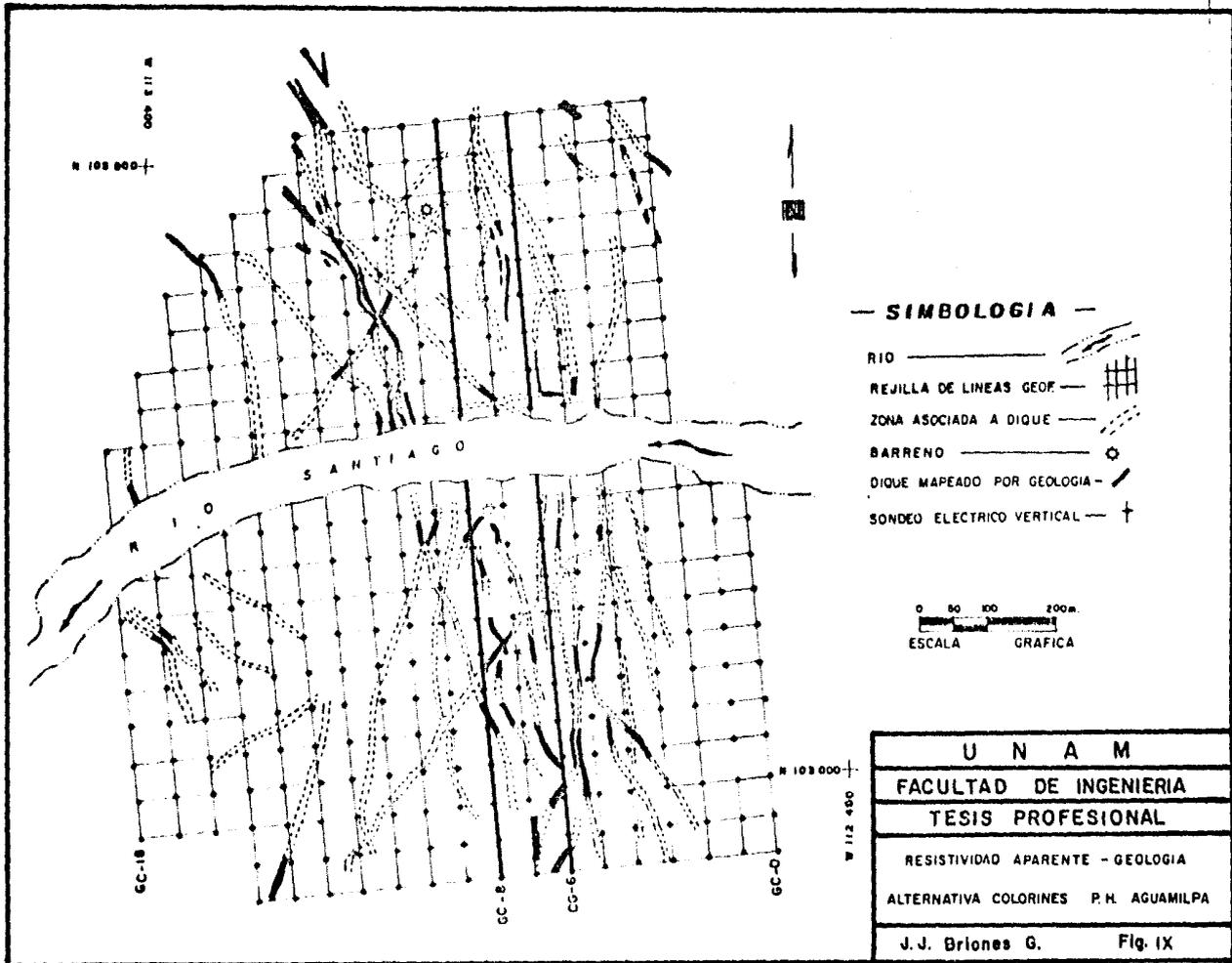
B).- Interpretación Cuantitativa.- Los datos de resistividad aparente obtenidos en cada sondeo eléctrico son utilizados para construir una curva, en la cual las resistividades aparentes están asignadas en las ordenadas y las distancias electródicas  $AB/2$  en las abscisas. Estas curvas deben estar dibujadas en papel bilogarítmico albanene del mismo módulo o ciclo que las curvas patrón (ábacos) para, posteriormente, interpretar con el método de superposición un corte geoelectrico estratificado (modelo inicial).

El método de superposición tiene una base teórica correcta-



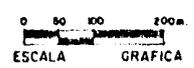


U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
PERFIL DE RESISTIVIDAD APARENTE SECCION GC-8
ALTERNATIVA COLORINES P.H. AGUAMILPA
J.J. Briones G. Fig. VIII



— SIMBOLOGIA —

- RIO —————
- REJILLA DE LINEAS GEOP — [Grid Symbol]
- ZONA ASOCIADA A DIQUE — [Dashed Line Symbol]
- BARRENO — [Well Symbol]
- DIQUE MAPEADO POR GEOLOGIA — [Thick Dashed Line Symbol]
- SONDEO ELECTRICO VERTICAL — [Cross Symbol]



y su aplicación es sencilla. No obstante, es poco práctico para un número de horizontes geoelectricos superior a cuatro (Orellana 1966). Sin embargo el método del punto auxiliar que consiste en ir reduciendo sucesivamente un modelo de cuatro o más capas en un modelo sencillo de dos o tres capas, al combinarse con lo anterior resuelve el problema.

Un ejemplo de los pasos que hay que seguir para interpretar un modelo se expone en (Orellana y Mooney, 1966).

Luego de contar con un modelo estratificado inicial, se realiza una comprobación del modelo mediante el programa computacional JHOJA 3, basado en el procedimiento de JOHANSEN (1975), por medio del cual se resuelve el problema directo, es decir, a partir del modelo geoelectrico dado se calcula la curva de S.E.V. de resistividad aparente e imprime, en una gráfica bilogarítmica, tanto la curva teórica como la de campo. Esto permite realizar una comparación visual entre ambas curvas para lograr un mejor ajuste con sólo variar los parámetros de Resistividad y/o Profundidad del modelo. En el apéndice B se muestra un listado de dicho programa computacional, procesado en computadora HP 9845-B.

La correlación de estas interpretaciones sobre un perfil topográfico proporciona secciones geoelectricas como las que -

se ilustran en las figs. X, XI y XII.

#### IV.2.- Refracción Sísmica.

##### IV.2.1.- Trabajo de Campo

Los tendidos sísmicos tuvieron una longitud de 155 metros cada uno, con 12 detectores y 4 puntos de tiro. La disposición o separación de los detectores a partir de los puntos de tiro más cercanos fué la siguiente:

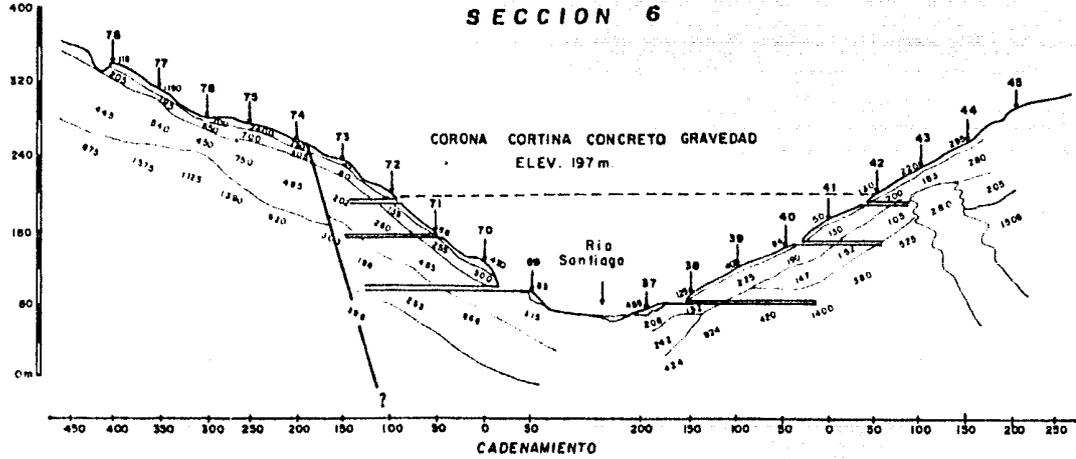
5, 5, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 15, 5, 5; los puntos de tiro más alejados se localizaron sobre la misma línea, a 50 metros.

El levantamiento sísmico consistió de 100 tendidos sísmicos, cubriendo una longitud total de 15.5 km., distribuidos sobre las líneas 0 a 18, mostrandas en la fig. VI.

##### IV.2.2.- Interpretación.

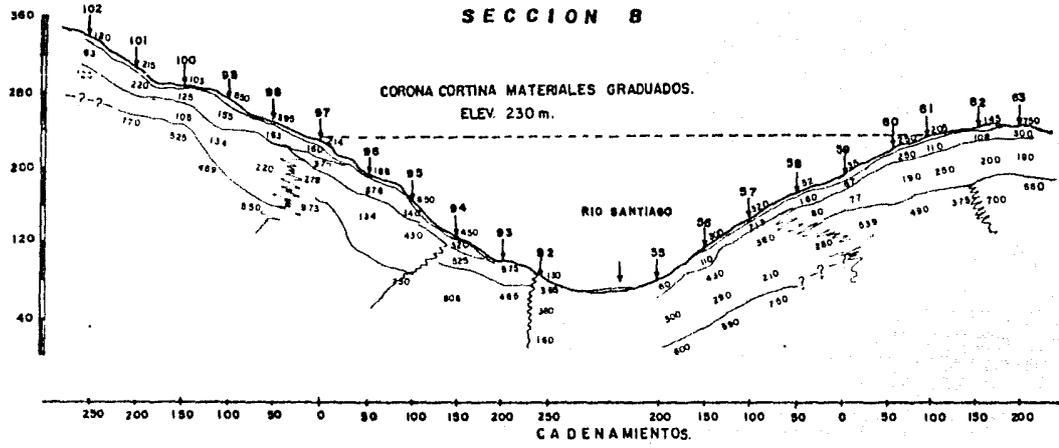
Con los registros de tiempo (primeros arribos) y la ubicación de cada detector, se hace una gráfica tiempo - distancia, asignando en el eje de las abscisas a las distancias y en el de las ordenadas a los tiempos de propagación. A partir de estas gráficas se determinan los datos para efectuar el cálculo y estimar las veloci

## SECCION 6



- SIMBOLOGIA**
- RESISTIVIDAD OHM - METRO ——— 886
  - PUNTO DE ATRIBUCION DEL S.E.V. ——— 77
  - ZONA ANOMALA - - - - -
  - POSSIBLE FALLA ——— / ——— ?
  - INTERFASE RESISTIVA - - - - -

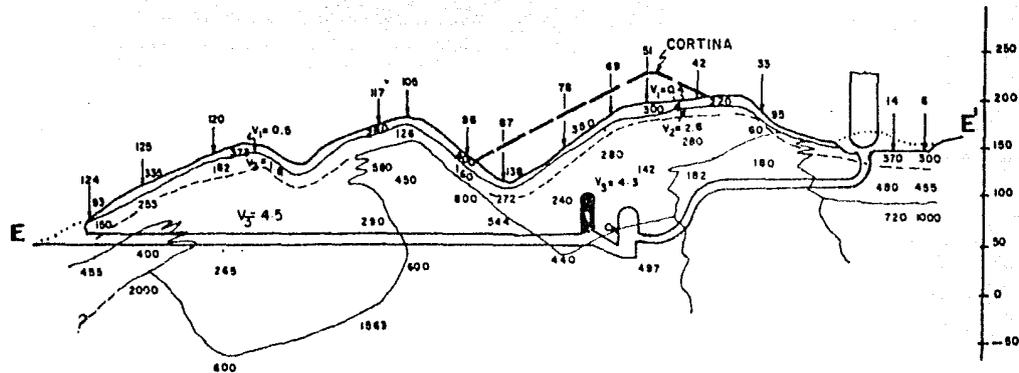
U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
PERFIL GEOELECTRICO DE LA SECCION	
<b>6 C - 6</b>	
ALTERNATIVA COLORINES P.H. AGUAMILPA	
J.J. Briones G.	Fig. X



- SIMBOLOGIA —**
- RESISTIVIDAD OHM - METRO ————
  - PUNTO DE ATRIBUCION DEL S.E.V. ————
  - ZONA ANOMALA ————
  - POSIBLE FALLA ————
  - INTERFASE RESISTIVA ————

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
PERFIL GEOELECTRICO DE LA SECCION	
G C - B	
ALTERNATIVA COLORINES	P. H. AGUAMILPA
J. J. Briones G.	Fig. XI

# SECCION E-E'



## SIMBOLOGIA

- RESISTIVIDAD EN OHM-M  450
- VELOCIDAD SISMICA EN KM/s   $V_2 \pm 2.2$
- INTERFASE RESISTIVA
- CONTACTO SISMICO
- ZONA ANOMALA

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
SECCION GEOFISICA LONGITUDINAL DE LA PLANTA HIDROELECTRICA SUBTERRANEA	
ALTERNATIVA COLORINES P.H. AGUAMILPA	
J.J Briones G.	Fig. XII

dades de los medios o capas, sus espesores y el modelo geosísmico bajo cada tendido.

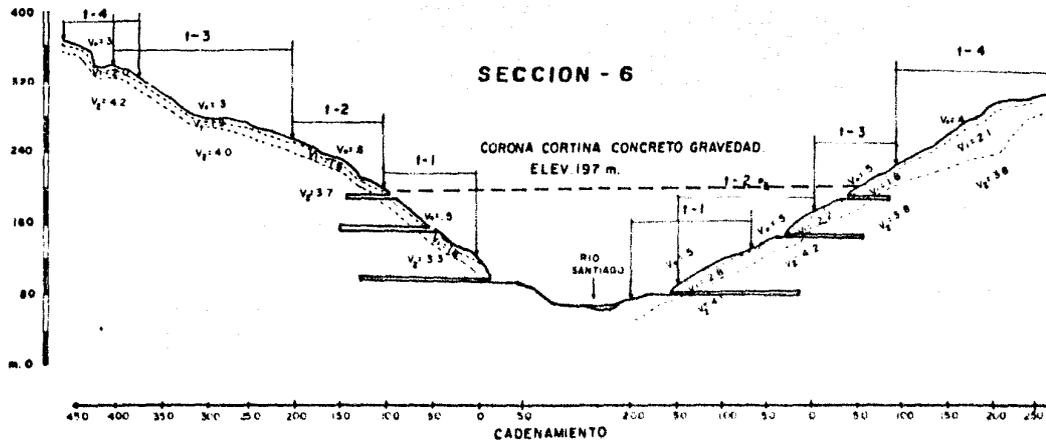
Para calcular el modelo geosísmico se empleó el programa computacional TIERET, basado en el procedimiento de PETERS (1980), que determina 1 ó 2 contactos sísmicos ondulantes y las velocidades de transmisión de cada una de las capas. Un ejemplo de este método está descrito en el Apéndice A de esta tesis con un listado del programa en el Apéndice C. En las figuras XIII y XIV pueden observarse los cortes geosísmicos de los perfiles GC-6 y GC-8, donde se aplicó el método mencionado.

#### IV.3.- Sismología de Socavones

##### IV.3.1.- Trabajo de Campo.

###### a).- Microsísmica:

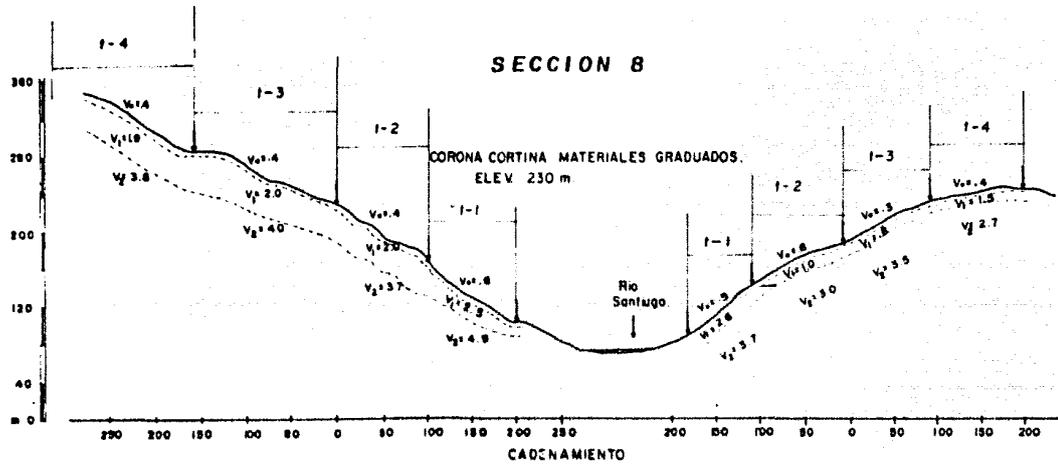
Las técnicas de campo más usuales consisten en producir impactos direccionales sobre el terreno, generando ondas longitudinales y transversales que son registradas mediante detectores de componente vertical o de componente horizontal, según sea el caso. Es importante mencionar que para la obtención de las ondas transversales es necesario contar con registros que contengan impactos en las dos direcciones de oscilación de los detectores, para polarizar las señales grabadas.



— SIMBOLOGIA —

TENDIDO SISMICO  $\rightarrow I_p \rightarrow$   
 PUNTO DE TIRO  $\downarrow$   
 VELOCIDAD EN Km/seg  $V_p$   
 INTERFASE SISMICA  $I$

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
PERFIL DE REFRACCION SISMICA SOBRE LA	
SECCION GC - 6	
ALTERNATIVA COLORINES P.H. AGUAMILPA	
J. J. Briones G	FIG. XIII



**— SIMBOLOGIA —**

TENDIDO SISMICO  $I_2$

PUNTO DE TIRO ↓

VELOCIDAD EN Km/seg  $V_p = 4$

INTERFASE SISMICA - - - - -

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
PERFIL DE REFRACCION SISMICA SOBRE LA	
SECCION GC - 8	
ALTERNATIVA COLORINES	P. H. AGUAMILPA
J. J. Briones G.	Fig. XIV

das y diferenciarlas de las compresionales.

Los tendidos que se realizaron en el estudio de socavones - del PH Aguamilpa fueron con 12 detectores espaciados a 1 metro, y puntos de tipo a 0.5 y 4 metros. Las paredes de los socavones se levantaron en forma continua. El presente estudio se realizó con 44 tendidos de microsísmica, en 6 socavones cubiriéndose en esa forma una longitud de 575 metros.

b).- Crossadit.

El dispositivo que se utilizó en el presente trabajo consistió en la colocación de detectores en el Socavón intermedio y fuentes de energía en los socavones extremos, con 12 detectores y 18 puntos de tiro, como se muestra en la fig. -- XVIII, obteniendo así 12 registros por cada punto de tiro.

IV.3.2.- Interpretación.

a).- Microsísmica:

Como en el caso del método de refracción, de los registros - (Sismogramas) de ondas longitudinales se procede a discretizar los tiempos de arribo, con el fin de formar la gráfica tiempo-distancia (dromocrónica) y calcular las velocidades longitudinales.

La construcción de la gráfica tiempo distancia para velocidades transversales se logra mediante el empalme o superposición de los registros que se hicieron con impactos en dirección opuesta, marcando en ellos los tiempos donde se producen los cambios de polaridad en las ondas transversales.

Otro análisis que frecuentemente se hace para facilitar la localización de las ondas transversales es la determinación de las frecuencias características, de acuerdo al tipo de roca o suelo de que se trate, identificándose también la señal transversal.

Conociendo las velocidades longitudinales, las transversales y la densidad de la roca ( de laboratorio o registros gamma-gamma) se procede a calcular los siguientes parámetros: Coeficiente de Poisson, Módulo de Young, Módulo de Rigidez y Módulo Volumétrico, que están relacionados con aquellas propiedades mediante las fórmulas expuestas en el capítulo anterior. La interfase elástica que marca la separación de 2 contactos es obtenida mediante los espesores de la gráfica de ondas longitudinales.

De acuerdo con las difracciones que sufren las ondas durante su trayectoria, es posible hacer una interpretación cualitativa de las paredes del socavón, señalando zonas anómalas. -

La figura XVII muestra este tipo de estudio aplicado en el socavón 6, donde se ve la posición relativa de los geófonos y los puntos de tiro, marcándose además la calidad de la roca, de acuerdo a los resultados de módulos dinámicos.

b).- Crossadit.

El método de crossadit, con interpretación por caracterización sísmica, presenta una distribución de velocidades en celdas (fig. XVIII) para evaluar el macizo rocoso en forma estadística, por áreas y ordenadamente, las cuales proporcionan una idea muy objetiva del comportamiento del macizo rocoso.

IV.4.- Sismología de Pozos.

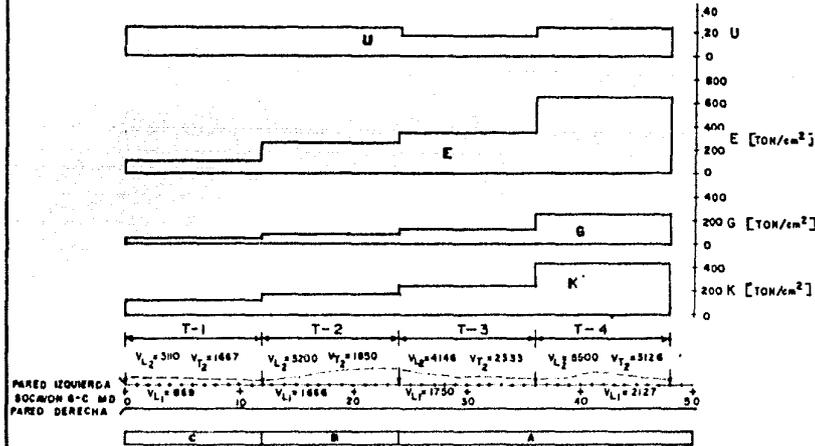
De los métodos sísmicos de pozos, aquí se describe el método Down-Hole por ser el que se ha empleado en el P.H. Aguamilpa, Alternativa Colorines, para la verificación de las velocidades de las ondas longitudinales en las distintas capas del subsuelo.

IV.4.1.- Trabajos de Campo.

El arreglo utilizado consistió en la colocación de 12 detectores distribuidos sobre el terreno, cerca de la boca del pozo, en forma

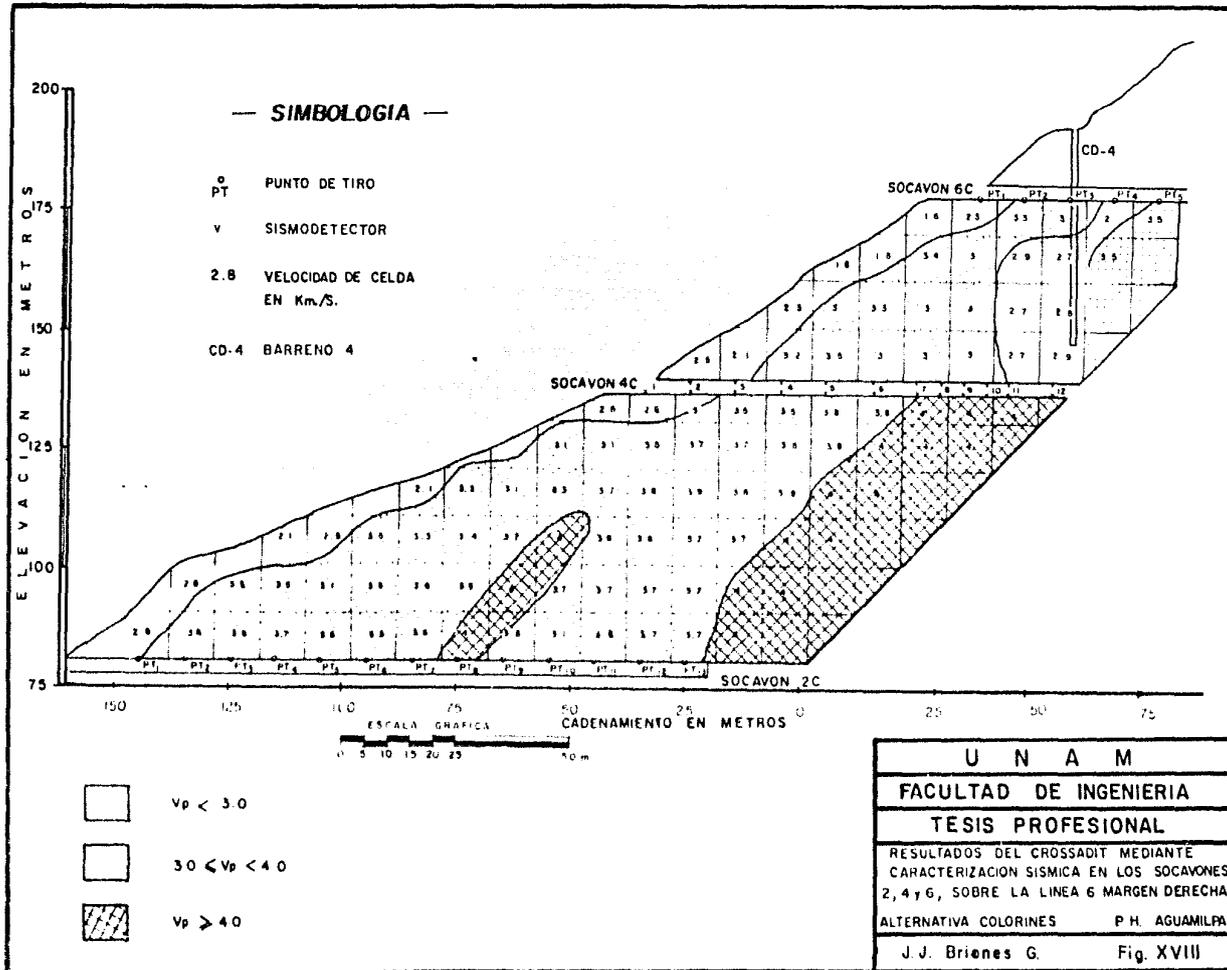
## S I M B O L O G I A

FUENTE DE ENERGIA	-----	↓
GEOFONOS (LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL)	-----	•
VELOCIDAD LONGITUDINAL DEL PRIMER ESPESOR m/seg.	-----	$V_{L1}$
VELOCIDAD LONGITUDINAL DEL SEGUNDO ESPESOR m/seg.	-----	$V_{L2}$
VELOCIDAD TRANSVERSAL DEL SEGUNDO ESPESOR m/seg.	-----	$V_{T2}$
RELACION DE POISSON (ADIMENSIONAL)	-----	U
MODULO DE YOUNG	-----	E
MODULO DE CORTE	-----	G
MODULO DE BULK	-----	K
ROCA COMPACTA POCO FRACTURADA	-----	▬
ROCA COMPACTA FRACTURADA	-----	▬
ROCA COMPACTA FRACTURADA Y PERMEABLE	-----	▬
ZONA DECOMPRESIDA	-----	▬
LONGITUD TENDIDO SIMICO	-----	T-1
DENSIDAD 2.54 (gr/cc)	-----	D



0 2 4 8 m.  
ESCALA GRAFICA

U N A M	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
ESTUDIO SIMICO PARA LA ESTIMACION DE LAS PROPIEDADES DINAMICO-ELASTICAS DENTRO DEL SOCAVON 6-C M D ALTERNATIVA COLORINES P.H. AGUAMILPA	
J. J. Briones G.	Fig. XVII



de cruz o vértice de tres líneas, ubicadas en diferentes direcciones.

Se colocaron puntos de tiro en el interior del pozo a diferentes profundidades; en el caso de estudios a detalle se recomienda hacer puntos de tiro cada metro. La distancia (offset) de los detectores cercanos a la boca del pozo fue de 50 cm., aunque los demás tuvieron un arreglo variable, formando círculos, cuyo radio máximo fue de 4 metros. (Fig. XIX).

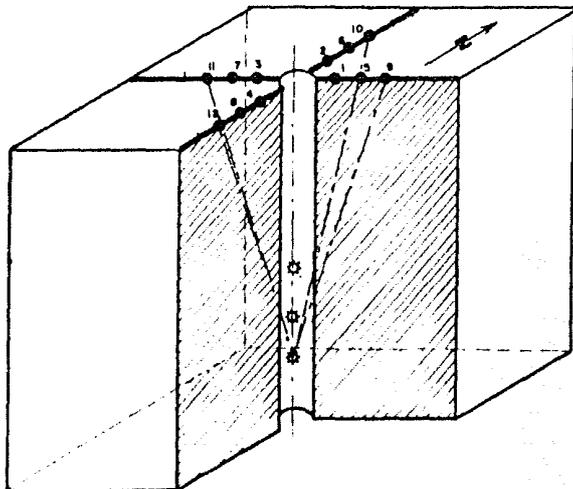
#### IV.4.2.- Interpretación.

Los tiempos obtenidos en los sismogramas se corrigieron mediante las fórmulas 14, 15, 16 y 17, descritas en el capítulo anterior, con las cuales se construyeron las gráficas de tiempo verticales, velocidad media y velocidad de intervalo, contra la profundidad.

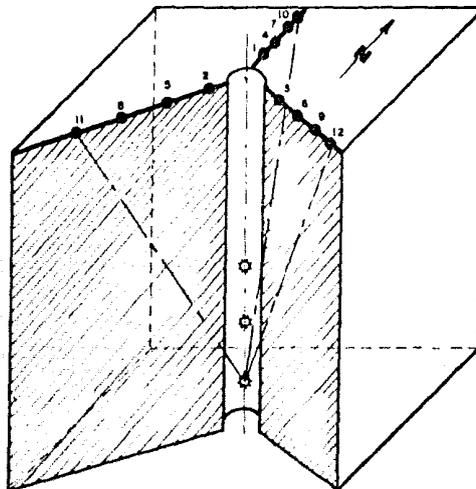
La figura XIX muestra un ejemplo en el que los geófonos más cercanos a la boca del pozo son seleccionados para el análisis de la velocidad de las ondas longitudinales en sus trayectorias verticales, debido a que en ellos la reducción a la vertical deja casi inalterados los tiempos de arribo observados, mientras que los geófonos más retirados sólo refuerzan la información de los más cercanos.

Sin embargo, es conveniente mencionar la importancia de este método

ARREGLO 1



ARREGLO 2



**SIMBOLOGIA**

DETECTOR ——— ○  
 PUNTO DE TIRO ——— ⊙

U N A M
FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
DISPOSITIVO DEL METODO DOWN - HOLE
ALTERNATIVA COLORINES P.H. AGUAMILPA
J. J. Briones G. Fig. XIX

do geofísico en un proyecto hidroeléctrico, pues si bien el procedimiento es desfavorable por la destrucción del pozo, se ve compensado al obtenerse buena información sobre la anisotropía existente, la cual es debida a cavidades o fracturas que afectan lateralmente una sola dirección. Así, es determinado un cono que proporciona información de las zonas de alteración y/o fracturamiento, así como de los cambios de compacidad de las rocas, dando por resultado anomalías de velocidad confinadas a zonas específicas.

Para el cálculo de las velocidades es necesario contar con un buen control de las desviaciones que ha sufrido el pozo y de las fluctuaciones en su diámetro, por lo cual se recomienda correr registros de verticalidad, con inclinómetro, y caliper para hacer las correcciones respectivas, si fuera necesario, ya que la dispersión que muestran en ocasiones las gráficas son originadas por esos factores y si no son consideradas, traen como consecuencia malas interpretaciones de los datos.

## V.- CORRELACION GEOLOGICA - GEOFISICA.

La correlación Geológica-Geofísica, en la etapa de factibilidad -- del P.H. Aguamilpa se hizo analizando por separado cada una de las líneas mostradas en la figura VI, todas ellas contenidas en el informe geofísico de Factibilidad (C.F.E. 1983).

Para la presente tesis, sin embargo, sólo se discutirán las líneas GC-6 y GC-8 y E-E', por ser éstas las más importantes para fines de diseño.

La línea GC-6 se ubica sobre el eje de la cortina del anteproyecto Concreto-Gravedad y corta transversalmente a los túneles de desvío; la línea GC-8 coincide con el eje de la cortina del anteproyecto de Materiales Graduados y corta transversalmente el vertedor de demasías, a los túneles de desvío y a la tubería de presión de materiales graduados.

La línea E-E', por su parte, muestra la sección longitudinal de la planta hidroeléctrica subterránea, que contiene la obra de toma, -- la casa de máquinas, el pozo de oscilación y las tuberías de presión.

## V.1.- Secciones Geoeléctricas.

### V.1.1.- Secciones de Resistividad Aparente.

Se construyeron secciones de resistividad aparente (pseudo secciones), para las líneas longitudinales y transversales mostradas en la fig. VI, con la finalidad de relacionar las anomalías, siguiendo máximos y mínimos resistivos, con rasgos estructurales como fallas, fracturas o diques ígneos.

Las secciones de resistividad aparente de las líneas GC-6 y GC-8, se ilustran en las figuras VII y VIII y presentan un ejemplo de la localización de diques:

- A) La sección GC-6 de resistividad aparente muestra los diques mapeados por geología superficial, así como los diques detectados dentro de los socavones 1-C, 2-C, 3-C, 4-C, 5-C y 6-C, asociados a máximos y mínimos resistivos.
- B) La sección GC-8 de resistividad aparente permite asociar también el mapeo superficial a máximos o mínimos resistivos - - (ver fig. VIII).

De acuerdo a la clasificación geológica, existen dos tipos - de diques ígneos en el sitio, los diabásicos y los monzoníti

cos. Por interpretación geoelectrica de diques diabásicos -- se relacionan a altos resistivos mientras que los diques -- monzonfticos se relacionan más bien con los mínimos resistivos.

#### V.1.2.- Correlación Geológico-Geoelectrica.

Con las pseudosecciones de resistividad aparente, transversales y paralelas al rfo, se formó una rejilla para rastrear posibles estructuras, ocultas al mapeo superficial o que afloran parcialmente, por la asociación de trenes de anomalías (máximos o mínimos -- resistivos), dando como resultado el plano de resistividad aparente-Geología (Fig. IX).

#### V.1.3.- Secciones Geoelectricas.

A).- La sección Geoelectrica de la línea GC-6 muestra las diferentes capas que han sido correlacionadas mediante su resistividad; la figura X muestra también una zona anómala que se ha interpretado como fracturamiento con relleno arcilloso, por las bajas resistividades, localizándose bajo el S.E.V. 43 -- en la margen derecha. Esta anomalía ha sido confirmada mediante la sección de resistividad aparente y por el barrenos CD-4, en el lugar señalado.

En la margen izquierda, de acuerdo al contraste que se nota en los valores de resistividad aparente, se detecta una falla que se corrobora mediante los S.E.V. 72, 73 y 74.

B).- La sección Geoeléctrica de la línea GC-8 (Figura XI) muestra 5 discontinuidades de resistividad, debidas probablemente a fracturamiento. Al correlacionar éstas con la sección de resistividad aparente, se nota cierta relación con los mínimos de la configuración que pudieran tener su origen en las pequeñas zonas de mineralización producidas por acción hidrotermal.

Como quiera que sea, la existencia de las anomalías de resistividad indica la presencia de factores adversos que disminuyen globalmente la calidad y las propiedades geomecánicas del macizo rocoso en esta línea.

El sondeo 97 (Fig. VIII) muestra, asimismo, una zona anómala que parece ser la continuación de la falla detectada en la margen izquierda de la sección GC-6. Sin embargo, la anomalía no es lo suficiente clara por la heterogeneidad geoelectrica debida a la presencia de diques ígneos.

C).- La sección Geofísica, E-E' longitudinal a la Planta Hidro-

eléctrica subterránea, interpreta un modelo geoelectrico -- con 2 y 3 unidades cuasiestratificadas y la existencia de 3 zonas anómalas, una de las cuales, la de baja resistividad, puede ser causada por rocas muy fracturadas asociadas con - escurrimientos de agua (fig. XII).

## V.2.- Métodos Sísmicos

### V.2.1.- Refracción Sísmica.

A través de las 19 líneas transversales al río, localizadas en la figura VIII, se hicieron tendidos sísmicos de refracción que fueron interpretados en base a modelos de capas planas e inclinadas, asimismo por el método de tiempo retraso (Apéndices A y C).

Las secciones sísmicas que aquí se presentan fueron seleccionadas de acuerdo a su importancia geotécnica dentro del anteproyecto.

A).- La sección de Refracción Sísmica sobre la línea GC-6, formada con tendidos de longitud variable, muestra básicamente -- una capa de suelos cuyo espesor va de 2 a 4 metros y su velocidad compresional de 0.3 a 0.6 km/seg., en ambos márgenes -- del río (Figura XIII). Como puede observarse, en la margen -- izquierda la segunda capa (bajo los suelos) presenta velocidades promedio de 1.8 km/seg. y un espesor promedio de 14 m

tros. Subyaciendo a la segunda capa, las velocidades van de 3.3 a 4.2 km/seg.

En la márgen derecha la segunda capa muestra velocidades que van de 1.8 a 2.8 km/seg., con espesores de 12 a 48 metros; - bajo la misma, las velocidades oscilan de 3.8 a 4.2 km/seg. (Figura XIII). Cabe mencionar que en la márgen izquierda no se logró detectar la falla interpretada en la sección geoelectrica correspondiente, atribuyendo esto a que el salto de falla se encuentra muy profundo (detectado por geoelectrica 80 metros), mientras que el espesor que muestra la segunda capa sísmica es muy pequeño ( 12 metros ) y al mismo tiempo, el refractor de alta velocidad no permite tener una mayor profundidad de exploración.

B).- En la sección de Refracción sísmica, sobre la línea GC-8, la capa de suelos (primera capa) presenta idénticas propiedades sísmicas y espesores que la sección anteriormente descrita.

En la márgen izquierda el espesor de la segunda capa varía - de 32 a 12 metros y las velocidades de 1.9 a 2.5 km/seg; bajo esta unidad se registran velocidades de 3.8 a 4.9 km/seg.

En la márgen derecha la velocidad de la segunda capa varía - de 0.8 a 2.6 km/seg; bajo ésta se localizan rocas con veloci

dades que varían de 2.7 a 3.7 km/seg. (Fig. XIV).

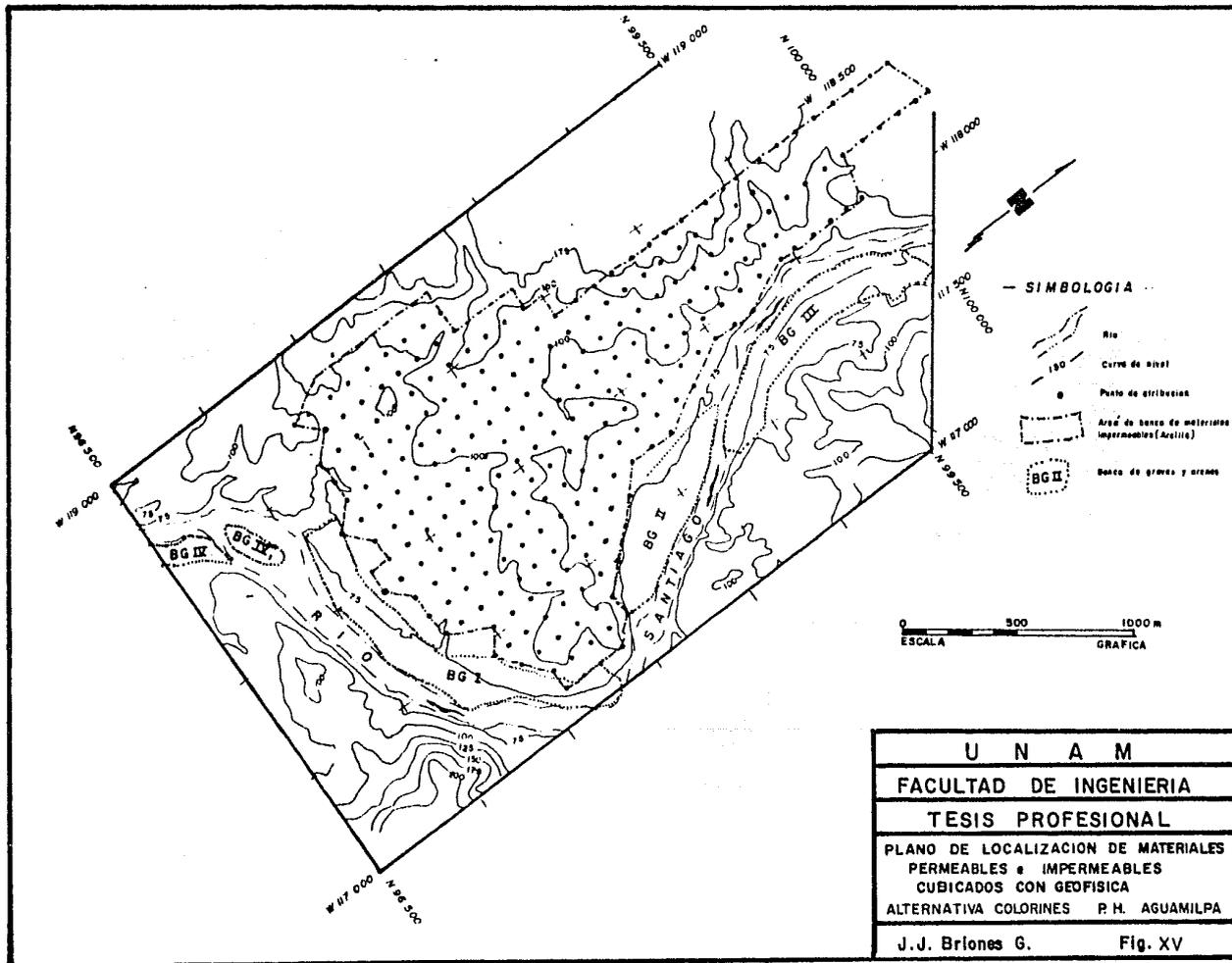
C).- La sección E-E' de la figura XII muestra una interpretación por interpolación puntual de resultados sísmicos, tanto de espesores como de velocidades, que han sido tomados de las secciones transversales.

#### V.2.2.- Bancos de Agregados

El plano de localización de bancos de materiales para la construcción, que ha sido ubicado con geofísica (Figura XV), muestra los contactos de los bancos permeables a impermeables.

##### V.2.2.1.- Material Impermeable.

En el banco de material impermeable (arcilla) denominado "El Vicenteño", por encontrarse cerca del lugar del mismo nombre, se realizaron 50 S E V, y 271 tendidos sísmicos para su ubicación, pudiendo calibrarse en pozos a cielo abierto. Este hecho fue de enorme utilidad para la interpretación sísmica, no así para la geoeléctrica, dado que los S E V se vieron afectados por la roca argilitizada que se confundía con la arcilla. Los resultados sísmicos fueron en este caso más confiables, de acuerdo a las calibraciones, obteniéndose una velocidad característica de las arcillas de 350 m/seg, que contrasta con la correspondiente a la roca argilitizada subyacente.

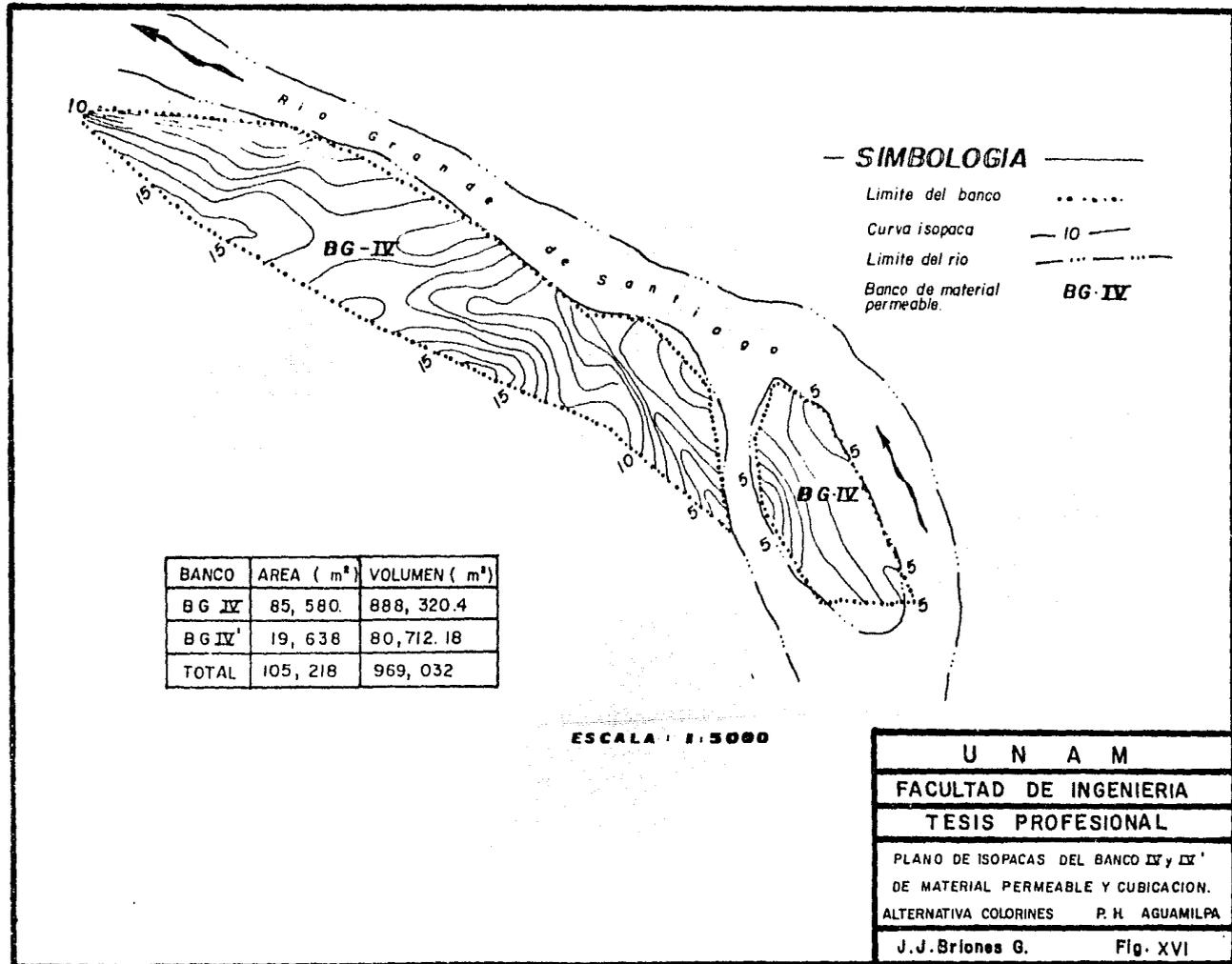


te, de 600 a 900 m/seg. La superficie cubicada fue de 2,418,000 m<sup>2</sup> arrojando el cálculo un volumen total de 3,117,244 m<sup>3</sup>, con lo - - - cual se descarta el volumen de suelos no arcillosos.

Debido a los requerimientos del anteproyecto de cortina de materia les graduados, fué necesario estudiar el banco de arcilla "San Rafael", cubicándose solamente la margen izquierda con el método sísmico de refracción, que arrojó un volumen aproximado de 1,320,000 m<sup>3</sup>, en un área de 710,000 m<sup>2</sup>. Aunque en estos dos sitios no se alcanzó la cifra mínima requerida de 6,200,000m<sup>3</sup>, se cree que el potencial de los bancos Sn Rafael (margen derecha), Mangos, El Chilte y El Sordo, estimado en unos 3,500,000m<sup>3</sup>, completará el volumen necesario para satisfacer las necesidades de dicho proyecto.

#### V.2.2.2.- Material Permeable.

Los bancos de material permeable (gravas y arenas), que se localizan en la figura XV, fueron cubicados con métodos sísmicos empleando una longitud de tendidos variables, según las condiciones del - - - perímetro de cada banco; de esta forma se determinó la velocidad - - - caracterfstica de las arenas en 600m/seg. y las de gravas en 1500 a 1800 m/seg, encontrando bajo estos materiales velocidades mayo-- res a 3500 m/seg. Un ejemplo de procedimeinto de cubicación, segui-- do para estos bancos, se muestra en la figura XVI, donde se tiene el mapa de isopocas de los bancos IV y IV', cubriéndose un área de



105,218 m<sup>2</sup> con un volumen de 969,032 m<sup>3</sup> de grava y arena.

El volumen global de gravas y arenas, considerando todos los bancos estudiados, fué de 12,012,055m<sup>3</sup>, en un área de 814,761 m<sup>2</sup>, satisfaciendo de esta manera las necesidades de cualquiera de los -- anteproyectos mencionados previamente.

### V.2.3.- Sismología de Socavones.

#### V.2.3.1.- Microsísmica.

Los estudios sísmicos para la estimación de las propiedades elasto-dinámicas, dentro de los socavones 1-C, 2-C, 3-C, 4-C, 5-C y -- 6-C, se presentan en el informe geofísico de factibilidad (C.F.E., 1983), donde se clasificó la roca en base a sus módulos elásticos y su fracturamiento.

A manera de ejemplo, la figura XVII contiene una descripción de -- las propiedades elásticas dentro del socavón 6-C, localizado en la margen derecha, basados en el levantamiento de la pared izquierda del mismo, donde se realizaron 4 tendidos de 12 metros de longitud, cubriendo así una extensión de 49 metros. La zona de roca descomprimida tiene un espesor promedio de 0.50 metros y una velocidad longitudinal promedio de 1600m/seg. La segunda capa, bajo dicha zona, muestra velocidades longitudinales de 3100 a 5500 m/seg. y ve-

locidades transversales de 1667 a 3126 m/seg., proponiéndose la siguiente clasificación de calidad de roca en base a los módulos dinámicos y al fracturamiento:

CALIDAD A.- Presenta una relación de Poisson de 0.20 a 0.24; módulos: de Young mayores de 350 (Ton/cm<sup>2</sup>), de rigidez mayores de 110 (Ton/cm<sup>2</sup>) y volumétrico mayor de 260 (Ton/cm<sup>2</sup>).

CALIDAD B.- Presenta relaciones de Poisson de 0.26; módulos: de Young de 210 (Ton/cm<sup>2</sup>), de rigidez de 50 (Ton/cm<sup>2</sup>) y volumétrico de 180 (Ton/cm<sup>2</sup>).

CALIDAD C.- Muestra una relación de Poisson de 0.20; módulos: de Young de 160 (Ton/cm<sup>2</sup>), de rigidez de 70 (Ton/cm<sup>2</sup>) y volumétrico de 130 (Ton/cm<sup>2</sup>).

#### V 2.3.2. Método Crossadit.

Los resultados muestran una zona de velocidad baja, de 1.6 a 2.8 km/seg., correspondiente a la zona de encape, mientras que en general, a profundidad la roca muestra velocidades altas de 4 km/seg, que pueden asociarse con rocas de buena calidad. Esta configuración coincide con las velocidades sísmicas obtenidas por sísmica de refracción, particularmente la zona de velocidades bajas que se localiza entre los socavones 6-C y 4-C, a su vez confirmada por el ba

rreno CD-4, que muestra una zona de intenso fracturamiento en ese sector.

### V.3.- Información Geológica y Geotécnica (C.F.E. Factibilidad Geotécnica alternativa Colorines 1983).

En el área de la boquilla aflora únicamente ignimbrita dacítico--riodacítico, intrusionada por diques pórfido andesíticos, monzoníticos y diabásicos. La ignimbrita se distribuye en toda el área y su espesor es desconocido, pero se infiere que sea de varios cientos de metros; se presenta comunmente silicificada en grado variable, y en menor proporción propilitizada y argilitizada.

La margen derecha está constituida por dos cuerpos ignimbríticos: uno masivo, que cubre casi toda el área de la boquilla y otro, localizado 300 metros aguas abajo del eje de la misma, se presenta compacto, pseudoestratificado, con actitud  $26^{\circ}\text{NE}$  e inclinación  $28^{\circ}\text{NW}$  y pseudoestratos menores de 0.60 metros.

La margen izquierda está disectada por grandes fracturas que controlan arroyos profundos, cuyos sistemas son:

1.-  $N 64^{\circ} - 86^{\circ}\text{E}$  con inclinación de  $59^{\circ}$  a  $90^{\circ}\text{SE}$

2.-  $N 34 - 63\text{W}$  con inclinación de  $64^{\circ}$  a  $90^{\circ}\text{NE}$

Durante estas exploraciones se excavaron 6 socavones con sección -- de 2.40 x 2.90 metros, haciendo un total de 720 metros lineales -- de túneles exploratorios. En los socavones las fracturas principales se presentan con una frecuencia de 10 a 15 por cada 100 metros; están rellenas de arcilla de origen hidrotermal con fragmentos de roca, cuyo espesor varia de 0.3 a 20 centímetros, y una inclinación general de 50° a 90° al SE y NE, de tendencia oblicua y paralela al cauce del río.

En cuanto a perforación se hicieron 25 barrenos de diamante, en -- los que se recuperaron 1,940 metros de núcleo; en estas perforaciones se realizaron además pruebas de permeabilidad tipo lugeón en -- una longitud de 1,085m.

El barreno CD-3, localizado en la margen izquierda (Fig. IX), con coordenadas X = 112,876.2, Y = 103,325.5, elevación 94.3 m.s.n.m., profundidad de 50.55 y diámetro de 2½", se tomará como referencia para ilustrar la forma de la interpretación geológica en barrenos.

Quitando los primeros 5 metros de suelos en este barreno, la roca de regular calidad corresponde al tramo entre 5 y 10 metros de profundidad, en donde la recuperación promedio es de 80 por ciento -- y el R.Q.D. varia de 65 a 80 por ciento, con roca poco permeable -- a impermeable, la cual pertenece a la segunda capa de velocidad --

media (1.8 kg/seg.) localizada en la sección sísmica GC-6 (figura XIII) y es clasificada, según la tabla de calidad de roca (figura IX), con calidad E.

De 10 a 17 metros de profundidad se tiene roca en la calidad, en donde la recuperación promedio es de 78 por ciento, con R.Q.D. menor al 50 por ciento; en este tramo del barreno no se hicieron pruebas de permeabilidad, pero en general la roca es impermeable, por lo que se le considera como una zona de roca fuertemente fracturada y oxidada, clasificada según la sección GC-6 de calidad de rocas como de tipo E. (Fig. XXI), de acuerdo a la tabla de propiedades geofísicas (figura XX).

Abajo de esta profundidad, el R.Q.D. promedio es de 90 por ciento, con más de 90 por ciento de recuperación, catalogándosele según geología y geofísica, como impermeable y de buena calidad (C.F.E. Geotécnica 1983).

#### V.4.- Integración de Resultados.

Del restreamiento geológico superficial que se hizo para los diques ígneos (figura IX), así como su aparición en barrenos y socavones, fue posible realizar una correlación geológico-geofísico mediante la asociación de las anomalías (máximo o mínimos) de re-

TIPO DE ROCA	CARACTERISTICAS GEOFISICAS	DESCRIPCION DE ROCA
A	Velocidad alta y resistividad alta	Roca compacta poco fracturada y poco alterada
B	Velocidad alta y resistividad media	Roca compacta poco fracturada con cierta permeabilidad y poco alterada
C	Velocidad alta y resistividad baja	Roca compacta y fracturada permeable y/o con contenido de arcilla dentro del fracturamiento
D	Velocidad media y resistividad alta	Roca poco compacta fracturada y poco alterada
E	Velocidad media, resistividad baja y media	Roca poco compacta fracturada y alterada con cierta permeabilidad ó argilitización
F	Velocidad baja, resistividad baja, media y alta	Roca de mala calidad (intemperizada y muy fracturada): talud, suelo roca con cierta permeabilidad ó roca alterada por argilitización
Z A	Zona anomala	Corresponde a mediciones geofisicas no correlacionables dentro del area estudiada y que pueden ser causadas por zonas de intenso fracturamiento ó estructuras como fallas ó intrusivos

**Rango s:**

Velocidad alta mayor de 3500 m/s

Velocidad media de 1800 a 3500 m/s

Velocidad baja menor de 1800 m/s

Resistividad alta > de 500 ohms-m

Resistividad media de 200 a 500 ohms-m

Resistividad baja < de 200 ohms-m

<b>U N A M</b>	
<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
P. H. AGUAMILPA	
CALIDAD DE ROCA POR GEOFISICA ALTERNATIVA COLORINES	
J. J. Briones G.	Fig. XX

sistividad aparente, en planta, con estructuras parcialmente expuestas.

Por otra parte como contribución a la parte geotécnica, se realizó una integración de parámetros geofísicos (velocidad y resistividad) con los índices de calidad de roca, proponiéndose una clasificación preliminar en la tabla que se muestra en la figura XX, que ha sido formada considerando todas las líneas de la figura VI -- (Sánchez, 1983). A manera de ejemplo se exponen los perfiles GC-6, GC-8 y E-E' en las figuras XXI, XXII y XXIII, respectivamente, donde se localizan cortes de las obras en los anteproyectos, así como la calidad de roca que se interpreta en esos sitios.

A).- Calidad de roca de la sección GC-6.- Debido a la importancia que reviste la elección del eje de la boquilla, ubicado según la sección GC-6 del anteproyecto de concreto gravedad, se contó con exploración directa a detalle sobre barrenos y socavones; de igual manera se realizó exploración indirecta (métodos geofísicos).

El método cross-adit, ilustrado en la figura XIII perteneciente a línea GC-6, muestra en detalle el comportamiento del macizo rocoso mediante un análisis de velocidades por rejilla, garantizando que a profundidad la roca mejora, aunque entre

los socavones 4 y 6 se encuentra una zona de baja velocidad originada por un sector de rocas fracturadas.

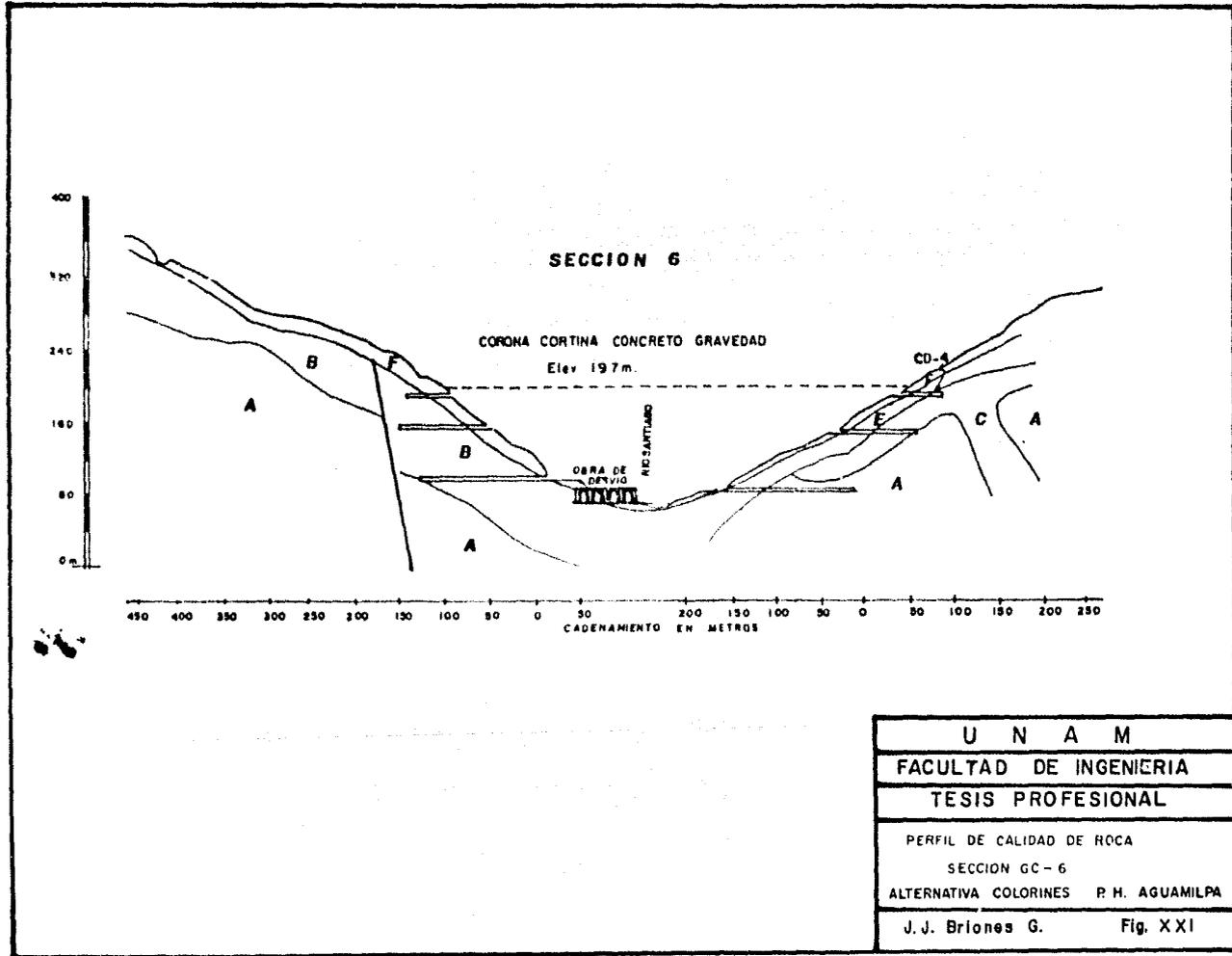
De acuerdo con la tabla de calidad de roca ilustrada en la -- figura XX, la sección GC-6 (figura XXI), tiene la siguiente - clasificación:

Margen derecha.- Está constituida por una roca de calidad F - con 6 metros de espesor: la roca de calidad E cuenta con un - espesor de 20 metros; bajo ésta se encuentra una roca de tipo B, considerada de buena calidad; en la base de la sección se detecta la roca de calidad A, de muy buena calidad.

Margen izquierda.- La parte superficial está marcada por una roca de calidad F (muy mala calidad) cuyo espesor varía de 2 a 4 metros, mientras que la roca de calidad E tiene espesor - de 8 a 20 metros.

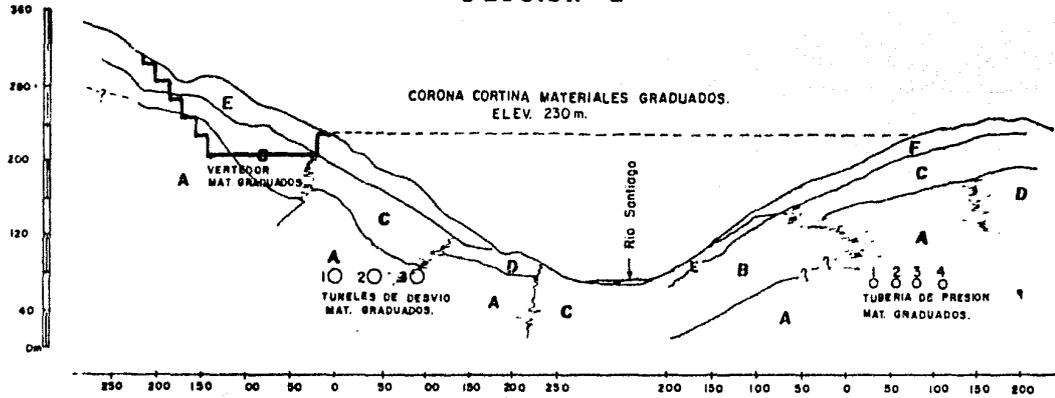
La roca de calidad tipo C, que corresponde a una roca de buena calidad, tiende a profundizarse, encontrándose rodeada de roca de muy buena calidad ( Tipo A ).

B).- Calidad de roca en la sección GC-8 (figura XXII).- Esta sección representa al eje de la boquilla y corta transversalmente a las siguientes obras: Vertedor de demasías, túneles de -



<b>U N A M</b>	
<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
PERFIL DE CALIDAD DE ROCA	
SECCION GC-6	
ALTERNATIVA COLORINES	P.H. AGUAMILPA
J.J. Briones G.	Fig. XXI

## SECCION 8



U N A M

FACULTAD DE INGENIERIA

TESIS PROFESIONAL

PERFIL DE CALIDAD DE ROCA  
SECCION GC - 8

ALTERNATIVA COLORINES P. H. AGUAMILPA

J. J. Briones G.

Fig. XXII

desvío y tuberías de presión de materiales graduados.

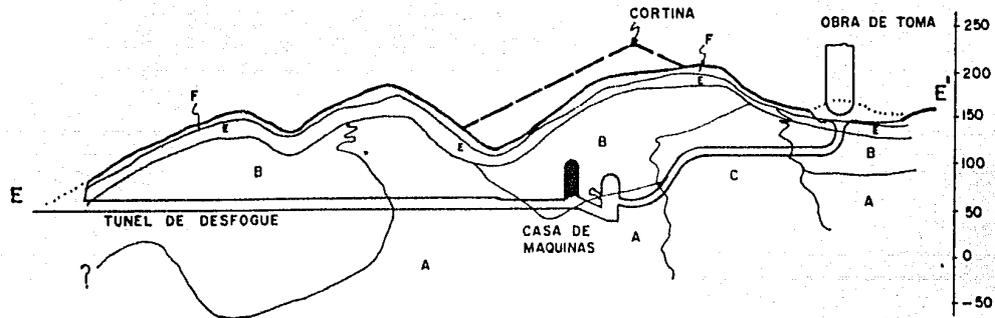
Margen derecha.- Está constituida por una capa de suelos de calidad E, cuyo espesor es de 8 a 20 metros, y está cubriendo a una roca de calidad C, que es en general de buena calidad; la roca de calidad D se localiza en las cercanías de ríos y es de regular calidad, mientras que la zona de calidad A se encuentra bajo las zonas de calidad C y D, asegurando que a profundidad la roca es de excelente calidad.

Margen Izquierda.- La parte superficial está constituido por rocas de calidad E y F, por debajo de las cuales las rocas -- son de calidad B y C que, aunque de buena calidad, denota -- fracturas en esa zona.

Dentro de la zona de calidad A se localiza la tubería de presión quedando en rocas competentes pese a encontrarse entre -- fracturas.

C).- Sección E-E' de calidad de roca (figura XXIII).- Esta sección contiene la obra de toma, tubería de presión, casa de máqui-- nas, pozo de oscilación y túnel de desfogue.

Fue construida mediante la interpolación de sondeos eléctri--



<b>U N A M</b>	
<b>FACULTAD DE INGENIERIA</b>	
<b>TESIS PROFESIONAL</b>	
SECCION E-E' DE CALIDAD DE ROCA	
ALTERNATIVA COLORINES	P. H. AGUAMILPA
J. J. Briones G.	Fig. XXIII

cos y de datos de sismología tomados de las líneas o tendidos transversales al río.

La descripción que aquí se hace se refiere a la interpolación de calidad de roca esperada para cada obra civil.

- 1) La obra de toma se encuentra sobre una roca de mala calidad - "E", con espesor promedio de 4 metros bajo la cual se tiene roca competente de calidad B.
- 2) La tubería de presión, que comunica a la obra de toma con casa de máquinas, atraviesa rocas de calidad B, C y A,. Las discontinuidades que aparecen rodeando la roca de calidad C se deben a fracturas, las cuales no obstante que están cerradas en superficie, a profundidad siguen manifestándose.
- 3) La casa de máquinas y el pozo de oscilación se encuentra casi exclusivamente en rocas de calidad A y B, consideradas de buena calidad.
- 4) Los túneles de desfogue generalmente se encuentran también en rocas de calidad A y B, que corresponden a buena calidad.

El objeto de las secciones de calidad de roca mostradas - - -

(Figs. XXI, XXII y XXIII) es presentar una síntesis de los - estudios geotécnicos realizados en los sitios elegidos para la construcción de la planta hidroeléctrica, para lo cual -- hubo que incluir secciones de dos anteproyectos diferentes.

## VI.- CONCLUSIONES.

- A) Con los detalles que se hicieron para la detección de diques en superficie, barrenos y socavones, se determinó que estas estructuras en su mayor parte se encuentran soldando a la roca encajonante, mejorando la calidad de la roca adyacente. -- Lo anterior trae como consecuencia que existe mayor seguridad en el macizo rocoso para el asentamiento de las obras civiles.
- B) La zona inestable, localizada en la margen izquierda, corresponde a un depósito de talud que presenta espesores muy pequeños, pero se recomienda la remoción de esas capas o, en su defecto, que sea tratada.
- C) Los bancos de material cuentan con la potencialidad suficiente para satisfacer las necesidades de cualquiera de los anteproyectos mencionados.
- D) En cuanto a la deformabilidad y resistencia del medio rocoso, frente a los esfuerzos impuestos por la naturaleza o por las obras que se vayan a construir, vistos a través de las propiedades elastodinámicas que se evaluaron dentro de los socavones, éstas corresponden en general a una roca de buena calidad.

E) En general, de acuerdo a las descripciones de barrenos, socavones, geología superficial y geofísica, se presenta la tabla de propiedades físicas mostrada en la figura XX, estableciendo por su parte el mismo dictamen de buena calidad de roca, en los sitios donde se encuentran las obras de ambos proyectos.

El encape presenta espesores que varían de 2 a 8 metros, clasificándose como una roca de mala calidad (F). Considerando que el espesor de esta capa es determinante para la cimentación de las obras superficiales proyectadas, deberá ser removida hasta el nivel de desplante sobre la roca que presenta características geotécnicas más favorables.

La roca de calidad D y E, es de regular calidad por lo que se recomienda hacerle un tratamiento mediante inyecciones, con la finalidad de mejorar la calidad de la roca y dar mayor seguridad a las obras proyectadas.

Las rocas de calidad A, B y C presentan en general condiciones favorables para la construcción, sin embargo deberá tomarse muy en cuenta los lugares donde se presenten discontinuidades (zonas anómalas), aún dentro de la misma roca, porque éstos podrían deberse a fallas o fracturas de gran importancia en la ubicación de las obras.

Se concluye que, gracias a la abundante cantidad de datos -- que se tienen, se puede asegurar la viabilidad de todas las obras proyectadas, para entregar el sitio al Departamento de Construcción. Si el diseño definitivo sufre cambios sustanciales de ubicación o se hace necesario incrementar la información de alguna área específica, ante problemas no esperados, será conveniente llevar a cabo nuevos estudios durante la etapa de construcción, algunos de los cuales podrán eventualmente ser de tipo geofísico.

A P E N D I C E "A"

METODO TIEMPO - RETRASO

( PETERS - 1980 )

## METODO TIEMPO - RETRASO (Peters 1980)

### I.- INTRODUCCION.

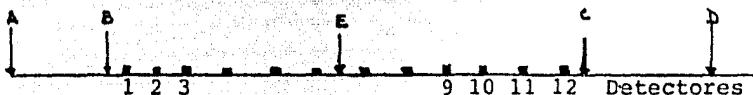
El método de "Tiempo-Retraso" es utilizado para la determinación de 2 contactos irregulares por el método de refracción sísmica. -- Está basado en la técnica de tiempos de retraso (Delay Time) para tendidos de refracción con 4 puntos de tiro laterales (dos en cada extremo), determinando la profundidad del refractor bajo cada geófono. La principal ventaja de este método es que implícitamente elimina el efecto topográfico a través de las correcciones a los tiempos observados.

El método es particularmente útil cuando el contacto refractor tiene un relieve considerable. El intérprete debe elegir en la gráfica "Tiempo-Distancia" los tiempos que difieran significativamente, para así tomar consideraciones especiales en la capa de intemperismo o variaciones de los efectos estructurales en el contacto. Es importante que esas diferencias sean reconocidas e interpretadas. Finalmente, al perfil del contacto obtenido se le hará un suavizamiento a mano, si así lo requiere, según las diferencias en tiempo significantes obtenidas en la gráfica de tiempos fantasmas, de acuerdo al criterio del intérprete.

## II.- OBTENCIÓN DE DATOS.

En la aplicación de esta técnica es necesario tener 4 puntos de tiro (P.T.) por tendido, 2 en cada extremo; también existe la opción de hacer un quinto punto de tiro en el centro del tendido para reafirmar la información. Es común usar la siguiente nomenclatura por punto de tiro.

### TENDIDO SISMICO



Para la obtención de una mejor calidad en la información se recomienda.

- 1.- Tener buen control de las elevaciones en cada uno de los geófonos, para verificar la corrección topográfica.
- 2.- Enterrar los geófonos para protegerlos de la onda de aire.
- 3.- Es necesario hacer pozos poco profundos, donde se localicen -- los puntos de tiro explosivos, con el fin de aprovechar al máximo la energía generada y evitar que gran parte se disipe en el aire.

### III.- ANALISIS, CORRECCION Y CALCULO DE PARAMETROS.

Con los datos de gabinete se procede a analizar los tiempos de los puntos de tiro a cada geófono, tratando de hacer una correlación - cualitativa de los retardos y adelantos en tiempo.

A continuación se muestra un ejemplo (ver tabla de cálculo figura No. 1), donde en la columna I aparece el número de detector, en -- la columna 2 su elevación y en las columnas 3,4,5 y 6 los regis- - tros de tiempo desde los puntos de tiro a cada uno de los geófonos (R.T.<sub>A</sub> = registro de tiempo a partir del punto de tiro A). Con es- tos 4 registros de tiempo conocida la distancia a la que se coloca cada geófono, se construye la gráfica "Tiempo-Distancia", en la -- que se analizan los tiempos, así como las velocidades (ver figura No. 2-A).

La columna 7 de la tabla está constituida por diferencias de tiem- po (D.T.= Diferencias de tiempo en los registros C y B:  $RT_C - RT_B$ ), con las cuales se tiene una idea del número de capas registradas, así como de sus velocidades. En las columnas 8 y 9 se anotan los - tiempos de intervalo, que constituyen las diferencias del tiempo - de cada uno de los extremos ( $T.I. AB = RT_A - RT_B$ ;  $T.I. DC = RT_D - - RT_C$ ).

Se grafican dichas diferencias y auxiliándose de las gráficas tiem

po-distancia (Fig. 2-A), a partir del geófono que marque la 3a. - velocidad aparente, se toma como referencia para calcular una media de valores en la gráfica tiempo de intervalo (fig. 3-C) obteniendo una constante ( $T.I._{AB} = K$ ;  $T.I._{DC} = M$ ) que será utilizada en las columnas 10 y 11. Las cuales están constituidas por los -- tiempos fantasmas, que resultan de la diferencia de los registros de los puntos de tiro más alejados efectuados en los extremos y -- las constantes de la figura 3-C.

$$(T.F._B = R.T._A - K; T.F._C = R.T._C - M).$$

Entonces se forma la gráfica de tiempos fantasmas contra la distancia, de la que puede observarse los efectos de los puntos de tiro más alejados, que se emplearán para determinar el comportamiento -- topográfico del subsuelo (figura No. 3-D).

La columna 12 corresponde a las diferencias de tiempo corregidas, es decir, la diferencia de los tiempos fantasmas,  $DTC = TF_C - TF_B$  determinándose la gráfica de las diferencias de tiempo corregidos contra la distancia que permite calcular la velocidad real de la 3a. capa (figura No. 3-E).

La columna 13 contiene el tiempo de retraso, relativo, obtenido -- con el promedio los tiempos fantasmas.

$$T R R = \frac{T F_C + T F_B}{2}$$

La columna 14 de la tabla está constituida por una corrección de tendido, constante para todos los geófonos, que se define como la suma de tiempos de intercepción de la última capa entre cuatro, - (figura No. 2-A y 4-F).

$$C T = \frac{T_{BC} + T_{CB}}{4}$$

La columna 15 contiene el tiempo de retraso verdadero bajo cada geófono, que es la diferencia del tiempo de retraso relativo y la corrección por tendido.

$$T R = T R R - C T$$

Con los datos de las columnas 13, 14 y 15 que aparecen también la figura No. 4-F se ilustran las diferencias calculadas.

La columna 16 corresponde al espesor de la capa bajo cada geófono, que es calculado de la siguiente forma:

$$E_I = \frac{(T R) V_I}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{V_I}{V_2}\right)^2}}$$

Donde  $V_1$  es la velocidad verdadera, que es el promedio de las velocidades de la primera capa, calculadas con los puntos de tiro B y C, la 2a. velocidad verdadera es el recíproco de la suma de los re-

cíprocos de las velocidades aparentes, multiplicado por dos:

$$V_{2R} = \frac{2}{\frac{1}{V_{BC}} - \frac{1}{V_{CB}}}$$

La representación gráfica de estos resultados se muestra en la fi  
gura No. 4-H.

La columna 17 de la tabla corresponde al tiempo de retraso de la -  
primera capa sobre la 3a. bajo cada geófono, que se obtiene con la  
siguiente fórmula.

$$T R_{13} = \frac{E_1 \sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_1 V_3}$$

La columna 18 constituye el retraso de la 2a. capa sobre la 3a, de  
finida como. (figura No. 4-G).

$$T R_{23} = TR - T R_{13}$$

En la columna 19 se calcula el espesor de la 2a. capa en cada geó-  
fono, mediante la fórmula:

$$E_2 = \frac{T R_{23} V_2 V_3}{\sqrt{V_3^2 - V_2^2}}$$

La columna 20 corresponde a la profundidad hasta la 2a. capa, es decir, la suma de los espesores bajo cada detector:

(figura No. 4-H).

$$Z_2 = E_1 + E_2$$

Logrando de esta manera tener el relieve del primer y segundo refractor con sus correspondientes velocidades.

Una de las maneras que Peters propone para corroborar la eliminación de la topografía es mediante el efecto de sombreado en el que se grafican las elevaciones (columna 2) de cada posición de los geófonos, el tiempo de retraso verdadero bajo cada geófono y, en el caso que se presente una especie de sombra del relieve topográfico, sobre el tiempo de retraso verdadero se concluye que se ha eliminado el efecto topográfico y que el relieve obtenido corresponde a los refractores (Peters 1980).

### CALCULO DE REFRACCION METODO "TIEMPO-RETRASO"

LUGAR: P.H. EL SORDO LINEA: 1 TENDIDO: 1

FECHA: 18 / VI / 81

GEOF.	ELEV.	R.T. A	R.T. B	R.T. C	R.T. D	D.T. RTc-RTd	TI <sub>AB</sub>	TI <sub>DC</sub>	TF <sub>B</sub>	TF <sub>C</sub>	D.T.C.	T.R.R.	C.T.	T.R.	E <sub>1</sub>	T.R.13
							RTA-RTB	RTD-RTC	RTA-K	RTD-M	TFc-TFb	(TFc+TFb)/2		TR-CT		
1	62	40	11	36	73	25	29	37	17	36	19	26.5	19.5	7	1.7	3.6
2	"	40	15	36	74	21	25	38	17	37	20	27.0	"	7.5	1.8	3.8
3	"	45	18	34	71	16	27	37	22	34	12	28.0	"	8.5	2.0	4.2
4	"	44	21	30	68	9	23	38	21	31	10	26.0	"	6.5	1.6	3.3
5	"	54	26	28	67	2	28	39	31	30	-1	30.5	"	11.0	2.6	5.4
6	"	54	29	26	62	-3	25	36	31	25	-6	28.0	"	8.5	2.0	4.2
7	"	54	28	20	57	-8	26	37	31	20	-11	25.5	"	6.0	1.4	2.9
8	"	52	32	22	56	-10	20	34	29	19	-10	24.0	"	4.5	1.1	2.3
9	"	60	40	19	56	-21	20	37	37	19	-18	28.0	"	8.5	2.0	4.2
10	"	65	38	14	50	-26	27	36	42	13	-29	27.5	"	8.0	1.9	4.0
11	"	61	40	12	48	-28	21	36	38	11	-27	24.5	"	5.0	1.2	2.5
12	"	61	38	10	46	-28	23	36	38	9	-29	23.5	"	4.0	1.0	2.1

TR <sub>23</sub> TR-TR <sub>13</sub>	E <sub>2</sub>	Z <sub>2</sub> E <sub>1</sub> +E <sub>2</sub>
18	18	20
3.4	16.0	18.7
3.7	17.4	19.2
4.3	20.2	22.2
3.2	15.0	16.6
5.6	26.4	29.0
4.3	20.2	22.2
3.1	14.6	16.0
2.2	10.4	21.5
4.3	20.3	22.3
4.0	18.9	20.8
2.5	11.8	13.0
1.9	9.0	10.0

$$V_{R2} = \frac{2}{1/V_{C2} + 1/V_{C02}}$$

$$C.T. = \frac{T_{FC} + T_{FB}}{4}$$

$$E_1 = \frac{(T.R.) V_{R1}}{2 \sqrt{1 - (V_{R1}/V_{R2})^2}}$$

$$E_2 = \frac{(TR_{23}) V_{R2} V_{R3}}{\sqrt{V_{R3}^2 - V_{R2}^2}}$$

$$TR_{13} = E_1 \frac{\sqrt{V_{R3}^2 - V_{R1}^2}}{V_{R1} V_{R3}}$$

OBSERVACIONES: Los registros de tiempo multiplicarlos por 10<sup>-3</sup> para tener el tiempo en milisegundos. La profundidad esta en metros

#### TENDIDO SISMICO



FIGURA — 1

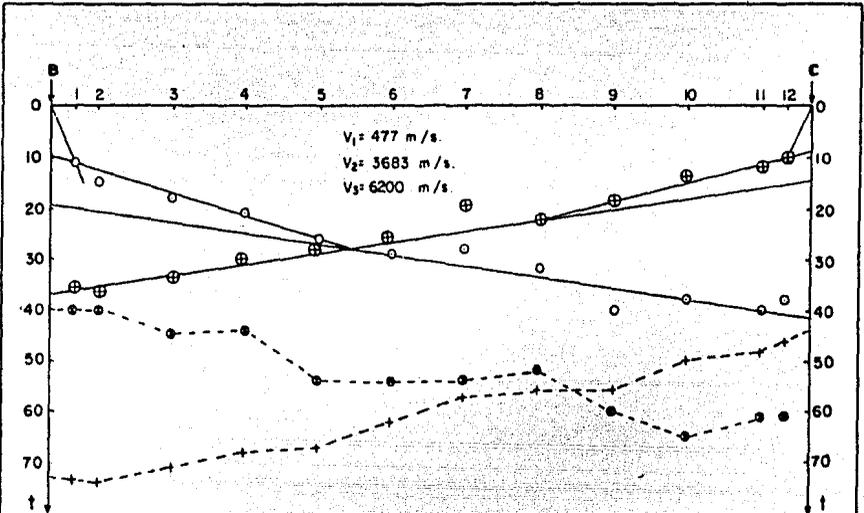


Figura 2-A - Gráfica "Tiempo - Distancia"

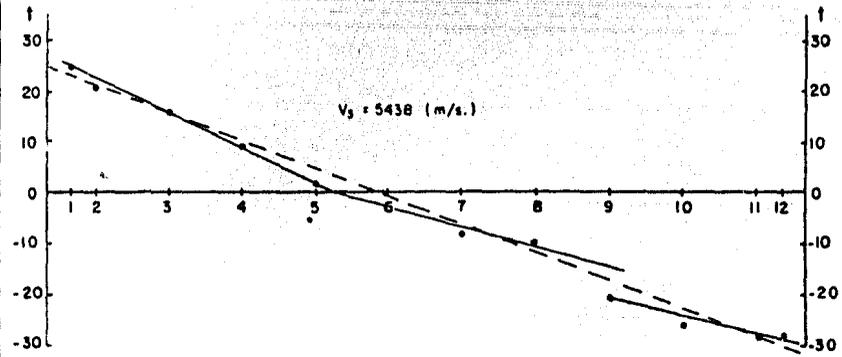
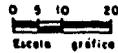


Figura 2-B - "Diferencias de Tiempo"

**SIMBOLOGIA**

- DETECTORES ——— 1. 12
- PUNTO DE TIRO ——— ↓<sup>B</sup>
- REGISTRO DE TIEMPO A — ●
- " " " B — ○
- " " " C — ⊕
- " " " D — +
- TIEMPO (en milisegundos) — t



**FIGURA 2**

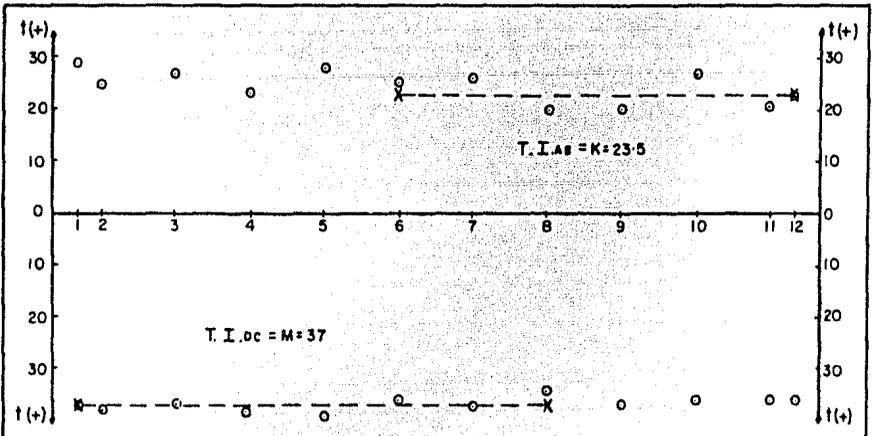


Figura 3-C - "Tiempo de intervalo"

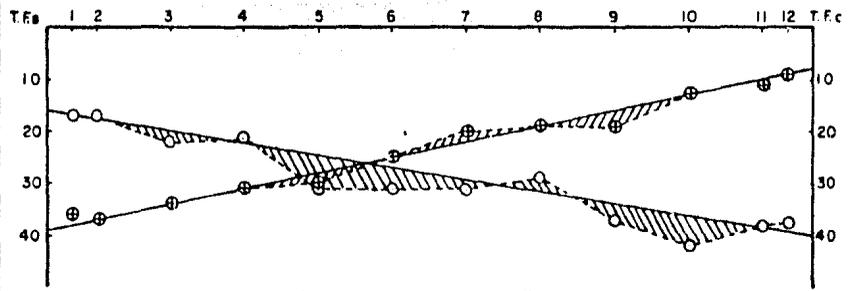


Figura 3-D - "Tiempos fantasma"

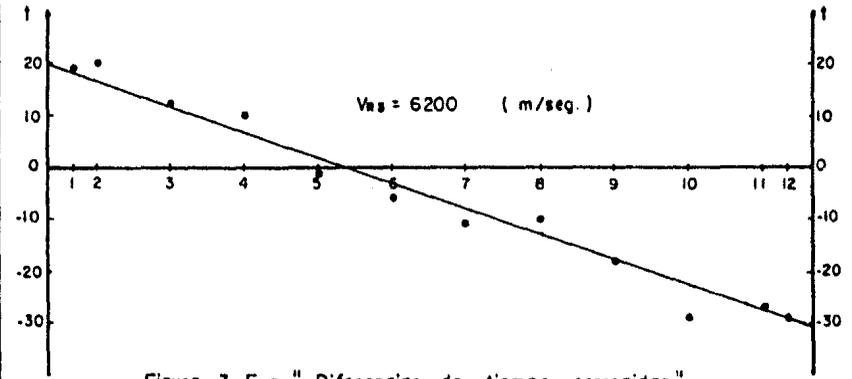


Figura 3-E - "Diferencias de tiempo corregidas"

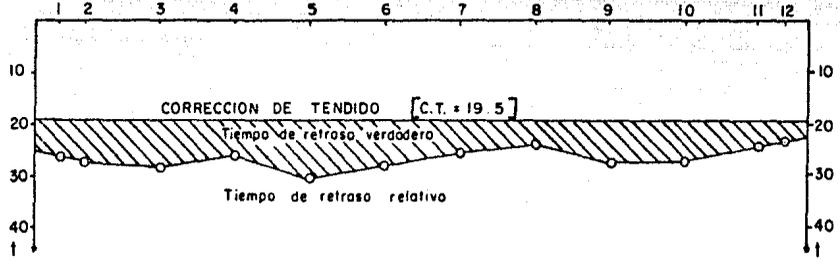


Figura 4-F - Gráfico "Tiempo - Retraso"

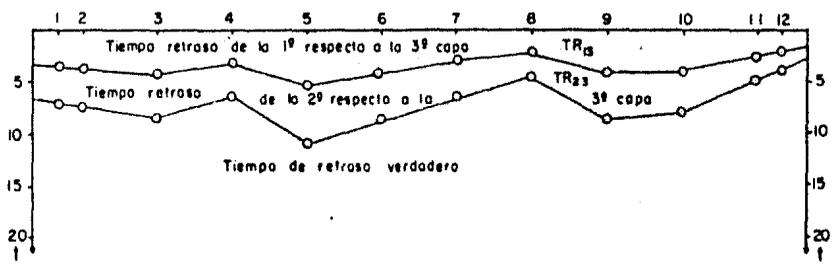


Figura 4-G - "Retraso de la 1ª y 2ª capa"

$V_0 = 477 \text{ m/s}$

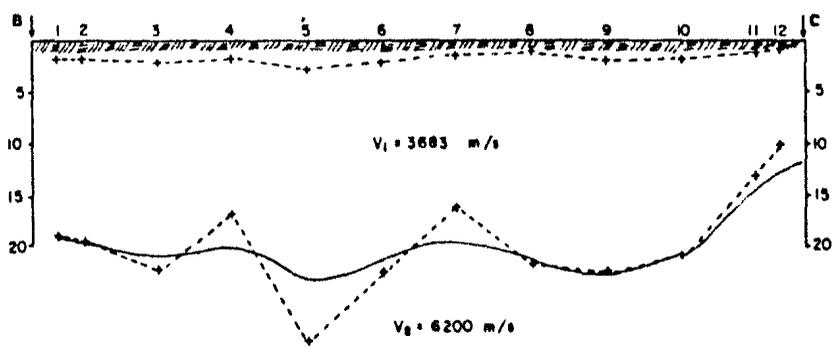


Figura 4-H - Interpretación

A P E N D I C E "B"

PROGRAMA JHOJA3 PARA  
MODELOS GEOELECTRICOS  
EN COMPUTADORA HP-9845B

LENGUAJE BASIC.

```

10 ! NOMBRE DEL PROGRAMA   *** JHOJAJ ***
20 ! CALCULA LA CURVA DE RESIST. APARENTE POR CONVOLUCION
30 ! CON EL FILTRO DE JOHANSEN, HASTA 35 CAPAS
40 ! REFERENCIA: "AN INTERACTIVE . . .", Geoph. Prosp. 23,449-458
50 ! PRINTER IS 16,WIDTH(180)
60   DIM Y(41),Y2(41),Ab(41),A(41),B(41),Lin$(55),A$(2)(60),D$(1
601
70   DIM R(55),T(55),K(55),H(55),C(-99:39),Z(-39:139),T1(35),S1(
35),E(55),K1(55),L1(55)
80   DIM Ars(41),Rop(41),X(41)
90   INTEGER Ii,Jj
100  FOR I=-99 TO 39
110  READ C(I)
120  C(I)=C(I)*1.0E-8
130  NEXT I
140  PRINT USING "@"
150  D$=""
160  BEEP
170  EDIT "IDENTIFICACION           (60 CARACTERES)
    ?",D$
180  IF LEN(D$)>60 THEN GOTO 160
190  A$(1)=D$
200  D$=""
210  BEEP
220  EDIT "OBSERVACIONES           (60 CARACTERES)
    ?",D$
230  IF LEN(D$)>60 THEN GOTO 210
240  A$(2)=D$
250  Nm=N1=N=X=Sen0=Sen1=Sen2=Sen3=Sen4=Sen5=0
260  BEEP
270  LINPUT "No. DE MUESTRA INICIAL   ?",D$
280  IF D$="" THEN GOTO 260
290  GOSUB Dat1
300  IF U1=1 THEN GOTO 270
310  Nm=VAL(D$)
320  BEEP
330  LINPUT "No. DE MUESTRA FINAL     ?",D$
340  IF D$="" THEN GOTO 320
350  GOSUB Dat1
360  IF U1=1 THEN GOTO 330
370  N1=VAL(D$)
380  BEEP
390  LINPUT "No. DE CAPAS             ",D$
400  IF D$="" THEN GOTO 380
410  GOSUB Dat1
420  IF U1=1 THEN GOTO 390
430  N=VAL(D$)
440  MAT Y2=ZER
450  Sen1=1

```

```

460 Ii=U2=0
470 IF Xx=1 THEN U2=1
480 GOSUB 3840
490 FOR Ii=Nm TO N1
500 GOSUB Dato0
510 NEXT Ii
520 BEEP
530 INPUT "QUE DATO DESEA CORREGIR ?";D$
540 IF D$="" THEN GOTO 690
550 GOSUB Dat1
560 IF U1=1 THEN GOTO 530
570 Clv=VAL(D$)
580 IF (Clv<1) OR (Clv>N1) THEN GOTO 520
590 BEEP
600 DISP "CUAL ES EL VALOR DE Rho (";Clv;") ";
610 INPUT D$
620 IF D$="" THEN D$=VAL$(Y2(Clv-1))
630 GOSUB Dat2
640 IF U1=1 THEN GOTO 600
650 Sen0=1
660 Y2(Clv-1)=VAL(D$)
670 U2=1
680 GOTO 480
690 IF Xx=1 THEN GOTO 720
700 MAT R=ZER
710 U2=0
720 GOSUB 3840
730 FOR Ii=1 TO N
740 GOSUB Dato1
750 NEXT Ii
760 BEEP
770 INPUT "QUE DATO DESEA CORREGIR ?";D$
780 IF D$="" THEN GOTO 930
790 GOSUB Dat1
800 IF U1=1 THEN GOTO 770
810 Clv=VAL(D$)
820 IF (Clv<1) OR (Clv>N) THEN GOTO 760
830 BEEP
840 DISP "CUAL ES EL VALOR DE LA RESISTIVIDAD (";Clv;") ";
850 INPUT D$
860 IF D$="" THEN D$=VAL$(R(Clv))
870 GOSUB Dat2
880 IF U1=1 THEN GOTO 840
890 Sen0=1
900 R(Clv)=VAL(D$)
910 U2=1
920 GOTO 720
930 IF Xx=1 THEN GOTO 960
940 MAT T=ZER

```

```

950 U2=0
960 GOSUB 3840
970 FOR Ii=1 TO N-1
980 GOSUB Dat2
990 NEXT Ii
1000 BEEP
1010 LINPUT "QUE DATO DESEA CORREGIR ?";D$
1020 IF D$="" THEN GOTO 1170
1030 GOSUB Dat1
1040 IF U1=1 THEN GOTO 1010
1050 Clv=VAL(D$)
1060 IF (Clv<1) OR (Clv>N-1) THEN GOTO 1000
1070 BEEP
1080 DISP "CUAL ES EL VALOR DE LA PROFUNDIDAD (";Clv;") ";
1090 LINPUT D$
1100 IF D$="" THEN D$=VAL$(T(Clv+1))
1110 GOSUB Dat2
1120 IF U1=1 THEN GOTO 1080
1130 Sen0=1
1140 T(Clv+1)=VAL(D$)
1150 U2=1
1160 GOTO 960
1170 IF (Sen0=0) AND (Sen1<>1) THEN GOTO 1940
1180 FOR I=1 TO N-1
1190 K(I)=(R(I+1)-R(I))/(R(I+1)+R(I)) !CALCULA COEF. REFLEXION
1200 H(I)=2*(1(I+1)-T(I)) ! CALCULA ESPESORES
1210 NEXT I
1220 MAT T1=ZER
1230 MAT S1=ZER
1240 FOR I=1 TO N-1
1250 E(I)=H(I)/2
1260 K1(I)=(R(I+1)-R(I))/(R(I+1)+R(I))
1270 T1(I)=E(I)*R(I)+T1(I)
1280 S1(I)=E(I)/R(I)+S1(I)
1290 L1(I)=SQR(S1(I)/T1(I))
1300 NEXT I
1310 L=44534.85 ! LAMDA INICIAL DE CALCULO PARA T(lamda)
1320 ! INICIA CALCULO DE LA FUNC. DE TRANSF. DE RESIST.
1330 FOR J=-39 TO 139
1340 X=K(N-1)
1350 IF N=2 THEN GOTO 1460
1360 FOR I=N-2 TO 1 STEP -1
1370 A=L*H(I+1)
1380 IF A>229 THEN GOTO 1410
1390 X=X*EXP(-L*H(I+1))
1400 GOTO 1420
1410 X=0
1420 X=(K(I)+X)/(1+K(I)*X)
1430 NEXT I

```

```

1440 B=L*H(1)
1450 IF B>229 THEN GOTO 1480
1460 X=X*EXP(-L*H(1))
1470 GOTO 1490
1480 X=0
1490 Z(J)=(1+X)/(1-X)
1500 L=L/1.2589254
1510 NEXT J ! TERMINA CALCULO DE FUNC. TRANSF. RESIST.
1520 L=.7943282347
1530 FOR I=0 TO 40 ! SE INICIA LA CONVOLUCION
1540 W=0
1550 L=1.258925412*L
1560 FOR J=-99 TO 39
1570 W=W+Z(I-J)*C(J)
1580 NEXT J
1590 W=W*R(1)+6.174E-5*R(N)+6.0905E-4*R(1) ! SUMA COLAS
1600 Y(I)=W
1610 NEXT I ! TERMINA CONVOLUCION
1620 FOR I=0 TO 40
1630 Ab(I)=1.2589254^I
1640 NEXT I
1650 Epp=0
1660 FOR I=Nm-1 TO N1-1
1670 Epp=ABS(Y(I)-Y2(I))/Y2(I)+Epp
1680 A(I)=LGT(Y(I))
1690 B(I)=LGT(Y2(I))
1700 NEXT I
1710 Err=Epp*100/N1
1720 ! SUBROUTINA MAXIMO *****
1730 Ea=Eb=Ec=Ed=0
1740 T1$="@"
1750 T2$="+"
1760 T4$="*"
1770 FOR I=Nm-1 TO N1-1
1780 IF A(I)>Ea THEN Ea=A(I)
1790 IF B(I)>Eb THEN Eb=B(I)
1800 IF A(I)>Ec THEN Ec=A(I)
1810 IF B(I)>Ed THEN Ed=B(I)
1820 NEXT I
1830 Ec=ABS(Ec)
1840 Ed=ABS(Ed)
1850 IF Ea-Eb<=0 THEN Vmax=Eb
1860 IF Ea-Eb>0 THEN Vmax=Ea
1870 IF Ec>Ed THEN GOTO 1900
1880 Vmin=Ed
1890 GOTO 1910
1900 Vmin=Ec
1910 IF Vmax-Vmin<=0 THEN Hmax=Vmin
1920 IF Vmax-Vmin>0 THEN Hmax=Vmax

```

```

1930  ! SUBROUTINA GRAFICA
1940  PRINT USING "@"
1950  PRINT "IDENTIFICACION ";A$(1)
1960  PRINT
1970  PRINT "OBSERVACIONES ";A$(2)
1980  PRINT LIN(1)
1990  PRINT "          Err(%)=";Err;"          *** Campo          @@@ Teo
rica";LIN(1)
2000  PRINT " AB/2          RCAMP          0
          RMOD"

2010  PRINT
2020  Lin$(1,55)=" "
2030  Lin$(1,1)=T2$
2040  FOR I=Nn-1 TO N1-1
2050  Ii=INT(55*(A(I)/Hmax)+.5)
2060  Ij=INT(55*(B(I)/Hmax)+.5)
2070  IF Ii=Ij THEN GOTO 2160
2080  Lin$(Ii,Ii)=T1$
2090  Lin$(Ij,Ij)=T4$
2100  PRINT USING 2110;Ab(I),Y2(I),Lin$(Ii,55),Y(I)
2110  IMAGE 4D,2X,6D.1D,2X,55A,6D.1D
2120  Lin$(Ii,Ii)=" "
2130  Lin$(Ij,Ij)=" "
2140  Lin$(1,1)=T2$
2150  GOTO 2200
2160  Lin$(Ii,Ii)=T1$
2170  PRINT USING 2110;Ab(I),Y2(I),Lin$(1,55),Y(I)
2180  Lin$(Ii,Ii)=" "
2190  Lin$(1,1)=T2$
2200  NEXT I
2210  PRINT
2220  PRINT "(1.- Rho)";SPA(5);"(2.- RESISTIVIDADES)";SPA(5);"(3.
- PROFUNDIDADES)"
2230  FOR I=1 TO N-1
2240  PRINT TAB(20);"R(";I;")=";R(I);TAB(45);"T(";I;")=";T(I+1)
2250  NEXT I
2260  PRINT TAB(20);"R(";N;")=";R(N),LIN(1)
2270  IF Sen4=1 THEN GOTO 2970
2280  Sen0=Sen1=Sen2=Sen3=0
2290  BEEP
2300  INPUT "QUE DESEA CORREGIR (DEL 1 AL 3) ?";D$
2310  IF D$="" THEN GOTO 2970
2320  GOSUB Dat1
2330  IF U1=1 THEN GOTO 2300
2340  Xx=VAL(D$)
2350  IF (Xx<1) OR (Xx>3) THEN GOTO 2290
2360  ON Xx GOTO 470,2370,2580
2370  Sen2=0
2380  INPUT "CUAL RESISTIVIDAD DESEA CORREGIR ?";D$

```

```

2390 IF D$="" THEN GOTO 2520
2400 GOSUB Dat1
2410 IF U1=1 THEN GOTO 2380
2420 C11=VAL(D$)
2430 IF (C11<1) OR (C11>N) THEN GOTO 2380
2440 DISP "CUAL ES EL VALOR DE LA RESISTIVIDAD (";C11;") ";
2450 LINPUT D$
2460 IF D$="" THEN D$=VAL$(R(C11))
2470 GOSUB Dat2
2480 IF U1=1 THEN GOTO 2440
2490 Sen2=Sen0=1
2500 R(C11)=VAL(D$)
2510 GOTO 2380
2520 IF Sen2=0 THEN GOTO 2290
2530 U2=1
2540 FOR Ii=1 TO N
2550 GOSUB Dat01
2560 NEXT Ii
2570 GOTO 2290
2580 Sen3=0
2590 LINPUT "CUAL PROFUNDIDAD DESEA CORREGIR ?";D$
2600 IF D$="" THEN GOTO 2730
2610 GOSUB Dat1
2620 IF U1=1 THEN GOTO 2590
2630 C12=VAL(D$)
2640 IF (C12<1) OR (C12>N-1) THEN GOTO 2590
2650 DISP "CUAL ES EL VALOR DE LA PROFUNDIDAD (";C12;") ";
2660 LINPUT D$
2670 IF D$="" THEN D$=VAL$(T(C12+1))
2680 GOSUB Dat2
2690 IF U1=1 THEN GOTO 2650
2700 Sen3=Sen0=1
2710 T(C12+1)=VAL(D$)
2720 GOTO 2590
2730 IF Sen3=0 THEN GOTO 2290
2740 U2=1
2750 FOR Ii=1 TO N-1
2760 GOSUB Dat02
2770 NEXT Ii
2780 GOTO 2290
2790 IF Sen0=1 THEN GOTO 1180
2800 BEEP
2810 LINPUT "DESEA IMPRIMIR LA GRAFICA EN PAPEL (S/N) ?";D$
2820 GOSUB Dat0
2830 IF U0=1 THEN GOTO 2810
2840 IF D$="N" THEN GOTO 3080
2850 IF Sen5=1 THEN GOTO 2910
2860 BEEP
2870 LINPUT "SE ENCUENTRA LISTO EL PAPEL DE (11'' X 8 5/8 '')";

```

```

12 (S/N) ?",D$
2880 GOSUB DAT0
2890 IF D0=1 THEN GOTO 2870
2900 IF D$="N" THEN GOTO 2790
2910 PRINTER IS 7,1,WIDTH(132)
2920 PRINT CHR$(27)&CHR$(69);
2930 PRINT CHR$(27)&CHR$(110);
2940 PRINT CHR$(27)&"&k25";
2950 Sea1=Sea5=1
2960 GOTO 1950
2970 PRINT LIN(2)
2980 PRINT "CAPA COND. LONG. RES. TRANS. COEF. REFLE.
FAC. ANISOT."
2990 PRINT " S T K
1"
3000 FOR I=1 TO N-1
3010 PRINT USING 3020;I,S1(I),T1(I),K1(I),L1(I)
3020 IMAGE 1X,2D,6X,4D,2D,7X,6D,1D,7X,3D,3D,6X,3D,3D
3030 NEXT I
3040 PRINT PAGE;
3050 PRINTER IS 16,WIDTH(180)
3060 Sea1=0
3070 GOTO 2780
3080 LIN(0) " DESEA PROCESAR DE NUEVO ESTE PROGRAMA (S/N) ?",
D$
3090 GOSUB DAT0
3100 IF D0=1 THEN GOTO 3080
3110 IF D$="S" THEN GOTO 3130
3120 PRINT USING "2"
3130 PRINT TAB(15);" FIN DEL PROGRAMA *** JHUA3 ***
"
3140 END
3150 DATA -12484,12726,-12975,13231,-13493,13765,-14043,14330,-1
4625,14930,-15243,15567,-15901,16246,-16602,16971,-17352,17746,-1
8154
3160 DATA 18577,-19014,19309,-19561,20029,-20376,20744,-21089,21
572,-21968,22779,-23416,23979,-24768,25487,-26235,26916,-28830,29
630,-30563,31496
3170 DATA -32167,32484,-32999,33666,-34338,35069,-35763,36724,-42
163,43666,-45259,45918,-46717,48078,-48809,50677,-51536,52514,61
330,61940,-62911
3180 DATA 70484,-73767,77204,80807,84511,-89479,94183,-99267,104
775,-110241,117231,124333,131435,-136661,142752,-149026,157177,-
16546,172201
3190 DATA 189469,197971,207110,216770,226947,237640,-248845,26
0474,264283,269002,274735,280483,286139,291807,31150741,34
0136
3200 DATA 2780 DAT0,3118030,10018037,10000000,20000400,304000
01,40713900,50000000,100000000,61237355,20000000,10017355

```

```

3210 DATA -9504597,6226174,-4353505,3198475,-2441493,1920840,-154
8505,1273595,-1065148,903512,-775750,673679,-589375,520264,-46255
8,413891,-372478
3220 DATA 336951,-306251,279543,-256168,235594,-217394,201216,-1
86773,173826,-162176,151657,-142126,133463,-125568
3230 Dat0: U0=0
3240 IF D$="" THEN D$="N"
3250 IF (D$(">")"S") AND (D$(">")"N") THEN GOTO 3270
3260 RETURN
3270 U1=1
3280 FOR Jy=1 TO 80
3290 BEEP
3300 DISP "          PRESIONE S PARA AFIRMAR, CONT O
N PARA NEGAR          "
3310 NEXT Jy
3320 RETURN
3330 Dat1: U1=0
3340 ON ERROR GOTO 3480
3350 FOR J=1 TO LEN(D$)
3360 Y=VAL(D$(J,J))
3370 NEXT J
3380 OFF ERROR
3390 RETURN
3400 Dat2: U1=0
3410 ON ERROR GOTO 3480
3420 FOR J=1 TO LEN(D$)
3430 IF D$(J,J)!="." THEN GOTO 3450
3440 Y=VAL(D$(J,J))
3450 NEXT J
3460 OFF ERROR
3470 RETURN
3480 U1=1
3490 FOR Jy=1 TO 80
3500 BEEP
3510 DISP "          EL DATO TECLEADO ES INCORRECTO, DA EL COR
RECTO POR FAVOR          "
3520 NEXT Jy
3530 RETURN
3540 Dato0: PRINT I1;TAB(5);").-      Rho DE (";I1;");TAB(33);
3550 IF U2=1 THEN GOTO 3620
3560 DISP "CUAL ES EL VALOR DE Rho (";I1;")      ";
3570 LINPUT D$
3580 IF D$="" THEN D$=VAL$(Y2(I1-1))
3590 COSUR Dat2
3600 IF U1=1 THEN GOTO 3560
3610 Y2(I1-1)=VAL(D$)
3620 PRINT USING "6D.2D";Y2(I1-1)
3630 RETURN
3640 Dat01: PRINT I1;TAB(5);").- RESISTIVIDAD DE (";I1;");TAB(3

```

```

3);
3650 IF U2=1 THEN GOTO 3720
3660 DISP "CUAL ES EL VALOR DE LA RESISTIVIDAD (";Ii;") ";
3670 LINPUT D$
3680 IF D$="" THEN D$=VAL$(R(Ii))
3690 GOSUB Dat2
3700 IF U1=1 THEN GOTO 3660
3710 R(Ii)=VAL(D$)
3720 PRINT USING "6D.2D";R(Ii)
3730 RETURN
3740 Dato2: PRINT Ii;TAB(5);).- PROFUNDIDAD DE (";Ii;");TAB(3
3);
3750 IF U2=1 THEN GOTO 3820
3760 DISP "CUAL ES EL VALOR DE LA PROFUNDIDAD (";Ii;") ";
3770 LINPUT D$
3780 IF D$="" THEN D$=VAL$(T(Ii+1))
3790 GOSUB Dat2
3800 IF U1=1 THEN GOTO 3760
3810 T(Ii+1)=VAL(D$)
3820 PRINT USING "6D.2D";T(Ii+1)
3830 RETURN
3840 PRINT USING "8"
3850 PRINT "CLAVE";SPA(6);"C O N C E P T O";SPA(6);"DESCRIP
CION"
3860 PRINT
3870 RETURN

```

A P E N D I C E "C"

PROGRAMA "TIERET" CALCULA  
DOS CONTACTOS ONDULANTES  
MEDIANTE SISMICA DE REFRAC  
CION.

COMPUTADORA HF9845 - B

LENGUAJE BASIC.

```

10 ! LISTE PROGRAMA DE LLAMA TIERTA
20 ! PROGRAMA DE REFRACCION PARA EL CALCULO DE 2 O 3 CAPAS POR
EL
30 ! METODO DE TIEMPO - RETRASO SEPTIEMBRE 1983
40 PRINTER IS 16,WIDTH(160)
50 OPTION BASE 1
60 DIM D$(160),A$(2)(70)
70 REAL E1(100),Tr13(100),Tr23(100),E2(100),Z2(100)
80 SHORT Elev(100),Dist(100),Ra(100),Rb(100),Rc(100),Rd(100),D
t(100),Tiab(100),Tfb(100),Tfc(100),Dtc(100),Trr(100),Tr(100),C1,T
idc(100),X(100),Y(100),H(100)
90 SHORT Det(12)
100 INTEGER Det
110 Dir$="T15"
120 DEF FN Rnd(X)=INT(X*100+.5)/100
130 DEF FNTnd(X)=INT(X*100000+.5)/100000
140 U6=U8=0
150 PRINT USING "@ "
160 BEEP
170 INPUT "DESLA RECUPERAR LOS DATOS ANTERIORMENTE CAPTURADOS
(S/N)",D$
180 GOSUB 3640
190 IF U1=1 THEN GOTO 170
200 IF D$="N" THEN GOTO 230
210 U0=1
220 GOTO 450
230 D$=""
240 BEEP
250 EDIT "IDENTIFICACION (70 CARACTERES)
?",D$
260 IF LEN(D$)>70 THEN GOTO 240
270 A$(1)=D$
280 D$=""
290 BEEP
300 EDIT "OBSERVACIONES (70 CARACTERES)
?",D$
310 IF LEN(D$)>70 THEN GOTO 290
320 A$(2)=D$
330 MAT Det=ZER
340 U3=0
350 GOSUB 4210
360 Det=Det(1)
370 ON ERROR GOTO 3390
380 CREATE "D.T.D.:"&Dir$,Det,30
390 OFF ERROR
400 PROTECT "D.T.D.:"&Dir$,"JRMRF"
410 ON ERROR GOTO 3440
420 CREATC "Fundef:"&Dir$,1,210

```

```

430 OFF ERROR
440 PROTECT "Fundef: "&Dir$, "JRRMRF"
450 ASSIGN #1 TO "Fundef: "&Dir$, X, "JRRMRF"
460 ASSIGN #2 TO "D.T.D.: "&Dir$, X, "JRRMRF"
470 IF U0=0 THEN GOTO 540
480 READ #1, 1; Det(*), A$(*)
490 Det=Det(1)
500 FOR R=1 TO Det
510 READ #2, R; Dist(R), Elev(R), Ra(R), Rb(R), Rc(R), Rd(R)
520 NEXT R
530 GOTO 1560
540 REDIM Elev(1:Det), Dist(1:Det), Ra(1:Det), Rb(1:Det), X(1:Det),
Y(1:Det), H(1:Det)
550 MAT Dist=ZER
560 U3=0
570 PRINT USING "@"
580 FOR J=1 TO Det
590 GOSUB 3850
600 NEXT J
610 BEEP
620 LINPUT "CUAL DISTANCIA DESLA CORREGIR ? ", D$
630 IF D$="" THEN GOTO 710
640 GOSUB 3740
650 IF U2=1 THEN GOTO 620
660 U5=VAL(D$)
670 DISP "CUAL LS LA DISTANCIA DEL "; U5; " DETECTOR ";
680 INPUT Dist(U5)
690 U3=1
700 GOTO 570
710 IF U6=1 THEN GOTO 1560
720 MAT Elev=ZER
730 U3=0
740 PRINT USING "@"
750 FOR J=1 TO Det
760 GOSUB 3910
770 NEXT J
780 BEEP
790 LINPUT "CUAL ELEVACION DESLA CORREGIR ? ", D$
800 IF D$="" THEN GOTO 880
810 GOSUB 3740
820 IF U2=1 THEN GOTO 790
830 U5=VAL(D$)
840 DISP "CUAL LS LA LLEVACION DEL "; U5; " DETECTOR ";
850 INPUT Elev(U5)
860 U3=1
870 GOTO 740
880 IF U6=1 THEN GOTO 1560
890 MAT Ra=ZER

```

```

900 U3=0
910 PRINT USING "@"
920 FOR J=1 TO Det
930 GOSUB 3970
940 NEXT J
950 BEEP
960 LINPUT "CUAL REGISTRO DE TIEMPO EN 'A' DESLA CORRLEGIR ?"
,D$
970 IF D$="" THEN GOTO 1050
980 GOSUB 3740
990 IF U2=1 THEN GOTO 960
1000 U5=VAL(D$)
1010 DISP "CUAL ES EL REG. DE TIEMPO EN 'A' DLL ";U5;" DETECT
OR ";
1020 INPUT Ra(U5)
1030 U3=1
1040 GOTO 910
1050 IF U6=1 THEN GOTO 1560
1060 MAT Rb=ZER
1070 U3=0
1080 PRINT USING "@"
1090 FOR J=1 TO Det
1100 GOSUD 4030
1110 NEXT J
1120 BEEP
1130 LINPUT "CUAL REGISTRO DE TIEMPO EN 'D' DESLA CORRLEGIR ?"
,D$
1140 IF D$="" THEN GOTO 1220
1150 GOSUB 3740
1160 IF U2=1 THEN GOTO 1130
1170 U5=VAL(D$)
1180 DISP "CUAL ES EL REG. DE TIEMPO EN 'D' DLL ";U5;" DETECT
OR ";
1190 INPUT Rb(U5)
1200 U3=1
1210 GOTO 1080
1220 IF U6=1 THEN GOTO 1560
1230 MAT Rc=ZER
1240 U3=0
1250 PRINT USING "@"
1260 FOR J=1 TO Det
1270 GOSUD 4090
1280 NEXT J
1290 BEEP
1300 LINPUT "CUAL REGISTRO DE TIEMPO EN 'C' DESLA CORRLEGIR ?"
,D$
1310 IF D$="" THEN GOTO 1390
1320 GOSUB 3740

```

```

1330 IF U2=1 THEN GOTO 1300
1340 U5=VAL(D$)
1350 DISP "CUAL ES EL REG. DE TIEMPO EN 'C' DLL ";U5;" DETECT
OR ";
1360 INPUT Rc(U5)
1370 U3=1
1380 GOTO 1250
1390 IF U6=1 THEN GOTO 1560
1400 MAT Rd=ZER
1410 U3=0
1420 PRINT USING "e"
1430 FOR J=1 TO Det
1440 GOSUB 4150
1450 NEXT J
1460 BEEP
1470 INPUT "CUAL REGISTRO DE TIEMPO EN 'D' DESEA CORREGIR
?",D$
1480 IF D$="" THEN GOTO 1560
1490 GOSUB 3740
1500 IF U2=1 THEN GOTO 1470
1510 U5=VAL(D$)
1520 DISP "CUAL ES EL REG. DE TIEMPO EN 'D' DLL ";U5;" DETECT
OR ";
1530 INPUT Rd(U5)
1540 U3=1
1550 GOTO 1420
1560 PRINT USING "e"
1570 PRINT "NUMERO DE DETECTORES ";Det
1580 PRINT
1590 PRINT "GEOM.";SPA(2);"1.- DIST.";SPA(2);"2.- ELEV.";S
PA(2);"3.- R.T.A";SPA(2);"4.- R.T.B";SPA(2);"5.- R.F.C";SPA
(2);"6.- R.T.D"
1600 PRINT
1610 FOR J=1 TO Det
1620 PRINT USING 1630;J,Dist(J),Llev(J),Ra(J),Rb(J),Rc(J),Rd(J)
1630 IMACC 2Z,").-",3X,3D,2D,7X,4D,7X,4D,7X,4D,7X,4D
1640 NEXT J
1650 BEEP
1660 INPUT "QUE DATO DESEA CORREGIR (DLL 1 AL 7) ?",D$
1670 IF D$="" THEN GOTO 1730
1680 GOSUB 3740
1690 IF U2=1 THEN GOTO 1660
1700 U6=U3-1
1710 U7=VAL(D$)
1720 ON U7 GOTO 570,740,910,1080,1250,1420
1730 PRINT #1,1;Det(*),A$(*)
1740 FOR R=1 TO Det
1750 PRINT #2,R;Dist(R),Elev(R),Ra(R),Rb(R),Rc(R),Rd(R)

```

```

1760 NEXT R
1770 U3=0
1780 IF U0=1 THEN U3=1
1790 PRINT USING "@ "
1800 PRINT "CLAVE";SPA(18);"C O N C L U T O";SPA(21);"DESGR
IPCION"
1810 PRINT
1820 FOR J=1 TO 11
1830 ON J GOSUB 4360,4710,4760,4260,4310,4410,4460,4510,4560,461
0,4660
1840 NEXT J
1850 BEEP
1860 LINPUT "QUE DATO DESEA CORREGIR (DEL 1 AL 11) ?";D#
1870 IF D#="" THEN GOTO 1930
1880 GOSUB 3740
1890 U7=VAL(D#)
1900 ON U7 GOSUB: 4380,4730,4780,4280,4330,4430,4480,4530,4580,46
30,4680
1910 U3=1
1920 GOTO 1790
1930 PRINT #1,1;Det(x),A#(x)
1940 FOR R=1 TO Det
1950 Ra(R)=Ra(R)/1000
1960 Rb(R)=Rb(R)/1000
1970 Rc(R)=Rc(R)/1000
1980 Rd(R)=Rd(R)/1000
1990 NEXT R
2000 REDIM Dt(1:Det),Tiab(1:Det),Tidc(1:Det)
2010 MAT Tiab=ZER
2020 MAT Tidc=ZER
2030 MAT Dt=ZER
2040 FOR I=1 TO Det
2050 Dt(I)=Rc(I)-Rb(I)
2060 IF Ra(I)=0 THEN GOTO 2080
2070 Tiab(I)=Ra(I)-Rb(I)
2080 IF Rd(I)=0 THEN GOTO 2100
2090 Tidc(I)=Rd(I)-Rc(I)
2100 NEXT I
2110 Nt=Det(2)
2120 Lt=Det(3)
2130 Sum1=Sum2=Sum3=Sum4=0
2140 FOR I=1 TO Det-Nt
2150 IF Tiab(I+Nt)=0 THEN GOTO 2100
2160 Sum3=Sum3+1
2170 Sum1=Sum1+Tiab(I+Nt)
2180 NEXT I
2190 Kab=FNTnd(Sum1/Sum3)
2200 FOR I=1 TO Det-Lt

```

```

2210 IF Tdc(I)=0 THEN GOTO 2240
2220 Sum4=Sum4+1
2230 Sum2=Sum2+Tdc(I)
2240 NEXT I
2250 Kdc=FNfnd(Sum2/Sum4)
2260 REDIM Tfb(1:Det),Tfc(1:Det),Dtc(1:Det),Trr(1:Det),Tr(1:Det)
2270 MAT Tfb=ZER
2280 MAT Tfc=ZER
2290 MAT Dtc=ZER
2300 MAT Trr=ZER
2310 MAT Tr=ZER
2320 FOR Y=1 TO Det
2330 IF (Ra(Y)=0) OR (Rd(Y)=0) THEN GOTO 2380
2340 Tfb(Y)=Ra(Y)-Kab
2350 Tfc(Y)=Rd(Y)-Kdc
2360 Dtc(Y)=Tfc(Y)-Tfb(Y)
2370 Trr(Y)=FNfnd((Tfc(Y)+Tfb(Y))/2)
2380 NEXT Y
2390 Fc=Det(4)
2400 IF Det(11)=1 THEN GOTO 2470
2410 Low=1
2420 Up=Det(11)
2430 MAT H=Rb
2440 GOSUB 3490
2450 V101=FNfnd(1/Mm)
2460 GOTO 2480
2470 V101=FNfnd(Dist(1)/Rb(1))
2480 IF Det(12)=1 THEN GOTO 2550
2490 Low=Det-Det(12)+1
2500 Up=12
2510 MAT H=Rc
2520 GOSUB 3490
2530 V112=FNfnd(1/Mm)
2540 GOTO 2560
2550 V112=FNfnd((Fc-Dist(Det))/Rc(Det))
2560 Vc1=FNfnd((V101+V112)/2)
2570 Low=Det(5)
2580 Up=Det(6)
2590 MAT H=Rb
2600 GOSUB 3490
2610 V2rb=FNfnd(1/Mm)
2620 P1fb=FNfnd(V101*Bb/(2*SQR(1-(V101/V2rb)^2)))
2630 IF (Det(9)=0) OR (Det(10)=0) THEN GOTO 2700
2640 Low=Up
2650 Up=Det
2660 GOSUB 3490
2670 V3rb=FNfnd(1/Mm)
2680 P2fb=FNfnd(1/2*(Bb-2*P1fb*SQR(V3rb^2-V101^2)/(V3rb*V101))*

```

```

(V3rb*V2rb)/SQR(V3rb^2-V2rb^2)))
2690 Tbc=Yy
2700 Low=Det(7)
2710 Up=Det(8)
2720 MAT H=Rc
2730 GOSUB 3490
2740 V2rc=FNRnd(1/Mm)
2750 P1fc=FNRnd(V112*Yy/(2*SQR(1-(V112/V2rc)^2)))
2760 IF (Det(9)=0) OR (Det(10)=0) THEN GOTO 2820
2770 Up=Low
2780 Low=1
2790 GOSUB 3490
2800 V3rc=FNRnd(1/Mm)
2810 P2fc=FNRnd(1/2*((Yy-2*P1fc*SQR(V3rc^2-V112^2))/(V3rc*V112))*
(V3rc*V2rc)/SQR(V3rc^2-V2rc^2)))
2820 Vr2=FNRnd(2/(1/V2rb+1/V2rc))
2830 Tcb=Bb
2840 Ct=FNTnd((Tbc+Tcb)/4)
2850 FOR K=1 TO Det
2860 Tr(K)=FNTnd(Tr(K)-Ct)
2870 NEXT K
2880 Vr3=0
2890 Low=Det(9)
2900 Up=Det(10)
2910 IF (Det(9)=0) AND (Det(10)=0) THEN GOTO 2950
2920 MAT H=Dtc
2930 GOSUB 3490
2940 Vr3=FNRnd(2/Mm)
2950 REDIM E1(1:Det),Tr13(1:Det),Tr23(1:Det),L2(1:Det),Z2(1:Det)
2960 MAT E1=ZER
2970 MAT Tr13=ZER
2980 MAT Tr23=ZER
2990 MAT C2=ZER
3000 MAT Z2=ZER
3010 FOR J=1 TO Det
3020 E1(J)=FNRnd(Vr1*Tr(J)/(2*SQR(1-(Vr1/Vr2)^2)))
3030 IF (Det(9)=0) AND (Det(10)=0) THEN GOTO 3000
3040 Tr13(J)=FNTnd(SQR(Vr3^2-Vr1^2)*E1(J)/(Vr1*Vr3))
3050 Tr23(J)=Tr(J)-Tr13(J)
3060 E2(J)=FNRnd(Tr23(J)*Vr2*Vr3/SQR(Vr3^2-Vr2^2))
3070 Z2(J)=E1(J)+E2(J)
3080 NEXT J
3090 PRINT#R IS 7,1,WIDTH(232)
3100 PRINT "IDENTIFICACION :";A$(1)
3110 PRINT
3120 PRINT "OBSERVACIONES :";A$(2)
3130 PRINT LIN(2)
3140 PRINT "VELOCIDAD DE LA PRIMERA CAJA =";TAB(42);Vr1;TAB(55);

```

```

"m/s"
3150 PRINT "VELOCIDAD DE LA SEGUNDA CAPA =" ;TAB(42);Vr2;TAB(55);
"m/s"
3160 PRINT "VELOCIDAD DE LA TERCERA CAPA =" ;TAB(42);Vr3;TAB(55);
"m/s"
3170 PRINT LIN(2)
3180 PRINT "PRIMERA PROFUNDIDAD DE LA FUENTE 'H' =" ;TAB(42);P1fb
;TAB(55);"mts"
3190 PRINT "SEGUNDA PROFUNDIDAD DE LA FUENTE 'H' =" ;TAB(42);P2fb
;TAB(55);"mts"
3200 PRINT
3210 PRINT "PRIMERA PROFUNDIDAD DE LA FUENTE 'C' =" ;TAB(42);P1fc
;TAB(55);"mts"
3220 PRINT "SEGUNDA PROFUNDIDAD DL LA FUENTE 'C' =" ;TAB(42);P2fc
;TAB(55);"mts"
3230 PRINT LIN(2)
3240 PRINT "DETECTOR";SPA(3);"DISTANCIA";SPA(3);"LLEVACION";SPA(
3);"ESPESOR 1";SPA(3);"ESPESOR 2";SPA(3);"PROFUNDIDAD 2"
3250 PRINT
3260 FOR J=1 TO Det
3270 IF (Ra(J)=0) OR (Rd(J)=0) THEN GOTO 3300
3280 PRINT USING J290;J,Dist(J),Elev(J),E1(J),E2(J),Z2(J)
3290 IMAGE 3X,22,6X,3DZ.2D,5X,3DZ.2D,4X,3DZ.2D,5X,3DZ.2D,8X,3DZ.
2D
3300 NEXT J
3310 PRINT PAGE;
3320 PRINTER IS 16,WIDTH(160)
3330 BEEP
3340 LINPUT "DESLA PROCESAR DE NUEVO ESTE PROGRAMA (S/N) ?"
,D$
3350 GOSUB 3640
3360 IF U1=1 THEN GOTO 3340
3370 IF D4="S" THEN GOTO 140
3380 END
3390 ON LRROR GOTO 3420
3400 PURGE "D.T.D.:"&Dir$
3410 GOTO 3430
3420 PURGE "D.T.D.:"&Dir$,"JRRMRI "
3430 GOTO 370
3440 ON LRROR GOTO 3470
3450 PURGE "fundef"&Dir$
3460 GOTO 3490
3470 PURGE "fundef:"&Dir$,"JRRMRI "
3480 GOTO 410
3490 S0=S1=S2=S3=T0=T1=0
3500 FOR Ty=Low TO Up
3510 IF H(Ty)=0 THEN GOTO 3500
3520 S0=S0+1

```

```

3530 S1=S1+Dist(Ty)
3540 S2=S2+Dist(Ty)^2
3550 T0=T0+H(Ty)
3560 T1=T1+Dist(Ty)*H(Ty)
3570 S3=S3+H(Ty)^2
3580 NEXT Ty
3590 Mm=(S0*T1-S1*T0)/(S0*S2-S1^2)
3600 Bb=(S2*T0-S1*T1)/(S0*S2-S1^2)
3610 Yy=Mm*Fc+Bb
3620 Mm=ABS(Mm)
3630 RETURN
3640 U1=0
3650 IF D$="" THEN D$="N"
3660 IF (D$(1,1)(">"S") AND (D$(1,1)(">"N") THEN GOTO 10
3670 RETURN
3680 U1=1
3690 FOR Jy=1 TO 80
3700 BEEP
3710 DISP "          PRISIONL  S  PAKA AIRMAR,  CONT  U
N  PARA NEGAR          "
3720 NEXT Jy
3730 RETURN
3740 U2=0
3750 ON ERROR GOTO 3790
3760 Y=VAL(D$)
3770 OFF ERROR
3780 RETURN
3790 U2=1
3800 FOR Jy=1 TO 80
3810 BEEP
3820 DISP "          EL DATO TECLADO ES INCORRECTO, DA EL CORRE
CTO POR FAVOR          "
3830 NEXT Jy
3840 RETURN
3850 PRINT "DISTANCIA DEL ";J;" DETECTOR";TAB(32);
3860 IF U3=1 THEN GOTO 3890
3870 DISP "CUAL ES LA DISTANCIA DEL ";J;" DETECTOR  ";
3880 INPUT Dist(J)
3890 PRINT USING "3D2.2D";Dist(J)
3900 RETURN
3910 PRINT "ELEVACION DEL ";J;" DETECTOR";TAB(32);
3920 IF U3=1 THEN GOTO 3950
3930 DISP "CUAL ES LA ELEVACION DEL ";J;" DETECTOR  ";
3940 INPUT Elev(J)
3950 PRINT USING "3D2.2D";Elev(J)
3960 RETURN
3970 PRINT "REGISTRO DE TIEMPO EN YA' DEL ";J;" DETECTOR";TAB(42
);

```

```

3980 IF U3=1 THEN GOTO 4010
3990 DISP "CUAL ES EL REGISTRO DE TIEMPO EN 'A' DEL ";J;" DETECTOR
OR ";
4000 INPUT Ra(J)
4010 PRINT USING "4D";Ra(J)
4020 RETURN
4030 PRINT "REGISTRO DE TIEMPO EN 'B' DEL ";J;" DETECTOR";TAB(47
);
4040 IF U3=1 THEN GOTO 4070
4050 DISP "CUAL ES EL REGISTRO DE TIEMPO EN 'B' DEL ";J;" DETECTOR
OR ";
4060 INPUT Rb(J)
4070 PRINT USING "4D";Rb(J)
4080 RETURN
4090 PRINT "REGISTRO DE TIEMPO EN 'C' DEL ";J;" DETECTOR";TAB(47
);
4100 IF U3=1 THEN GOTO 4130
4110 DISP "CUAL ES EL REGISTRO DE TIEMPO EN 'C' DEL ";J;" DETECTOR
OR ";
4120 INPUT Rc(J)
4130 PRINT USING "4D";Rc(J)
4140 RETURN
4150 PRINT "REGISTRO DE TIEMPO EN 'D' DEL ";J;" DETECTOR";TAB(47
);
4160 IF U3=1 THEN GOTO 4190
4170 DISP "CUAL ES EL REGISTRO DE TIEMPO EN 'D' DEL ";J;" DETECTOR
OR ";
4180 INPUT Rd(J)
4190 PRINT USING "4D";Rd(J)
4200 RETURN
4210 PRINT "NUMERO DE DETECTORES";TAB(35);
4220 IF U3=1 THEN GOTO 4240
4230 INPUT "CUAL ES EL NUMERO DE DETECTORES ?";Det(1)
4240 PRINT USING "3Z";Det(1)
4250 RETURN
4260 PRINT "4). - No. DE TIEMPO INTERV. QUE SE VAN HA DESLCHAR DE 'B
' A 'C';TAB(65);
4270 IF U3=1 THEN GOTO 4290
4280 INPUT "No. DE TIEMPOS DE INTERVALO QUE SE VAN HA DESLCHAR D
E 'B' A 'C' ?";Det(2)
4290 PRINT USING "3Z";Det(2)
4300 RETURN
4310 PRINT "5). - No. DE TIEMPO INTERV. QUE SE VAN HA DESLCHAR DE 'C
' A 'D';TAB(65);
4320 IF U3=1 THEN GOTO 4340
4330 INPUT "No. DE TIEMPOS DE INTERVALO QUE SE VAN HA DESLCHAR D
E 'C' A 'D' ?";Det(3)
4340 PRINT USING "3Z";Det(3)

```

```

4390 RETURN
4360 PRINT "1).- DISTANCIA DE LA FUENTE 'B' A 'C'";TAB(61);
4370 IF U3=1 THEN GOTO 4390
4380 INPUT "CUAL ES LA DISTANCIA DE LA FUENTE 'B' A 'C' ?
",Det(4)
4390 PRINT USING "3D2.2D";Det(4)
4400 RETURN
4410 PRINT "6).- DETECTOR INICIAL DE 'B'";TAB(65);
4420 IF U3=1 THEN GOTO 4440
4430 INPUT "CUAL ES EL DETECTOR INICIAL DE 'B' ?";Det(5)
4440 PRINT USING "3Z";Det(5)
4450 RETURN
4460 PRINT "7).- DETECTOR FINAL DE 'B'";TAB(65);
4470 IF U3=1 THEN GOTO 4490
4480 INPUT "CUAL ES EL DETECTOR FINAL DE 'B' ?";Det(6)
4490 PRINT USING "3Z";Det(6)
4500 RETURN
4510 PRINT "8).- DETECTOR INICIAL DE 'C'";TAB(65);
4520 IF U3=1 THEN GOTO 4540
4530 INPUT "CUAL ES EL DETECTOR INICIAL DE 'C' ?";Det(7)
4540 PRINT USING "3Z";Det(7)
4550 RETURN
4560 PRINT "9).- DETECTOR FINAL DE 'C'";TAB(65);
4570 IF U3=1 THEN GOTO 4590
4580 INPUT "CUAL ES EL DETECTOR FINAL DE 'C' ?";Det(8)
4590 PRINT USING "3Z";Det(8)
4600 RETURN
4610 PRINT "10).- DETECTOR INICIAL PARA LA 3er VEL. REAL";TAB(65
);
4620 IF U3=1 THEN GOTO 4640
4630 INPUT "CUAL ES EL DETECTOR INICIAL PARA LA 3er VEL. REAL
?";Det(9)
4640 PRINT USING "3Z";Det(9)
4650 RETURN
4660 PRINT "11).- DETECTOR FINAL PARA LA 3er VEL. REAL";TAB(65);
4670 IF U3=1 THEN GOTO 4690
4680 INPUT "CUAL ES EL DETECTOR FINAL PARA LA 3er VEL. REAL ?
";Det(10)
4690 PRINT USING "3Z";Det(10)
4700 RETURN
4710 PRINT "2).- NUMERO DE DETEC. PARA EL CALCULO DE 1ra. VEL. D
E 'B'";TAB(65);
4720 IF U3=1 THEN GOTO 4740
4730 INPUT "CUAL ES EL NUMERO DE DETEC. PARA EL CALCULO DE 1ra.
VEL. DE 'B' ?";Det(11)
4740 PRINT USING "3Z";Det(11)
4750 RETURN
4760 PRINT "3).- NUMERO DE DETEC. PARA EL CALCULO DE 1ra. VEL. D

```

```
E 'C';TAB(45);  
4770 IF U3=1 THEN GOTO 4790  
4780 INPUT "CUAL ES EL NUMERO DE DIRECTORES PARA EL CALCULO DE 1  
ca. VEL. DE 'C' ?";De1(12)  
4790 PRINT USING "32";De1(12)  
4800 RETURN
```

## B I B L I O G R A F I A

- Cuauhtémoc G., Jorge, 1979, "La aplicación de la geofísica en el campo de la hidrología" Tesis, U.N.A.M.
- Dobrin, M.B., 1976, "Introduction to geophysical Prospecting": --  
Tercera Edición, Mc Graw - Hill Inc., 630 p.
- Davenport, Maldonado y Negrillo., 1980, "Técnicas geofísicas para la determinación de propiedades elásticas":  
Div. Educ. Cont., Fac. Ing. U.N.A.M.
- Dowding. C.H., 1979, "Site characterization and exploration", - --  
American Society of Civil engineers, Ed, pág. 291-301
- Johansen, H.K., 1975, "An interactive computer graphic display - -  
terminal system for interpretation of resistivity - -  
Sounding": Geoph Pros., V - 23
- Nicholls, H.R., 1961, "In situ determination of the dynamic elastic constants of rock": U.S. Dep. Mter - Bur Mines, -  
Rep. Invert. 5888
- Navarro C., Jorge I., 1979, "Geología del proyecto hidroeléctrico Aguamilpa, Estado de Nayarit" :Tesis, U.N.A.M.

Orellana, Ernesto., 1976, "Notas sobre la interpretación de son--  
deos eléctricos verticales": Geofísica. (Española) -  
XXV., N97, Pág. 1-140

Orellana, Ernesto., 1972, "Prospección geoelectrica en corriente -  
continua": Edit. Paraninfo, Madrid.

Peters, F.D., 1980, "Manual del método de trayectoria de rayos re-  
fractados": David's, Robertson and Associates, Inc. -  
Golden, Colorado.

Residencia de Estudios Geofísicos para Proyectos Hidroeléctricos,-  
1980., "Diseño de obras civiles en la construcción de  
presas.": C.F.E.

----- 1980, Memoria III tomo I Revisión Nacional de Geolo--  
gía y Geotecnia: C.F.E.

----- 1982, "Manual preliminar para exploraciones en sitios  
para proyectos hidroeléctricos": C.F.E., Inédito.

----- 1983, "Factibilidad geotécnica alternativa Colorines":  
Subdirección de construcción, C.F.E. Inédito.

----- 1983, "Geofísica en la Factibilidad de la alternativa  
Colorines": (Sánchez etal): C.F.E., Inédito.

----- 1981, Programa computacional Vel Int (Vázquez C.A.):  
C.F.E., Inédito.

S.R.H., 1975, "Pequeños almacenes"

Seara, José Luis, 1977, "Developments in electrical prospecting --  
methods": Faculty of Graduate Studies the University  
of Western, Ontario. London, Ontario