

# BASES METODOLOGICAS PARA EL DESARROLLO DE LAS INVESTIGACIONES INGENIERO GEOLOGICAS PARA LAS OBRAS HIDRAULICAS

ING. OTTO HORSKY. OSC

## RESUMEN

En el presente trabajo se mencionan los métodos básicos para el desarrollo de las investigaciones ingeniero-geológicas para las obras hidrotécnicas, es decir, división de las investigaciones en etapas, técnica de exploración ingeniero-geológica, elección del método de investigación e incorporación de las investigaciones ingeniero-geológicas a otras investigaciones. Este trabajo no valoriza el estudio geotécnico del lugar, ya que esto es una cuestión muy compleja, que necesita su propia atención.

## INTRODUCCION:

*El desarrollo actual de las construcciones de obras hidrotécnicas ha provocado la necesidad de estudiar detalladamente las condiciones ingeniero-geológicas del macizo rocoso donde va asentada la construcción misma. Una de las orientaciones básicas de la investigación ingeniero-geológica para las obras hidrotécnicas es, por esta razón el estudio del macizo rocoso como fundamento de las obras hidrotécnicas de diferentes tipos. Mientras que para las presas de tierra, presas de enrocamiento (Rock Fill) y presas de hormigón gravitacionales la mayor carga representa la propia obra, en la presa de arco la parte esencial de la carga es la provocada por la construcción misma y, además, por la presión del agua embalsada, transmitida a los bordes del valle, lo que representa la mayor resistencia que el macizo rocoso debe soportar. De esto resultan también los diferentes volúmenes de las investigaciones ingeniero-geológicas, ya que para una presa de arco la presencia de capas con diferentes comprensibilidades, líneas tectónicas y otras heterogeneidades juegan un papel mucho más importante y se estudian más detalladamente que para las presas del tipo de gravedad.*

*El volumen y metodología de las investigaciones ingeniero-geológicas para las obras hidrotécnicas es una cuestión muy compleja que depende de las condiciones geológicas y morfológicas del lugar, tamaño y tipo de la obra, objeto y empleo, importancia y de la etapa de proyección. Algunas veces, desde un punto de vista estatal, existen limitaciones en tiempo o en costos para las investigaciones, hay que respetar esto, pero estas limitaciones no pueden influir esencialmente en la calidad de las investigaciones, para que no surjan después averías o catástrofes en la obra.*

*El carácter de las investigaciones ingeniero-geológicas está influido por los objetivos de la obra hidrotécnica, porque debe estar asentada en rocas o suelos poco compresibles, poco permeables y con estabilidad suficiente. Además, hay que tener en cuenta los factores físico-geológicos desfavorables, como son deslizamientos y derrumbes, carso, zonas sísmicas activas y otros.*

*La construcción y explotación de la obra hidrotécnica lleva consigo, generalmente, un cambio en las condiciones ingeniero-geológicas e hidrogeológicas originales. Desde este punto de vista hay que estudiar, por esta razón, la influencia positiva o negativa sobre la naturaleza de la obra hidrotécnica.*

1.2 La tarea básica de la investigación ingeniero-geológica para una obra hidrotécnica es, ofrecer los datos ingeniero-geológicos básicos que nos den la posibilidad de seleccionar la mejor variante para ubicar la obra y sus objetos (aliviaderos, toma de agua, etc.), ofrecer los datos necesarios para la elaboración del proyecto de una obra racional y segura y, elaborar un pronóstico en los cambios de las condiciones naturales originales, causados por la intervención de la construcción misma.

Partiendo de estas tareas básicas la investigación ingeniero-geológica debe satisfacer las siguientes necesidades:

a) Los resultados de las investigaciones ingeniero-geológicas deben ser suficientes para apreciar objetivamente las condiciones ingeniero-geológicas del lugar donde se va a construir la obra hidrotécnica. El proyectista debe obtener datos suficientes para que pueda apreciar las diferentes variantes de ubicación del hidrocconjunto con sus objetos de obra, incluyendo la proyección de los métodos de trabajo de la construcción.

b) La investigación ingeniero-geológica tiene que ofrecer las características físico-mecánicas y de filtración principales del macizo rocoso, que nos den la posibilidad de elaborar un proyecto de la obra óptimo y seguro, en las condiciones naturales existentes. Los resultados de la investigación ingeniero-geológica tienen que ofrecer, además, la base necesaria para proyectar medidas de seguridad durante la construcción y durante la explotación de la misma, si es necesario.

c) Los resultados de la investigación tienen que ofrecer los datos que aclaren los posibles cambios en las condiciones ingeniero-geológicas, e hidrogeoquímicas durante y después de la construcción y para apreciar la posibilidad del desarrollo de fenómenos físico-geológicos en el área de la obra, embalse y sus alrededores.

d) La investigación tiene que asegurar una cantidad suficiente de materiales para la construcción de la obra. Desde este punto de vista hay que utilizar también los materiales de las excavaciones, que pudieran ser empleados racionalmente para la construcción de la obra.

## 2 BASES METODOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DE LAS INVESTIGACIONES INGENIERO-GEOLÓGICAS

El éxito de las investigaciones ingeniero-geológicas de una obra hidrotécnica depende de la utilización correcta de los procedimientos metodológicos durante la organización, realización y evaluación de ésta.

Actualmente se realiza la investigación ingeniero-geológica de las obras hidrotécnicas en varias etapas, lo que está de acuerdo con la necesidad de realizar un proyecto óptimo, racional y seguro. Este pro-

cedimiento de trabajo nos da la posibilidad de una transición progresiva, desde la solución de las cuestiones más generales referentes a la ubicación del eje de la presa y otros objetos de obra, elección del tipo de obra, tamaño, ubicar las obras principales y el NAM, hasta la solución de cuestiones complejas y concretas relacionadas con el cálculo de los elementos básicos de la construcción misma y del embalse.

El principio de la realización de los trabajos por etapas, suele ser así una condición indispensable para realizar una investigación económica y de buena calidad. Tienen la misma importancia los principios de complejidad de la investigación ingeniero-geológica y la economía en la realización de los trabajos.

### 2.1 PRINCIPIOS DE LAS ETAPAS

La solución exitosa de las tareas complejas que surgen durante la proyección y construcción de una obra hidrotécnica depende de una estrecha y cotidiana colaboración del ingeniero geólogo, proyectista e inversionista. Por eso, es necesario e importante, que la investigación ingeniero-geológica y la proyección formen un único procedimiento tecnológico, dividido en las etapas correspondientes de la proyección y de la investigación.

Durante estas etapas el proyectista presenta las tareas a resolver y el ingeniero geólogo las soluciona, e influye positiva y activamente en la proyección de la obra. La solución exitosa de cada etapa de investigaciones y proyección y la formulación de las tareas que hay que resolver, son la base indispensable para pasar a otra etapa más alta.

La magnitud y metodología de las investigaciones deben ser relacionadas con el carácter y fines de la etapa correspondiente.

Todos estos trabajos hay que realizarlos con el objeto de servir como parte de la investigación de la eta-

pa siguiente. La magnitud de las investigaciones, en general, no debe sobrepasar los fines de la etapa, utilizando en la mayor escala posible los trabajos de investigaciones ingeniero-geológicas realizados anteriormente.

Según la necesidad, las etapas se pueden dividir en subetapas o fases. A su vez, si hay razones de peso, o si se trata de un lugar con condiciones ingeniero-geológicas simples y bastante investigado anteriormente, es posible unir las etapas y realizar los trabajos en una sola. Esta rectificación no debe afectar la calidad de las investigaciones ingeniero-geológicas.

### 2.2 PRINCIPIOS DE COMPLEJIDAD

2.2 La aplicación del principio de complejidad debe asegurar el óptimo empleo de todos los métodos existentes de la ingeniería-geológica para terminar con éxito una tarea definida. En el mismo momento debe ser asegurada la utilización compleja y efectiva de todos los costos destinados a la investigación y el empleo complejo de los resultados obtenidos.

Para que los resultados alcanzados sean representativos hay que asegurar una colaboración muy estrecha de los especialistas, principalmente del ingeniero geólogo con el hidrogeólogo, geotécnico, geofísico, geoquímico y eventualmente con otros especialistas.

Los resultados de la investigación deben ser aceptables también para otras ramas de la ciencia, por ejemplo, como base para el levantamiento geológico e hidrogeológico en las investigaciones de yacimientos, etc. El principio de complejidad investigativa hay que mantenerlo en todas las etapas.

### 2.3 PRINCIPIO ECONOMICO EN LA INVESTIGACION

El cumplimiento consecuente de las etapas de investigación consti-

tuye un importante y básico eslabón para alcanzar el aprovechamiento eficaz de los costos y los resultados obtenidos. Para que la investigación sea económica hay que aprovechar todos los datos de archivos, trabajos anteriormente realizados, por ejemplo, con otros fines, y evitar la duplicidad de los mismos. Durante la realización de los trabajos hay que asegurar un control regular, lo que nos da la posibilidad de influir activamente en el desarrollo de los trabajos ingeniero-geológicos, para que sean efectivos, racionales y correctos. Durante la investigación hay que utilizar todos los métodos modernos, los que harán

más real la investigación y posibilitarán mejor calidad en el trabajo.

### 3 TECNICA DE EXPLORACION INGENIERO GEOLOGICA

No podemos tomar las técnicas de las exploraciones ingeniero-geológicas para obras hidrotécnicas aquí recomendadas como normativas o standard. Estas representan solamente el conjunto de métodos que utilizamos durante las investigaciones ingeniero-geológicas y pueden servir al ingeniero geólogo o geotécnico como guía u orientación metódica.

Es posible representar esquemáticamente, las tareas de investigaciones ingeniero-geológicas para obras hidrotécnicas de la siguiente manera:

El esquema presentado tiene solamente validez orientativa y limitada y no se puede considerar como una norma para la sucesión de las actividades sin cambiar su orden numérico. La función N° 1 hay que confrontarla después de terminar la investigación con las funciones N° 1, 2 y 3, y si es necesario, en otra etapa se resolverán los problemas aclarados (pendientes).

#### 3.1 ELECCION DEL METODO DE INVESTIGACION

El conjunto de métodos que utilizamos para la investigación ingeniero-geológica lo representamos en la Tabla No. 1. Para elegir el método más conveniente, hay que tener en cuenta tres factores básicos:

- a) Modo de usar la construcción concebida.  
La diferente necesidad de un volumen determinado de las investigaciones y elección del método de investigación conveniente que tiene una obra aislada (aliviaderos, toma de agua, hidrocentral) otra necesidad la tiene una obra lineal (túneles, carreteras) y por fin, otra necesidad la tiene una obra de grandes dimensiones superficiales (investigación del embalse, conjunto hidráulico, préstamos, traslados de zonas urbanas).
- b) Condiciones naturales del área o lugar de la construcción.  
Es decir, condiciones geográficas y carácter morfológico, condiciones geológicas, hidrológicas y climáticas. Sobre la base de los factores mencionados distinguimos tres categorías de complejidad ingeniero-geológica (tabla 2).
- c) Condiciones externas.  
Son las limitaciones del tiempo para las investigaciones, posibili-

Función No.

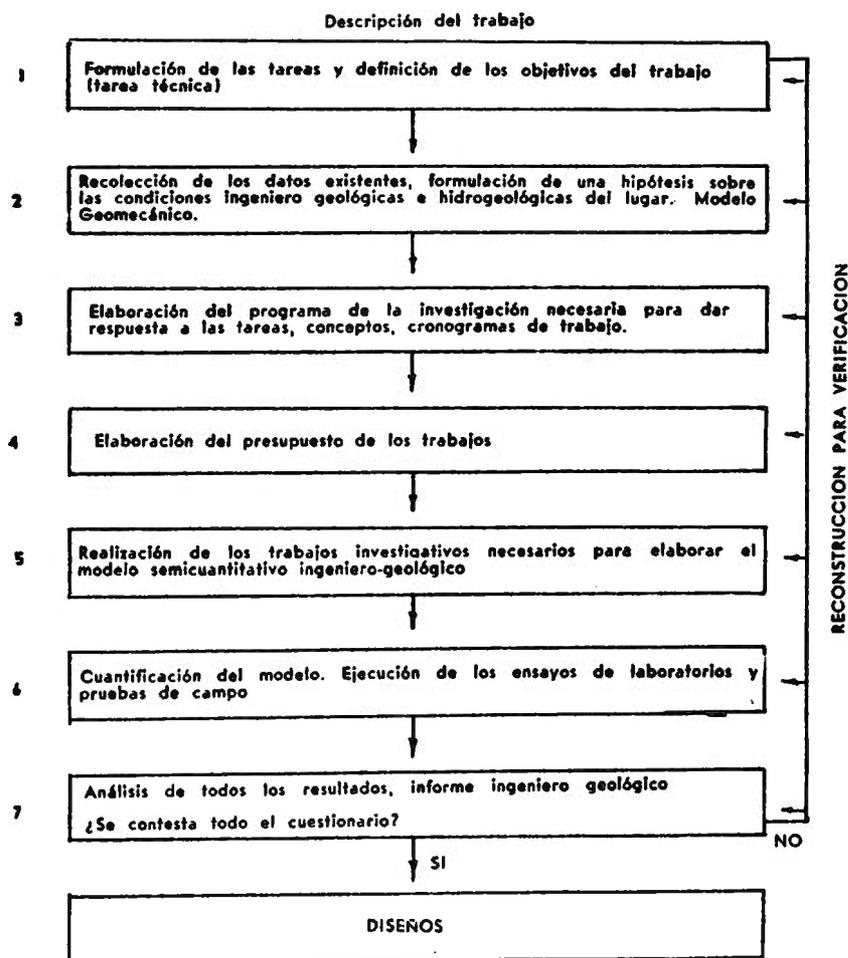


Tabla No. 3

CATEGORIA DE LAS OBRAS SEGUN SUS CARACTERISTICAS TECNICAS

DENOMINACION DE LA OBRA DE RETENCION				C A T E G O R I A
Presas de materiales locales Presas de hormigón y hormigón armado, partes sumergidas de Est. hidroeléctricas, muros de contención y otras partes de hormigón armado que forman parte del frente de retención.				
TIPOS DE SUELO DE LA BASE				
Rocosos	No rocosos	Rocosos	No rocosos	
CARGA MAXIMA SOBRE LA OBRA (m)				
Más de 100	Más de 50	Más de 100	Más de 25	I
Entre 50 y 100	Entre 25 y 50	Entre 50 y 100	Entre 20 y 25	II
Entre 20 y 50	Entre 15 y 25	Entre 20 y 25	Entre 10 y 20	III
20 y menos	15 y menos	20 y menos	10 y menos	IV

dades del acceso al terreno, limitaciones económicas, posibilidades del organismo que realiza la investigación y categorías de las obras según sus características técnicas (tabla No. 3).

La utilización del lugar de construcción y las condiciones externas, deben ser consultadas con el inversionista y el proyectista, ya que forman la base de elaboración del programa de trabajo.

Sobre los métodos que serán utilizados, la cantidad y profundidad de calas y calicatas, cantidad de ensayos de laboratorios y de campo, lo decide el ingeniero-geólogo responsable de la investigación, de acuerdo con las necesidades del proyectista e inversionista.

La fórmula y volúmenes de las investigaciones se seleccionan de tal manera, que se obtengan los conocimientos sobre la estructura geológica y las concéntricas geotécnicas y que sirvan como base suficiente para realizar un proyecto seguro, económico y para efectuar los tra-

bajos de construcción sin ninguna dificultad.

Los métodos que utilizamos para estos fines los podemos dividir en estos grupos: a) estudios geológicos, b) estudios geofísicos, c) perforaciones (calas), excavaciones (calicatas, trincheras, corte de laderas) y trabajos subterráneos (galerías), es decir, laboreos de excavación, d) pruebas de campo, e) trabajos de laboratorios, f) trabajos especiales (carotage, mediciones dentro de las calas, etc.) g) trabajos topográficos y f) trabajos de gabinetes.

Los grupos mencionados no presentan todos los trabajos utilizados durante las investigaciones ingeniero-geológicas para las obras hidrotécnicas. El orden de éstos es así generalmente, pero no reflejan el orden de su importancia. Con respecto a las diferentes posibilidades de estos métodos, es siempre asunto del ingeniero-geólogo quien elige las necesidades de investigación ingeniero-geológica por una parte y las posibilidades de estos métodos en segundo lugar, para resol-

ver el problema en el ambiente geológico existente.

3.2 INCORPORACION DE LAS INVESTIGACIONES INGENIERO-GEOLÓGICAS A OTRAS INVESTIGACIONES

Las condiciones geológicas del lugar a veces son tan complejas que para apreciarlas desde el punto de vista de los objetivos ingenieriles, es importante la incorporación de otras disciplinas ingenieriles semejantes y el nivel profesional del especialista.

Una larga experiencia en las investigaciones ingeniero-geológicas para obras hidrotécnicas, obtenidas sobre la experiencia de desastres, pérdidas de vidas, etc., nos indica que algunas calas o calicatas hechas mecánicamente no pueden reemplazar la rica experiencia de un ingeniero-geólogo, que, al partir de un profundo conocimiento geológico y geomorfológico del lugar, pueda formarse una idea de los procesos que tuvieron efecto durante la modelación del relieve y sobre la base de éstos pueda elaborar un programa de trabajo útil y racional de las perforaciones y exploraciones y de otros trabajos de investigación.

La responsabilidad en la obtención de resultados correctos y exactos en las investigaciones ingeniero-geológicas la tiene, sin dudas, el ingeniero-geólogo, quien debe elaborar los resultados de tal forma que sirvan al proyectista, constructor y colaboradores. De lo expuesto resulta que el ingeniero-geólogo debe orientarse no solamente hacia la geología, petrografía, tectónica, geología estructural y regional, sino también hacia la geofísica, mecánica de rocas y suelos, geoquímica, mineralogía de las arcillas, sismología y otras disciplinas.

El ingeniero en esta especialidad debe tener conocimientos de ciencias naturales, con una buena comprensión de la naturaleza, para que

pueda imaginar la adaptación de la obra hidrotécnica al ambiente natural, sin provocar el desarrollo de fenómenos físico-geológicos, que pudieran afectar también la obra misma y producir cambios ecológicos e irremediables.

El ingeniero geólogo y el proyectista deben comprenderse mutuamente, para que puedan ambos, en buena y estrecha colaboración, apreciar todos los factores que pudieran influir negativamente en la obra proyectada.

#### 4 ETAPAS DE LAS INVESTIGACIONES INGENIERO-GEOLÓGICAS

Como habíamos definido en el Capítulo 2.1, las investigaciones ingeniero-geológicas las realizamos por etapas de proyección.

Las investigaciones ingeniero-geológicas están orientadas a dar respuesta a todas las interrogantes planteadas. En la primera etapa hacemos el análisis ingeniero-geológico, generalmente, sobre la base del estudio de los afloramientos y la morfología (levantamiento ingeniero-geológico), utilizando investigaciones geofísicas en perfiles alternos con algunas calas de apoyo. Después de elegir el eje definitivo (o supuesto), profundizamos la investigación realizando trabajos superficiales (labores de exploración como calas, calicatas, trincheras) con un uso amplio de los métodos geofísicos y nucleares. Los ensayos de laboratorio y las pruebas de campo las hacemos ya en la estructura geológica propuesta como lugar de construcción de la obra hidrotécnica. Los resultados de estas pruebas nos dan no solamente datos técnicos, sino también nos ayudan a precisar la interpretación de la estructura geológica.

Finalmente, durante la construcción de la obra misma, continuamos los trabajos de documentación de los afloramientos y de las excavacio-

nes, utilizándolos para profundizar los conocimientos sobre la estructura geológica del lugar y para alertar a tiempo sobre posibles riesgos.

Esta documentación profundiza nuestros conocimientos sobre el lugar de la construcción, además, es importante por las siguientes razones:

- nos ofrece una documentación de los factores geológicos que afecten toda la estructura ingenieril y nos da la posibilidad de rectificar los fines de la construcción;
- los datos obtenidos y la experiencia adquirida ofrecen una valiosa ayuda en la proyección de construcciones parecidas en condiciones naturales análogas;
- los datos obtenidos sirven como aporte para el fondo de datos ingeniero-geológicos a la geología local y regional.

Para las obras hidrotécnicas deben hacerse inspecciones ingeniero-geológicas después de terminada la obra. Esto nos da la posibilidad de evitar a tiempo el surgimiento de factores indeseables o riesgosos desde el punto de vista de la explotación de la obra.

Actualmente las investigaciones ingeniero-geológicas las hacemos en tres etapas de investigación.

##### 4.1 Etapa de tarea de proyección

Es la etapa de anteproyecto, sirve para la selección del eje y de los objetos de obra del conjunto hidráulico. El objetivo de la misma es ofrecer los elementos ingeniero-geológicos necesarios para realizar la evaluación técnico económica más conveniente de las variantes estudiadas por parte de los proyectistas e inversionistas. Conjuntamente se estudian las posibilidades de materiales de construcción en forma preliminar. Algunas veces realizamos una subetapa (fase) anterior, que es la evaluación de las condiciones ingeniero-geológicas de la

cuenca del río, desde el punto de vista de las posibilidades para la construcción de la obra hidrotécnica.

##### 4.2 Etapa de proyecto técnico

Es la etapa de proyecto que sirve para obtener todos los materiales necesarios en la selección definitiva del lugar de ubicación del conjunto hidráulico, así como la proyección de todas las obras en los límites del área de construcción, para el trazado del aliviadero y el embalse. Conjuntamente se estudian en forma muy detallada los materiales de construcción.

##### 4.3 Etapa de proyecto ejecutivo

Es la etapa de proyecto en la que se realizan los trabajos de investigaciones especiales, determinados por el desarrollo del proyecto y definidos por el proyectista de acuerdo con el ingeniero geólogo.

Desde el punto de vista del proyecto, para aquellas presas que tengan una carga hidráulica de hasta 20 m de altura cimentados en roca y de hasta 15 m de altura cimentada en suelos (categoría IV), podemos, en condiciones ingeniero-geológicas simples (categoría A), unir todos los trabajos en una sola etapa de investigaciones ingeniero-geológicas. En esencia eso significa regiones con estructura geológica y geomorfológica simple, donde en conjunto las rocas son homogéneas y sin complicaciones, con ausencia de tectónica disyuntiva, con ausencia, en una escala importante, de fenómenos físico-geológicos (carso, deslizamientos) y que las aguas subterráneas yacen en capas litológicamente homogéneas y con un quimismo también homogéneo.

No existen filtraciones, empalmientos e inundaciones del área por encima de la altura del embalse, ni erosión importante de las orillas desde el punto de vista económico.

De incumplirse los requisitos antes expuestos, la investigación ingeniero-geológica aumenta de categoría y se realiza por etapas.

Tabla No. 4

**RECOMENDACION DE ETAPAS DE INVESTIGACION SEGUN LA CATEGORIA Y COMPLEJIDAD GEOLOGICA**

	CATEGORIAS				
	I	II - III		IV	
Complejidad geológica	A - B - C	A	B - C	A	B - C
Etapas de investigación	3	2	3	1	2

**Leyenda:**

- A — Poca complejidad
- B — Mediana complejidad
- C — Compleja

Tabla I

**TABLA DE LOS METODOS PRINCIPALES QUE SE UTILIZAN EN LAS INVESTIGACIONES INGENIERO-GEOLOGICAS PARA LAS OBRAS HIDROTECNICAS**

Tipos de Métodos	Objetivo	Tipo de trabajos para obtener la información	Aplicación principal de los resultados
1. Geológicos	Estudio geológico regional (levantamiento geológico regional)	Estudio de la estructura geológica y tectónica, historia del desarrollo de la misma definiendo los tipos genéticos y litológicos de rocas y suelos. Carácter y orden de las fallas tectónicas y procesos físico-geológicos. Además, se estudian zonas debilitadas.	En todos aquellos lugares donde falte el estudio geológico regional. En caso de existir se debe revisar su utilidad para la construcción proyectada.
	Estudio geológico detallado (levantamiento ingeniero-geológico detallado)	Idem que lo anterior, pero específicamente en el área del hidroconjunto con apoyo de calas, toma de muestras, trabajos geofísicos superficiales y en calas, geomorfología, etc.	Levantamiento ingeniero-geológico detallado, planos ingeniero-geológicos, perfiles ingeniero-geológicos, modelos geotécnicos tridimensionales.
2. Hidrogeológicos	Estudio hidrogeológico regional (levantamiento hidrogeológico regional)	Realización de itinerarios hidrológicos, documentación de manantiales y otros afloramientos, amarrándolos topográficamente al plano existente.	Evaluación de las condiciones hidrogeológicas regionales para la proyección, construcción y explotación del cierre y embalse especialmente con respecto a infiltraciones a los valles vecinos.
	Estudio hidrogeológico detallado (levantamiento hidrogeológico detallado)	Realización de itinerarios hidrogeológicos en el área del hidroconjunto, determinación de los parámetros hidráulicos principales de las rocas y suelos presentes en el área de las presas, afloros, vertimientos, inyección a presión de agua, observaciones del régimen, muestreo de las aguas subterráneas y superficiales, etc.	Plano hidrogeológico detallado, planes de hidroisohipsas, evaluación de las pérdidas por filtración a las excavaciones, evaluar la necesidad de construcción de cortinas de inyección, agresividad de las aguas al hormigón, actividad corrosiva al acero y envolturas de cables, relación hidráulica de las aguas subterráneas con el río, etc.
3. Geofísicos	Estudio del comportamiento de los campos físicos.	a) Métodos eléctricos (Resistividad eléctrica). Medición de los cambios de la resistividad eléctrica aparente en la superficie y en los labores de exploración	Determinación de la potencia de las rocas de cobertura e intemperizada, horizontes acuíferos, zonas conductoras y no conductoras, planos de deslizamiento y derrumbes, estudio de las alineaciones (cierre, toma de agua, vertederos, túneles), etc.
		b) Sísmica de refracción. Definir las velocidades de las ondas sísmicas en diferentes capas.	Determinación de los contactos entre diferentes capas y sus profundidades, obtención de módulos elásticos y otros parámetros, definición de la profundidad y calidad técnica de las rocas, determinación orientativa de la estructura geológica y tectónica y ubicación mejor de los labores de explotación.
		c) Sísmica de reflex. Estudio de la trayectoria de las ondas sísmicas y del tiempo necesario para su llegada a la superficie, después de reflejarse en los contactos entre diferentes capas, a diferentes profundidades.	Determinación de contactos horizontales e inclinados y alternancias de capas. Se utiliza cuando no es posible utilizar sísmica de refracción.

4. Perforación, muestreo y laboreos de exploración pruebas del laboratorio y del campo

Estudio de la estratigrafía estructura, tectónicas, propiedades físico-mecánica de roca y suelos, hidrogeología y geofísica.

d) Carotaje en calas (métodos nucleares y otros) Medición de los campos eléctricos, sísmicos y radioactivos en las rocas debajo de la superficie, en los alrededores de las calas.

Ayudan a determinar las condiciones hidrogeológicas, litológicas, tectónicas y algunos parámetros geotécnicos. Evaluación de zonas debilitadas, pérdida de la recuperación, etc.

a) Barrenos para explosivos calas de percusión-rotatoria. Toma de muestras de monolitos parafinados de rocas Shelby, etc.

Estudio de los fundamentos de las obras préstamos y canteras, embalses, túneles, etc. Determinación sobre la profundidad de las rocas, velocidad de perforación; estudio de las características geotécnicas y estructuras geológicas.

b) Calas rotatorias.

Estudio de la estructura geológica y tectónica, correlación de los datos superficiales y subterráneos, se pueden obtener testigos orientados para definir la inclinación de las capas y el agrietamiento, se utilizan para obtener datos geotécnicos.

c) Métodos de los testigos continuos perforación con carotaje continuo, penetración, etc.)

Estudio de la composición geológica y características geotécnicas.

d) Laboreos de exploración (calcatas, galerías, etc.)

Estudio de la estructura geológica donde no hayan afloramientos, para ubicar pruebas especiales (placas, cortes, medición de las tensiones naturales, etc.), útil para obras grandes (hidroacumuladores, túneles, ubicación de salas, etc.)

#### CATEGORIA DEL LUGAR SEGUN LA COMPLEJIDAD INGENIERO-GEOLÓGICA

Tabla No. 2

Categoría según la complejidad	Características de la complejidad Ingeniero-geológica (geomorfología, hidrogeología, procesos físico geológicos.)
<b>A</b> Simple	Regiones con estructuras geológicas y geomorfológicas simples. El conjunto de las rocas sedimentarias y magmáticas son homogéneas sin complicaciones.
<b>B</b> Media	Regiones formadas por diferentes rocas sedimentarias o magmáticas, o regiones compuestas por rocas sedimentarias y metamórficas, estas últimas en correlación simple. La tectónica explicativa, están poco desarrollados los fenómenos físico-geológicos (carso, deslizamientos, etc.) Las aguas subterráneas coinciden con las capas litológicas variables, y su composición química heterogénea.
<b>C</b> Compleja	Regiones de estructuras geológicas y geomorfológicas complejas, conjuntamente con el complejo de las rocas sedimentarias, magmáticas. Desarrollo de la tectónica aplicativa y disyuntiva. Gran desarrollo de los fenómenos físico-geológicos. Las aguas subterráneas tienen relación recíproca y muy complicada.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1— Horsky, O: Investigaciones Ingeniero-Geológicas para las Obras Hidrotécnicas. Instructivo Metodológico, ENIA-MICONS, 1982.
- 2— Horsky, O., Muller, K.: Condiciones Ingeniero Geológicas de la presa DALESICE en el río JIHLAVA. Sbor. Geol. Ved, serie HIG, 11, 125-160, Praga. 1974.
- 3— Horsky, O., Muller, K.: Rock environment-determining factor for projecting the hydrotechnic construction works. Proceeding of the III Internacional Congress IAEG, Secc. III, vol. 1, p. 143-151. Madrid, 1978.
- 4— Horsky, O., DROZD, K.: Métodos de las Investigaciones geotécnicas para las obras hidrotécnicas: 3ra. Reunión del Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica y ramas afines. Arequipa, Perú, vol. 11, 10-1-104, 1975.
- 5— Horsky, O.: Metodología y aplicación de los métodos modernos durante la investigación ingeniero geológica para la presa DALESICE, Trabajo para la Candidatura Científica, Ostrava, CSSR; 1978.

#### INSTRUCTIVOS INTERNACIONALES

1. Recommendations on site investigations techniques, ISRM, 1975.
2. Suggested methodes for geophysical logging of boreholes, ISRM, 1980.
3. Basic geotechnical description of rock masses, ISRM, 1980.