



INFORME SOBRE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE MI PER-
MANENCIA EN LA REPUBLICA FRANCESA EN CUMPLIMIENTO DEL
PLAN DE COOPERACION TECNICA DURANTE EL AÑO 1962/1963

Después de realizar el estudio del idioma Francés durante dos meses en la ciudad de Besancon he cumplido con un curso de Hidrogeología en el B.R.G.M. de París bajo las directivas del Ing° Geólogo M.Berkaloff, quien me facilitó toda clase de libros técnicos y la bibliografía disponible en esa República como asimismo diversas notas inéditas sobre estudios hidrogeológicos hechos en Francia y en el extranjero.-

De esta manera he podido apreciar los progresos alcanzados en Francia para abordar trabajos de la especialidad, en diversos terrenos y en diferentes regiones, particularmente en Africa y norte de Francia.-

Durante el lapso cumplido en el B.R.G.M. se efectuaron dos visitas; una a Versalles y otra a los alrededores de Melún, al primer lugar nos trasladamos con el objeto de efectuar (con otros becarios) una práctica sobre ensayos de bombeos en perforaciones, y asimismo para conocer los métodos empleados durante un bombeo intensivo y observar las depresiones de los niveles y tiempo de recuperación producido simultáneamente en los sondeos de una red de perforaciones previamente efectuados.-

En esta ocasión he podido conocer la técnica de ubicación de pozos para los estudios de esa naturaleza y asimismo el mecanismo para medición de los niveles acuíferos en las distintas etapas del proceso. De la misma manera se ha confeccionado y ordenado los diversos datos registrados y toda clase de documentación empleada y asimismo manejo de fichas utilizadas con el mismo objeto.-

Durante mi visita a Melún he observado diversas obras de sondeos en ejecución, diagramas de perfiles, gráficos de ensayo de bombeos como también toda clase de información sobre la especialidad.-



-2-

En la oportunidad he conocido además toda la organización de la oficina regional que el B.R.G.M. posee en la localidad mencionada.-

En compañía de otros becarios se efectuó una visita a la Fontaine de Vaclouse, con el objeto de conocer el gran manantial subterráneo que circula en un sistema karstico, a raíz de existir en las calizas del lugar un abundante sistema de fisuras abiertas y cavidades hipogeas que luego vuelcan sus aguas sobre la superficie.-

Por indicación del Dr. Ruiz Huidobro he prestado asesoramiento -en tema de Hidrogeología- al Ing^o José S. Gandolfo durante todo el desarrollo del Congreso Internacional de Hidrogeología realizado en París y patrocinado por la UNESCO.-

Los medios de vinculación que brinda A.S.T.E.F. resultan importantísimos por cuanto aparte de estrechar vínculos entre estudiantes de distintos países, ofrece incomparables oportunidades para conocer y apreciar los diversos ambientes culturales, ofreciendo la ocasión de conocer los principales Centros de estudios hidrogeológicos del país. De esta manera he visitado, por mis propios medios, diversos lugares, centros científicos y culturales, tanto en París como en Bordeaux y Besancon, en los mencionados lugares se nos ha brindado toda clase de explicaciones técnicas sobre los diversos temas requeridos por mi y por los numerosos estudiantes que a diario concurren a los Talleres y escuelas especializadas.-

La Hidrogeología en Francia desarrollada por el B.R.G.M.

La expansión agrícola e industrial de Francia está estrechamente subordinada sobre todo en las regiones áridas y semiáridas, a la explotación racional de los recursos de aguas subterráneas.-



-3-

El Servicio de Geología Aplicada se dedica, pues a formar técnicos y perfeccionar los sistemas de investigación y estudios de las aguas subterráneas.-

Una gran parte de sus actividades está dedicada a la Hidrogeología, formando y completando la formación de sus profesionales en base a las prácticas y experiencias realizadas sobre el terreno, estudiando diversos problemas concretos en distintas regiones hidrogeológicas (Francia, Africa del Norte, Sahara, Africa Tropical, etc.) y usando las más diversas aplicaciones: alimentación de agua a centros urbanos, rurales e industriales; hidráulica agrícola y ganadera, regadíos y drenajes; hidrogeología minera y termomineral.-

El estudio de los recursos de aguas subterráneas, su explotación racional y conservación se basa en el reconocimiento hidrogeológico regional. Este estudio se funda igualmente en el inventario detallado y preciso de los recursos hidráulicos y la estimación de las reservas útiles, después del cual tratan de establecer un programa de explotación racional.-

El censo de los recursos hidráulicos está acompañado y seguido del examen de los niveles acuíferos, cuyo propósito es la determinación de las características hidrogeológicas, base del cálculo de las reservas útiles y de explotación.

Estas últimas se apoyan eventualmente en el reconocimiento experimental de las aguas subterráneas, mediante estudios de caudales y empleo de trazadores.-

Las investigaciones sobre las características técnicas y económicas de las obras de captación y el examen del balance hidrogeológico lleva a la valoración de los recursos explotables y a su conservación.-

El B.R.G.M. gracias a su trabajo de equipo puede conducir al estudio de un problema hidrogeológico cualquiera, desde la prospección a la explotación. Las prospecciones se efectúan en colaboración con los departamentos de Geofísica, Sísmi-



#4-

ca, etc; una estrecha vinculación entre el geólogo, geofísico y químico permite el uso de medios adecuados de investigación de cada problema, dando por resultado una mayor eficacia de las observaciones. Todos los aspectos de la prospección y del estudio de las aguas subterráneas quedan tratados así: Prospección Hidrogeológica, propiedades acuíferas de los terrenos, estructura hidrogeológica, cálculo de las reservas y de los recursos.-

Instalación geológica de las perforaciones, pozos drenajes y galerías. Estudio geológico del drenaje, inspección hidrogeológica de las perforaciones y de todas las obras de captación, ensayo de caudales, rendimiento de una obra de explotación, caudal útil, etc.-

Investigación de las grandes cuencas hidrogeológicas, programa de explotación racional; inspección geológica y geotécnica de las perforaciones, perímetro de protección.-

El B.R.G.M. aplica a dicho estudio las técnicas más modernas, especialmente los métodos procedentes de las observaciones sobre radioactividad. De esta manera utiliza los radioisótopos trazadores para la medida de la velocidad de circulación de las aguas subterráneas (Capas aluviales de Pierre-late, etc. o de la zona de permeabilidad en horizontes acuíferos influenciados por las mareas oceánicas, instalación portuaria de Bolonia y estudio sobre el hundimiento paulatino de la ciudad de Venecia, Italia).-

El Centro de Hidrogeología-Geoquímica de Bordeaux

El Centro de Hidrogeología-Geoquímica de Bordeaux admite cada año un reducido número de estudiantes de primer año y otros tantos de segundo año; pero a más de los estudiantes franceses recibe profesionales extranjeros que vienen a realizar cursos de Hidrogeología y Geoquímica, con el objeto de aumentar sus conocimientos en la materia y adquirir finalmente el diploma del doctorado en Hidrogeología.-



-5-

El Centro de Hidrogeología y Geoquímica desde su creación atrae anualmente gran cantidad de estudiantes y profesionales de casi todos los países del mundo.-

La enseñanza de la Hidrogeología abarca un periodo de dos a tres años; el primer año finaliza con el curso de Hidrogeología, obteniendo el licenciado en la mencionada disciplina, el resto del tiempo es consagrado a un trabajo práctico necesario para obtener el diploma de doctorado en Hidrogeología.-

Los temas de tesis del doctorado pueden dividirse en dos grupos; los estudiantes que poseen buenos conocimientos de matemática hacen tesis en Hidrogeología, ya sea sobre la hidrodinámica o sea sobre la física de las aguas subterráneas. Así se desarrollan temas más o menos complejos. Se sabe que grandes matemáticos como Boussinesq y aún otros han sido atraídos por problemas engendrados por la circulación y comportamiento de las aguas subterráneas después de distintos ensayos de bombeos.-

Los estudiantes que tienen más bien una formación naturalista se les designa un tema de tesis, donde la parte descriptiva es mucho mayor, recomendándole especialmente estudios geológicos e hidrogeológicos regionales, pero aún en estos trabajos de tesis los estudiantes tienen que aplicar las leyes hidrodinámicas y geoquímicas de las aguas subterráneas.-

En lo posible los temas de tesis son elegidos de tal manera que los estudiantes pueden extraer el máximo provecho de orden general, en forma práctica y teórica.-



-6-

PRINCIPALES TEMAS ESTUDIADOS POR EL SUSCRIPTO EN EL

B.R.G.M. -DE PARIS

Estudio global de las capas acuíferas

La consulta de documentos reunidos por el inventario de recursos hidráulicos permite elaborar la síntesis regional preliminar, donde el elemento esencial de expresión es la cartografía de las aguas subterráneas, a gran escala.-

Confección de las cartas con curvas isopiezas. Referencia de niveles piezométricos de los puntos de agua.-

El estudio de los puntos de agua incluidos por el inventario, permite llevarlos a una carta topográfica donde la escala en función de los datos existentes está adaptada al problema estudiado (1: 200.000; 1: 50.000; 1: 10.000); esta operación exige una nivelación precisa. Las mediciones de los niveles piezométricos deben ser ejecutadas sobre los trabajos de captación en las condiciones de equilibrio en un periodo determinado.-

Diseño de las curvas isopiezas

Si trazamos las líneas de igual nivel piezométrico, obtendremos una carta de curvas isopiezas de la superficie libre de la capa de agua.-

La equidistancia de las curvas está escogida en función del gradiente hidráulico, de la escala de la carta y de la densidad de los puntos de observación.-

Trazado de líneas de corriente y determinación de la dirección de escurrimiento.-

La dirección de la línea de corriente está representada por la línea de flujo que resulta de la dirección de mayor pendiente trazada sobre las curvas isopiezas, es decir la normal a estas últimas.-

-7-



Eje de escurrimiento

Se materializa por los filetes líquidos, es decir por las líneas de mayor pendiente trazadas sobre las curvas isopiezas y perpendiculares a ella.-

Espaciamiento de las curvas isopiezas

El espaciamiento de las curvas isopiezas varía en la dirección del escurrimiento, lo cual se deduce del examen de las cartas piezométricas. En consecuencia el valor de las variaciones del espaciamiento caracterizan el gradiente hidráulico, que es el factor más importante del escurrimiento de las aguas subterráneas.-

Reservas de aguas subterráneas

Las reservas de las aguas subterráneas resultan del volumen de agua acumulada durante un largo tiempo en el fondo de una cuenca hidrogeológica, en condiciones geológicas adecuadas. Estas se clasifican en:

- Reservas reguladoras
- Reservas geológicas
- Reservas naturales
- Reservas de explotación

Prueba de caudal de un pozo

El examen de caudal de un pozo por bombeo es en general orientado por la aplicación de leyes del régimen de equilibrio, basada en la hipótesis de Dupuit.-

El objeto fundamental del estudio de caudal, es estudiar el comportamiento de la capa de agua subterránea en las inmediaciones del pozo en función de los caudales y del abatimiento: caudal y velocidad crítica, flujo laminar o turbulento.-

Los ensayos de caudal con piezómetro permite determinar las características hidrogeológicas de los terrenos



-8-

acuíferos; coeficiente de permeabilidad, transmisibilidad y coeficiente de almacenamiento.-

Permeabilidad

La permeabilidad se define como el caudal de agua que pasa a través de una sección o área de terreno unidad bajo la carga producida por un gradiente hidráulico unitario, estando el agua a una temperatura fija.-

Transmisibilidad

El coeficiente de transmisibilidad se define como el caudal que se filtra a través de una faja vertical de terreno, de ancho unidad y de altura igual a la del manto permeable saturado, bajo un gradiente hidráulico unidad.-

La fórmula de Darcy

Darcy comprobó que con velocidades de descarga suficientemente reducidas, el caudal que atravesaba la muestra de terreno permeable era directamente proporcional a las diferencias de presiones. El gráfico abatimiento-logaritmo de las distancias permite determinar el coeficiente de permeabilidad de Darcy.-

Método de Theis

Uno de los progresos más notables en el estudio de la hidráulica subterránea fué realizado por C.U.Thesis quien basándose en analogías de transmisión de calor a través de medios homogéneos descubrió la fórmula, que explica el descenso del nivel piezométrico en un pozo de observación en función del tiempo.-

Influencia del hombre sobre los fenómenos hidrogeológicos. Evapotranspiración, fórmula de L.Turc.

El exceso de explotación del agua subterránea en las zonas fabriles origina el consiguiente descenso del nivel piezométrico y asimismo la modificación de la calidad



-9-

química y biológica de las aguas naturales por el uso industrial agrícola y doméstico.-

Si se desea ampliar cualquiera de los temas tratados u otros tópicos sobre Hidrogeología se recomienda leer la traducción del suscripto del libro METHODES D' ETUDES ET DE RECHERCHES DES NAPPES AQUIFERES del Ing^o Castany



-10-

PRINCIPALES TEMAS ESTUDIADOS DURANTE MI PERMANENCIA EN
BORDEAUX

- a) Usos de los aparatos para medir la granulometría y empleo del higrómetro en serie y mediante el agitador mecánico.-
- b) Estudio de la composición química de las aguas de Francia y Africa.-
- c) Uso del permeámetro a carga constante o a carga variable.-
- e) Estudio de la permeabilidad de la arena, arcilla y polvos.-
- f) Estudio de la permeabilidad de rocas, mediante el uso del permeámetro a aire.-
- g) Uso del Piezómetro en los pozos experimentales de Talence, después de un bombeo intensivo, trazado de gráficos de las curvas de ascenso y descenso, trabajos realizados bajo el control del Ing^o geólogo S. Cazal.-
- h) Sistema para determinar la porosidad de las arenas, según el sistema de probeta y agitador.-
- i) Estudio de la porosidad de las rocas y muestras en general con el empleo del prosímetro I.F.P. 50.-
- j) Aparatos para conocer el pH (ácidos) de las aguas subterráneas
- k) Equipos para realizar el análisis químico de las aguas subterráneas en campaña.-
- l) Recopilación de la mayor parte de los catálogos sobre el instrumental usado en el Centro de Hidrogeología-Geoquímica de Bordeaux.-
- m) Uso del colorímetro "Lumetron" para determinar la cantidad de materia orgánica en las aguas.-
- n) Fotómetro a llama para análisis de sodio, magnesio y calcio
- ñ) Uso del lisímetro
- o) Uso de sonda neutrones para registrar la humedad de los terrenos
- p) Empleo de recipientes (Bacs) para medir evaporación en superficie libre, recipientes circular enterrados; recipientes por encima del terreno natural "recipientes colorados" y recipientes flotantes.-
- q) Evaporímetro PICHE o a superficie porosa
- r) Uso de la balanza eléctrica de precisión Sauter-Toppam de fabricación alemana.-
- s) Tamices de normas francesas y tamizadores eléctricos.-
- t) Uso del calcímetro Bernard para dosaje rápido de calcio en



•ll•

en las muestras de agua.~

- u) Uso de la sonda automática A.G.2 (HWK) de fabricación austriaca para medir las variaciones de los niveles piezométricos desde 200 hasta 500 metros de profundidad.~
- v) Manejo del aparato Van SLYKE para medir la tensión del gas carbónico y otros gases.~
- w) Recopilación de la documentación necesaria para montaje de un laboratorio hidrogeológico.~


Atilio A.C. Battaglia