TOMO III. 15 de Enero de 1892 Núm. 12

ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

CONFERENCIA DADA EN EL INSTITUTO DE INGENIEROS

POR

MR. A. F. NOGUÉS (INGENIERO CIVIL DE MINAS)

Sobre la necesidad de los conocimientos prácticos de geolojía para los injenieros

Señor Presidente

Señores y apreciados colegas:

Antes de desarrollar el tema que tiene por objeto esta conferencia, me veo obligado á solicitar vuestra indulgencia, por la forma y estilo de mi discurso, y estoy seguro de que seréis indulgentes pues sabéis cuán difícil es hablar con elegancia y harmonía un idioma extranjero.

Señores: una conferencia á un auditorio tan ilustrado como éste, ante el cual tengo el honor de hablar; una conferencia a ingenieros instruídos y distinguidos, debe tener un carácter especial: ante todo debe ser técnica y abandonar las explicaciones elementales y accesorias y el método de escuela.

Desearía haceros una demostración neta, clara y sobre todo irrefutable de la utilidad, ó mejor dicho, de la necesidad de la geología para todos los ingenieros: constructores de túneles, canales, caminos de fierro, caminos ordinarios, puentes, etc.

Esta demostración la estableceremos no con razonamientos ó á priori, sino con argumentos deducidos de la práctica y de las observaciones, algunas de las cuales son de nuestra propia experiencia personal.

La geología ó conocimiento de la tierra forma parte de la ciencia del ingeniero: en efecto, ella es la que alumbra con sus rayos al minero que busca la hulla o el mineral metálico, es ella la que guiando la mano del sondeador indica al hidrólogo en qué condiciones se encuentran las aguas subterráneas, como se cargan de sustancias minerales y le enseña las leyes de su circulación. La geología indica al mineralogista los afloramientos de los filones y los yacimientos de minerales; al arquitecto las canteras de rocas para el tallado y ornamentación, le enseña el origen de los cimentos y de las cales hidráulicas: enseña al agricultor las capas de margas, calcáreas, cales grasas, fosfatos, etc.: enseña al fabricante de porcelana las vetas de caolín y pegmatita: en fin enseña al ingeniero que debe trazar un camino, establecer un ferrocarril, construir un canal, practicar un túnel: la naturaleza, la disposición y resistencia de las rocas que encontrará en el trabajo.

Pero, señores, esta enumeración de las utilidades de la geología no es más que una afirmación, necesario será, pues, que entremos en la demostración.

Mr. Nivoit al presentar á la Sociedad de Geología de Francia el segundo tomo de su «Geología para la escuela de puentes y calzadas,» citó algunos ejemplos que muestran los males que se ocasionan con un conocimiento imperfecto del suelo en que se ejecutan los trabajos.

«El túnel de Genevreuille cerca de LURE en la línea de París á Belfort, ha atravesado una masa de anhydritas inscrustadas en las margas irisadas y que hidratándose se hinchan y ejercen una presión sobre la mampostería de revestimento. De lo cual resultan movimientos inquietantes para la circulación de los

trenes, obstáculos que no han llegado á dominar aún, no obstante trabajos costosos. Estos inconvenientes habría sido fácil de evitarlos, elevando un poco el nivel del túnel.»

«El subterráneo de Braye en Laonnois que atraviesa arenas pantanosas superpuestas á la arcilla plástica ha presentado tales dificultades en su ejecución, que para concluirlo se ha decidido emplear aire comprimido. Á causa de las dislocaciones que los trabajos habían ocasionado en las capas de lignitas piritosas, estas han llegado á ser accesibles al aire comprimido cuyo exceso se escapaba por las extrados de la bóveda. La pirita se oxidó produciendo una temperatura suficientemente elevada para prender fuego á la lignita y el gas se esparció en las vías subterráneas y afixió á 17 obreros.»

Señores, la exactitud de los datos suministrados por la geología sobre la constitución subterránea del monte Cenis, San Gotardo, del canal de la Mancha, de Suez, etc., ha prevenido muchas incertidumbres y decepciones, evitando trabajos inútiles.

La Geología es la que ha señalado los depósitos hulleros del Paso de Calais y del Norte, sobre la creta; el terreno hullero de la misma región invertido, ha dicho á los industriales «Cavad aquí y debajo encontraréis hulla» y la hulla fué encontrada: la geología nos enseña también que bajo los terrenos triásicos y jurásicos que cubren los depósitos hulleros actuales, se encuentran las fuentes de hulla para el porvenir. Hemos demostrado por pruebas geológicas la existencia de estos depósitos y algún tiempo después los sondeajes han venido á poner fuera de duda su existencia.

Pasemos ahora á los detalles.

Túnel de la Mancha-Proyecto de un ferrocarril sub-marino

La geología ha desempeñado su principal papel en los estudios preparatorios del proyecto de un camino de hierro sub ma-

rino entre Francia é Inglaterra. Archiac atribuye la abertura del estrecho de Calais al período cuaternario. Se puede considerar como perfectamente bien fundada la teoría de Archiac de que durante una parte del periodo cuaternario las islas británicas permanecieron unidas al continente europeo.

La primera idea del túnel anglo-francés se debe á un ingeniero francés Mr. Thomé de Gamond (1838 á 1865) que dedicó á este problema durante treinta años su tiempo y su fortuna.

Mr. Thomé de Gamond dedujo de sus investigaciones hidrográficas y geológicas, que se podía practicar un túnel en las capas superiores de la oolítica y que vienen inmediatamente más abajo del terreno cretáceo, manteniéndose á una profundidad que varía entre 75 y 25 metros del fondo del mar.

Investigaciones posteriores y estudios geológicos más detallados han hecho adoptar la creta en lugar de la oolítica para la perforación sub-marina.

La cámara de los comunes de Inglaterra aprobó en 19 de Julio de 1875, un bill relativo al túnel bajo la Mancha. En Francia según relación de Mr. Krantz, los poderes públicos han suministrado los medios de estudios y la ejecución de los trabajos preliminares. En un principio nadie se preocupó más que de las posibilidades técnicas de la ejecución de esta inmensa obra sub-marina y entonces se pensó más en hacer resaltar la grandeza de la obra y la importancia de su resultado, que en las dificultades de su ejecución. Mas, llegó un momento en que era necesario abordar de frente lo que el problema presentaba de peligroso y lo aventurado de la empresa para los que creen en la posibilidad de la obra, entre los cuales nos encontramos, no era posible disimular los inconvenientes y peligros: los temores eran inspirados por algunas causas de consideración como ser la indeterminación de algunos datos geológicos en un terreno que en ciertos lugares puede ser agrietado ó permeable. Mr

Gosselet y Mr. Ebray emitieron algunas dudas sobre la regularidad de las capas de creta que hay que atravesar.

«El examen de las trochas de los caminos de fierro que terminan en este brazo de mar, dice Mr. Ebray, permite constatar que las capas geológicas sufren inflexiones irregulares que impiden concluir con exactitud que el túnel se mantendrá siempre en las capas de creta.»

Mr. de Lapparent y Mr. Potier son de opinión contraria; pero no obstante la competencia de estos dos últimos geólogos: ¿Quién puede afirmar la continuidad sin interrupción de la creta bajo la Mancha? y que ningún accidente del suelo permitirá la entrada del agua en el túnel? Es verdad que los estudios preparatorios han demostrado, que entre Douvres y Calais en la Mancha, el fondo del mar está constituído por la creta gris, que forma una capa continua que aflora en Inglaterra y en Francia desde Wissant hasta Calais, bajo un espesor de muchos centenares de metros, cuyo punto culminante en la ribera francesa es el cabo Blancnez.

Tales estudios son la gloria de la geología aplicada á los grandes trabajos y en ellas debe fundarse el arte del ingeniero para establecer el proyecto del túnel sub-marino.

Sir John Hawkshaw fué verdaderamente sorprendido por el proyecto de Mr. Thomé de Gamond y desde 1865 numerosos sondajes le han permitido reconocer en la Mancha una banda de creta. Y desde el primer momento aceptó esta línea cretosa como la dirección de su proyecto: por otra parte reconoció, por medio de la sonda, la composición geológica del sub-suelo en las riberas del mar á una profundidad de 160 metros. Estos primeros trabajos de exploración costaron cerca de 80,000 francos.

Desde 1868 los señores Hawkshaw, Brassey y Mauby asociados reclamaron el concurso del Gobierno Francés, pero las negociaciones no tuvieron buen éxito y la galería de ensayo de dos metros no se practicó.

Sir John Hawkshaw tuvo la idea de aplicar á la travesía de la Mancha procedimientos análogos á los empleados para atravesar una montaña por vía de perforación: en su proyecto el túnel partiría de la costa francesa á casi igual distancia (4 kilómetros y medio) de Calais y Sangatte y se dirigiría de aquí en línea recta hácia Sante Margaret que está á 6 kilómetros más ó menos al norte de Douvres, en la costa inglesa. El perfil se compondría bajo el mar de una línea quebrada y convexa hácia la parte alta. Las aguas de infiltración correrían á dos pozos situados en las dos riberas, donde se colocarían máquinas de desagüe. Dos subterráneos con pendientes diferentes enlazarían el túnel con las líneas de fierro francesas é inglesas: de modo que todo el túnel tendría una longitud de 49 kilómetros, descompuestos como sigue, partiendo de Inglaterra:

11½	kilómetros	en	desnivel	descendente de 12m.50 por	kilómetros
13	»	en	»	ascendente de 0m.37 por	»
14	»	en	»	descendente de 0m.37 por	»
10½	»	en	»	ascendente de 12m.50 por	»
49	»				

En este proyecto el túnel sería practicado en la creta gris que viene inmediatamente más abajo de la creta blanca. El banco de creta tiene en la costa de Inglaterra un espesor de cerca de 140 metros y en la de Francia de 230 metros.

Sir John Hawkshaw estima en 20 millones de francos el costo de perforación de la galería de 2.10 metros de diámetro, entre las dos riberas del estrecho; en fin se ha calculado que toda la obra podría construirse por una suma de 220 millones de francos.

En 1872 volvió á considerarse en Francia la cuestión del túnel sub-marino: se formó un comité bajo la dirección de los señores Michel Chevalier y C.ª; Thomé de Gamond, se aceptó el sistema de Hawkshaw; desde entonces la cuestión del túnel sub-

marino tomó un nuevo aspecto. En efecto, el primero de febrero de 1875, una sociedad de estudios *(asociación francesa del camino de fierro sub-marino)* se formó para estudiar la cuestión de la posibilidad de practicar un túnel bajo el estrecho del Paso de Calais.

Este mismo año la sociedad encargó á los señores Pottier, de Lapparent y Larousse para ejecutar estudios geológicos definitivos sobre el fondo del estrecho. Desde el 10 de Agosto hasta el 25 de Septiembre los exploradores practicaron 1,523 sondajes y recogieron 753 muestras de rocas sub marinas; en 1876 desde el 20 de Junio hasta el 15 de Septiembre dieron 6,149 golpes de sonda que proporcionaron 2,500 muestras. En 7,672 sondajes comprendidos en un cuadrilátero de más de 300 kilómetros cuadrados se puede fundarse para establecer con exactitud la naturaleza del fondo del mar. En el mismo tiempo se ejecutaban en la costa francesa en una línea de 3,500 metros, 5 sondajes, de los cuales el más profundo alcanzó á 91 y 53 metros más abajo del cero hidrográfico.

Por otra parte relacionando todos los resultados obtenidos por los diferentes sondajes efectuados sobre la costa inglesa, se pudo ejecutar los planos y perfiles geológicos y determinar la traza probable del túnel.

Los sondajes sobre la costa y en el mar han demostrado que las capas, en el estrecho del Paso de Calais, tienen una disposición uniforme que se reproduce idénticamente sobre cada una de las riberas y en el mar. Las capas descienden hácia el N. E. con una inclinación casi regular de $\frac{1}{100}$. Entre la creta blanca superior y la arcilla gris del Gault, se extiende de una ribera á otra una poderosa capa de creta gris de un espesor medio de 50 metros más ó menos. Esta capa situada más ó menos á 90 metros de profundidad de la más baja marea se extiende regularmente de una ribera á otra, es muy homogénea y es casi impermeable por el agua.

Se temía que esta capa de creta gris hubiese sido sometida en la vecindad de la costa francesa, á accidentes que habrían modificado gravemente su posición normal. La galería de ensaye, que parte del Pozo de Sangatte, ha demostrado que no existe en esta región nada que pueda impedir establecer en la creta gris un trazado conveniente para el túnel sub-marino. El túnel podría pues contornear la curvadura de Quiénos sin encontrar ni dislocaciones ni fallas ó accidentes geológicos de tal naturaleza que impidan su ejecución.

Hé aquí, señores, que la demostración de que es posible construir un túnel sub-marino entre la costa inglesa y la francesa en el Paso de Calais, hoy día ha sido dada por la geología.

Actualmente se estudia la oreografía y la geología del fondo del canal para establecer un puente áreo entre Francia é Inglaterra.

Perforación del Monte Cenis y San Gotardo.

Los grandes trabajos de perforación de las montañas nos suministran también numerosos argumentos positivos en favor de la tesis que sostenemos.

Cuando se concibió el proyecto de perforar el Monte Cenis entre Modane y Bardonèche; Collegno y Elie de Beaumont emitieron algunas dudas sobre la posibilidad de construir un túnel en el macizo de Frejus.

Elie de Baumont y Collegno temían las masas de agua y sus filtraciones; además nuestro ilustre maestro Elie de Baumont manifestaba el temor de encontrar: serpentinas, eufotidas y un núcleo central de gneis felsdpático muy duro.

La cámara de agricultura y de comercio de Savoya, comprendiendo bien la importancia de este gran trabajo, encargó á Mr. Gabriel de Mortillet estudiar la naturaleza geológica de los te-

rrenos existentes entre Modane y Bardonèche, es decir los terrenos que debía atravesar el túnel y cuya extensión es de 12,233.55 metros. Mr. de Mortillet presentó su memoria el 12 de Diciembre de 1856: todas las previsiones de este geólogo se realizaron. Anunciaba que partiendo de Modane en dirección de Bardonèche se atravesaría:

1.° Poderosas capas de areniscas gris de tal modo talcosas y micáceas que se les tomaría por esquitas ó gneis talcoso, dotadas de un brillo graso y lustroso.

2.° Cuarcitas blancas muy duras, de grano muy fino en su fractura, cuyo espesor máximo era 300 metros; cuarcitas muy divididas en capas delgadas y algunas veces en numerosos fragmentos en la superficie de afloramiento, pero muy modificadas y muy compactas en el interior del suelo.

3.° Yeso blanco casi siempre mezclado con partes arcillosas y con frecuencia acompañado de cargneules amarillentas ó gris, una parte es sólida y celulosa que le da el aspecto de tofo. En el interior de la tierra los yesos vienen á ser anhidros, de un aspecto sacaroideo, las cargneules de dolomitas, rocas compactas y resistentes, pero por lo mismo muy fácil de perforar.

4.° Calcárea dura, sólida, cristalizada de un espesor considerable.

5.° Por último esquitas calcáreas y arcillosas de un enorme espesor.

Esta sucesión de rocas, indicadas por Mr. de Mortillet, es exactamente la que se ha encontrado en el interior del túnel, con las modificaciones señaladas y en las proporciones indicadas por los geólogos que hicieron el estudio.

Hé aquí, señores, la tabla exacta de cada una de las rocas encontradas en la perforación.

1.° Asperón talcoso.....	2096.50	metros.
2.° Cuarcitas.....	388.50	»

3.° y 4.° Anhydrita, dolomita, calcárea.	355.60	»
5.° Esquitas calcáreas.....	9,392.95	»
Total.....	12,233.55	metros.

Pero si la galería ha sido cavada en 388 metros en las cuarcitas se debe como se había previsto á que atraviesa la capa no perpendicularmente á su plano de dirección y de inclinación, sinó según una línea muy oblicua á la dirección y muy separada de su inclinación.

Las capas del lado de Savoya tienen una dirección muy oblicua en relación á la del túnel, también aparecen en la superficie las cuarcitas y el yeso sobre la villa de Modane muy cerca de la boca del túnel; mientras que en el túnel mismo fué necesario recorrer dos kilómetros para llegar al comienzo de las cuarcitas.

La inclinación de las capas del lado de la Savoya es también bastante grande, se internan en el macizo de la montaña, elevándose del lado de Fourneau, aldea que se encuentra más abajo que Modane. Esta inclinación varía siguiendo el túnel de modo que en la última parte del lado de Bardonèche, las capas de esquitas calcáreas vienen á ser horizontales. Estas disposiciones estratigráficas han hecho modificar la forma del túnel: del lado de Modane la bóveda es circular, del lado de Bardonèche por el contrario, para resistir más fácilmente la presión ejercida por las capas próximas á la horizontal, es elíptica.

Aún, aquí se ve señores, la importancia de los conocimientos de geología, en una de las más grandes obras de este siglo; gracias á ellos se pudo en 1855, antes de comenzar los trabajos, precisar de un modo exacto la naturaleza, el espesor y las condiciones de las rocas que debía atravesar el túnel de Frejus, en el Monte Cenis, sobre una extención de más de 12 kilómetros y á una profundidad que en algunas partes llegó hasta 1600 metros.

La perforación del Monte Cenis es uno de los hechos más

notables para el arte del ingeniero y de la geología, alcanzado en los grandes trabajos modernos.

San Gothard.—Señores, la magnitud de la distancia recorrida por el camino de fierro de San Gotardo, muestra las dificultades que la empresa ha tenido que vencer para perforar un túnel de 14.984 metros á una altura de más de 1,100 metros, atravesando las rocas antiguas y cristalizadas más duras.

El San Gotardo está formado de gneis, granito, esquitas talcosas en estratificaciones en forma de abanico, es notable por la variedad de sus minerales cristalizados en que se encuentran: granates, distenas, estaurotidas, etc. En dirección de Lucerna á Lugano se encuentra la Mollasse levantada, la calcárea nummulítica, la negelfluh roja superior puesta á la calcárea secundaria, erupciones de roca feldspáticas, hacia la cumbre se encuentra: dolomitas, yesos, el lías con belemnitas, pórfidos rojos y piroxénicos, granitos y pórfidos cuarcíferos.

El camino de hierro de San Gotardo comienza en Lucerna en la extremidad del lago de los cuatro cantones, de aquí la línea se dirige hacia el lago Zoug del cual costea la ribera hasta Arth-Goldan: en Brunnen el camino de hierro recorre otra vez el lago de los cuatro cantones hasta Fluelen; á partir de aquí la línea se interna en el valle de Reuss que remonta hacia Amsteg (puente de Kertelenbach) llega á Wasen, á Gœschenen, última estación del lado norte. Es en esta última estación donde comienza el gran túnel de cerca de 15 kilómetros y cuya perforación exigió nueve años de trabajo en roca dura. El túnel desenboca sobre la vertiente sur en la estación de Airola á una áltura de 1,145 metros sobre el nivel de mar, á partir de este punto la línea desciende al valle de la Levantina y viene á concluir en Bellinzone, Lugano, etc. Hacia el sur el camino de hierro, después de haber atravesado los Alpes, termina por una parte en Chiasso, cerca de Como y por otra parte en Luino sobre el lago mayor, con una bifurcación sobre Lecarno.

El monte San Gotardo tiene su punto culminante á 3,265 metros de altura, este gran macizo está colocado entre los cantones de Tessin, Grisons, Valais y Uri, encierra 17 valles, 8 ventisqueros y una cantidad de pequeños lagos: está cubierto de nieves perpetuas.

Le Reuss, el Tessin, el Rhin y el Ródano tienen en él su origen. Un paso á una altura de 2,322 metros, era, antes de la abertura del camino de hierro, la principal vía de comunicación entre la Suiza y la Italia y conducía de Hopital sobre el Reuss á Airolo sobre el Tessin.

La entrada norte del túnel de San Gotardo está á una altura de 1,109 metros, la entrada sur á 1,144 metros, el punto culminante se encuentra á 1,154 metros, y el más elevado sobre el nivel de mar es el Kastelhongrat con el ventisquero Sainte-Anne á 2,940 metros: la capa más espesa de terreno sobre el túnel es pues de 1,780 metros; el ancho es de 8 metros, la altura de 6 y el camino de fierro es de doble vía: la temperatura en la roca es de 21 grado centígrado, la del aire varía entre 18 y 23 grados centígrados.

Los geólogos suizos han estudiado minuciosamente la constitución de su país, el resultado de sus estudios ha sido traducido graficamente por la admirable *Carta geológica de la Suiza* de $\frac{1}{100000}$. Notable trabajo bajo todos aspectos.

Es realmente la expresión exacta de la constitución geológica de su país.

Con semejante elemento de estudio los ingenieros que han hecho el proyecto del túnel de San Gotardo, han podido fácilmente determinar la naturaleza, espesor y modificaciones de las rocas que había que atravesar.

Podríamos citar numerosos ejemplos aún en que el conocimiento de la constitución interna del suelo ha sido muy útil en la construcción de túneles y ha evitado muchos engaños.

Mas para no alargar demasiado esta conferencia pasamos á otro orden de hechos.

Abertura de los canales.

Señores: el proyecto de excavación de largos canales ha sido precedido de estudios geológicos sobre la constitución del suelo y sub-suelo que era necesario cavar. Estos estudios preliminares han sido ejecutados tanto en el canal de Suez como en el de Panamá y cuando se ha creído que no eran indispensables, los desengaños no han tardado. Entre estos grandes trabajos recientes, el canal del istmo de Corintio nos servirá de ejemplo para el sostenimiento de nuestra tesis. En él no se tuvo en cuenta suficientemente los datos que la geología podía proporcionar y las preciosas indicaciones que habría dado á los constructores del canal.

Los geólogos saben que el istmo de Corintio, cuya excavación ha sido intentada recientemente, después de una primera tentativa bajo Nerón, el suelo del istmo se compone de arenas cuaternarias y de calcáreas marnosas pliocenas superpuestas á una capa de marna azul. Los constructores no suponían, cuando comenzaron los trabajos, la existencia de esta marna, porque forma un lomo que en los dos lados desaparece bajo y los pozos practicados por los romanos se detenían siempre en la calcárea. Como esta marna se desagrega con facilidad en el agua agitada, tanto más cuanto que las capas terciarias son cortadas por pequeñas fallas, resultado de dislocaciones locales, lo que ha aumentado las dificultades y gastos del trabajo. Todo lo cual se habría evitado con serios estudios geológicos anteriores. Ved entre tanto, señores, los gastos extraordinarios y trabajos suplementarios exigidos para reparar la falta de no haber recurrido á la geología.

En 1881 el general Türr obtuvo la concesión del canal de Corintio y la inauguración oficial se efectuó el 4 de Mayo de 1882. La extensión del istmo en la parte más estrecha es de 6 k. 345; el canal tiene un ancho de 22 metros y está 8.5 metros más bajo que las aguas más profundas: los talus tienen una inclinación de $\frac{1}{10}$, pero en ciertas partes son suavisados por la naturaleza misma del terreno; en el maciso central generalmente la inclinación de $\frac{1}{10}$ es suficiente, hay talus de 60 metros de altura que tienen esta inclinación. El terreno en que se han hecho las excavaciones del canal fuera de los aluviones, terrenos superficiales, es formado de rocas calcáreas atravesadas por numerosas quebraduras ó pequeñas fallas, principalmente del lado del golfo de Egine. Sobre las dos vertientes del istmo y especialmente en la de Corintio, en que las capas fosilíferas, de conglomerados alternan con marnas de variados colores: rosado, amarillento, verdoso, blanquizco, gris y marna erenosa azul que ocupa la parte inferior.

Estas marnas y arenas no pueden dejar de presentar serios inconvenientes al constructor del canal, su movilidad, su deslizamiento, sus caidas necesitarán trabajos difíciles y costosos sobre el resto de la obra. Una primera parte del canal ha sido ejecutada en una zanja de 35 metros de ancho: la cubicación total del desmonte ha sido calculada primitivamente en 8.000,000 de metros cúbicos, pero según nuevos cálculos hay que agregar 1.950 000 metros cúbicos.

Hé aquí la parte grave en la ejecución del canal de Corintio. Los proyectos primitivos han debido ser modificados á medida que los trabajos han hecho reconocer que los terrenos han sido fuente de fenómenos muy complejos de solevantamientos y hundimientos del suelo, de modo que las cajas superiores de un espesor de 50 metros de altura han sido quebradas, rasgadas y cortadas. Así la inclinación de los talus ha debido ser cambiando y no se les puede construir de $\frac{1}{10}$: lo que obliga alargar las

zanjas y á disponer los talus en zonas muy extensas, de aquí un aumento en el cubo de los desmontes: además los trabajos son cortados por un banco de marna arenoso en una extensión de más de tres kilómetros, en la parte más profunda de la excavación, de aquí la necesidad de revestir las paredes del canal de argamasa ó de mampostería cuyo volumen ha sido avaluado más ó menos en 110,000 metros cúbicos.

En presencia de estas dificultades y de este aumento de trabajo que con un estudio geológico se habria podido evitar: la comisión encargada de examinar los trabajos del canal del istmo de Corintio, solicitó una prolongación del plazo estipulado para la conclusión del trabajo y un decreto real del 26 de Abril de 1887 concedió la prolongación hasta el 30 de Diciembre de 1891.

Teoría de la extensión de los terrenos hulleros

Señores: uno de los resultados más notables de la ciencia de la tierra es sin contradicción, el descubrimiento de los terrenos hulleros tapados y trastornados. La doctrina de la extensión de los terrenos hulleros ha dado tales resultados prácticos que hoy día se puede gracias á su ayuda, indicar la posición de los terrenos hulleros aún cuando en el lugar no aparezca ningún indicio en la superficie. En Francia los yacimientos hulleros están separados unos de otros por extensas montañas, por accidentes orográficos, por valles y por terrenos de diversas épocas, probablemente resto de una gran hoya que ha sido fracturada,, dividida, trastornada por movimientos del suelo. En Inglaterra, el terreno hullero ocupa una superficie que es la $\frac{1}{20}$ de la superficie total del país. La presencia de una capa marina (calcárea carbonífera) en la base de las capas de hulla de las Islas Británicas ha hecho admitir la doctrina pelásjica de la formación de los terre-

nos hulleros. Pero en Francia la *teoría de las hoyas asiladas* ha prevalecido impuesta por la gran autoridad de Mr. Elie de Beaumont, pero todos los geólogos no admiten las conclusiones absolutas de la Escuela de minas de París de entonces y de Freiberg; la teoría Werneriana que se aparta enteramente de la doctrina inglesa es admitida del mismo modo por Elie de Beaumont en la explicación de la carta geológica de Francia.

Una de dos: si los terrenos hulleros han sido formados en las hoyas aisladas y cerradas, las esperanzas para el porvenir son infundadas, pues sus límites son poco más ó menos conocidos y determinados.

Si por el contrario, representan las partes de una gran hoya que ha sido quebrada, fracturada y trastornada se pueden encontrar las partes subterráneas inexploradas que establecerán la solución de continuidad y por consiguiente descubrir reservas importantes para el porvenir.

La geología ha tenido un papel de primera importancia en las investigaciones de la hulla y de los carbones fósiles, como lo hemos demostrado en nuestra memoria «*sobre la extensión de los terrenos hulleros* titulados *reservados para el porvenir* (Réserves del'avenir.)

Se sabe que el terreno carbonífero ha sucedido cronológicamente al devoniano, pero entre el carbonífero y el devoniano ha sucedido un fenómeno dinámico que ha dislocado el suelo: en fin acciones dinámicas intensas se han producido en las capas de sedimento anteriores á los terrenos triásicos y jurásicos que han invertido en ciertos lugares los terrenos devoniano y carbonífero y han hecho que las capas del terreno devoniano y carbonífero cubran las capas del terreno hullero.

La gran banda hullera que tiene su principio en Westfalia pasa en Aix-la-Chapelle, y se dirije por Lieja, Huy, Namur, Charleroy, Mons sobre Valenciennes, entra á la vez en Francia por Condé, Fresnes, Saint Saulve, se dirije hacia Anzin, Baismes,

Vicoigne, Somain, Douai; después toma su curso subterráneo por Lens, Bully, Grenay, Neux, Marles, Bethune y Lillers donde se pierde su traza, vuelve á aparecer en Marquise, Rety, Hardinghem, en los confines del Paso de Calais, debe atravesar la Mancha y unirse con la napa de Inglaterra.

Mr. Gosselet reconoció en la hoya hullera del Norte y del Paso de Calais tres pisos: 1.º la base de calcárea carbonífera, 2.º piso hullero y 3.º piso permeano. En la base del segundo piso las esquitas azules formaban la zona de los *productus carbonarius, millstone grit de los ingleses.*

Los sondajes practicados en los departamentos del Norte y del paso de Calais pueden dividirse en tres grupos: 1.º Los que después de haber atravesado los terrenos muertos han penetrado directamente en los terrenos hulleros explotables. 2.º Los que han encontrado debajo de los terrenos muertos, las esquitas, gres azules, compactas, calcáreas, comprendidas en el piso hullero inferior, zona de *productus carbonarius*, sin hulla. 3.º En fin las que han dado, desde un principio con las gres verdes ó rojas gedinianas (devoniana inferior) y que continuando más allá de este terreno han encontrado las esquitas y gredas azulejas del terreno hullero inferior.

Los sondajes han probado que el terreno hullero de esta región estaba invertido. Fue después del descubrimiento de la inversión del terreno calcáreo carbonífero sobre el terreno hullero en Cauchy la-tour, en Courcelles la-lens y de la superposición devoniana en Aachy-au-Bois cuando se pensó que los fenómenos constatados en algunas minas debían encontrarse en todo el borde meridional de la hoya. Esta hipótesis de la inversión del terreno hullero ha sido puesta fuera de duda por numeros sondajes. Tal descubrimiento ha extendido mucho los límites del terreno hullero explotable. Después de estas notables investigaciones de la geología en el terreno hullero del Paso de Calais y los descubrimientos que han sido su consecuencia, no

se ha titubeado en traspasar del terreno carbonífero al devoniano para llegar á la hulla del terreno hullero.

Los posos de Lievin han llegado á la región del sur bajo el terreno antiguo descubierto por los sondajes: la compañía de Drocourt ha practicado algunos posos á través de estos terrenos y ha desarrollado más abajo una importante explotación de hulla.

Esta explotación es la prueba más contundente de la importancia de la geología en las investigaciones de materias minerales. Los explotadores han tenido que atravesar un terreno invertido de un espesor considerable más abajo de los terrenos muertos, para llegar á la hulla: la geología les había indicado la suseción siguiente, de arriba á bajo, en sentido contrario á la posición normal. 1.º terrenos gedinianos (devoniano) 2.º terreno hullero inferior. 3.º hullero superior explotable que ocupa la parte más profunda.

La geología no ha engañado las esperanzas de los explotadores de Drocourt: en 1884 se extrajo 15,478 toneladas de hulla, en 1885, 58.664 toneladas, en 1887, 160.314 toneladas, en 1888, 200,189 toneladas.

Reunir algunas consideraciones sobre los fenómenos dinámicos que se han efectuado en la hoya del norte, no está aquí fuera de lugar. Dando una mirada á toda la región hullera franco-belga, vemos que existe en cada lado de los dos países, dos hoyas distintas: 1.ª la setentrional, llamada Namur en Bélgica y de Valenciennes en Francia. 2.º la meridional, llamada Dinant en Bélgica y de Aulnoye Doullens en Francia. La hoya setentrional es la única explotada. En Bélgica la de Namur está separada de la de Dinant por la cresta siluriana de Condroz y las dos han sido dislocadas fuertemente por un empuje meridional, que Mr. Gosselet llama «*la arruga de Hainaut.*» En la época devoniana los dos lados de la cresta siluriana eran diferentes en el Norte; de la hoya de Namur no se encuentra más que devo-

niana media y superior, mientras que en el sur hay devoniana inferior (gediniana.)

Los fenómenos que se han efectuado en la hoya belga han debido obrar igualmente en la de Valenciennes: se puede, pues, con fundamento suponer que esta última no encierra rocas gedinianas y las que han descubierto los sondajes pertenecen á la hoya de Aulnoye y están en su lugar natural. La presencia, más abajo de la devoniana inferior, de la calcárea carbonífera y de terreno hullero, de estas rocas se explica muy bien y se admite que en un principio estas capas carboníferas han sido invertidas y forman parte de la hoya Valenciennes y en seguida que una gran falla separó las dos hoyas (gran falla del medio día, falla Eifeliania.)

El terreno gediniano colocado en el sur, resbalándose sobre la hoya del norte, según la gran falla del medio día ha empujado las rocas de esta hoya (devoniana media y superior, calcárea carbonífera y hullera inferior) y han formado ellas mismas con la hullera superior un plano de resbalamiento según lo que Mr. Gosselet llama «*la falla límite.*» durante este resbalamiento la calcárea carbonífera i la hullera inferior han sido arrancadas en fragmentos y arrastradas una gran distancia; esta es la razón porque estos dos terrenos pueden estar muy irregularmente distribuídos á lo largo de la falla límite, como también porque se encontrará en esta falla ya el terreno hullero inferior ya la calcárea carbonífera.

La luz dada por la geología en la solución de las cuestiones reveladas por las dislocaciones del terreno hullero del Norte y del Paso de Calais, han conquistado para la industria hullera una vasta superficie de explotación, que ya ha producido una cantidad muy importante de toneladas de carbón.

Señores: he tenido ocasión de estudiar por mí mismo en 1875 el terreno hullero del Norte y de la Bélgica y de hacer ejecutar sondajes en el Paso de Calais, en la banda más meridional

de la hoya, por consiguiente he verificado los resultados que acabo de exponer.

En los países industriales de Europa, la cuestión del combustible preocupa á los hombres de estado, economistas, fabricantes, sabios, ingenieros, etc. ¿Cuáles son los recursos del porvenir? ¿Cuánto tiempo aún tendremos hulla?

Esta cuestión me ha preocupado mucho y es conexo en la cuestión de la extensión de los terrenos hulleros. He sostenido la doctrina de la extensión de los terrenos hulleros y la he desarrollado en el JOURNAL DE MINES, LE CHARBOUS y en mis lecciones.

Los estudios sobre el terreno hullero exijen una larga práctica de observación sobre el terreno, una experiencia adquirída por el estudio de las hoyas explotadas, pues una vez admitida y demostrada la teoría de la extensión del terreno hullero los resultados son ciertos é inmediatos.

Voy á citaros algunos ejemplos que llamarán vuestra atención por su precisión y os demostrarán una vez más lo que enseña la ciencia geológica bien entendida en interés de la industria minera.

Los sondajes y trabajos de investigación ejecutados en las hoyas de Ronchamps, de Saone-et-Loire, de Gard, etc., han encontrado bajo el trías terrenos hulleros. Fundada en mis indicaciones, una empresa, se atrevió hace algunos años á traspasar el terreno jurásico, en el Aveyron, para llegar al terreno hullero más abajo del trias y del permeano: la experiencia confirmó la teoría. Recientemente en Tarn han recibido una brillante confirmación nuestras opiniones sobre la *extensión de los terrenos hulleros*. Se sabe que la pequeña hoya hullera de Carmeaux tiene una dirección N. S. y que está cubierta al norte y al sur por el terreno terciario; el valle de Cerón la pone al descubierto en una pequeña superficie encerrada de E. á O. entre dos avanzadas de gneiss.

La *Sociedad Minera de Tarn* ha ejecutado sondajes en Albi al sur de Carmeaux sobre la prolongación de la hoya hullera y en pleno terreno terciario. Hé aquí las capas atravesadas por este sondaje: 1.º terreno terciario (gran campo) marna calcárea, arenas, pudingas á 150 metros; 2.º permeano, gres; 3.º esquitas hulleras con impresiones de vejetales á 155 y 160 metros; 4.º gres hulleras á 164, 177 y 241 metros; 5.º pórfidos y gres porfídicas á 241 metros; 6.º capas de hulla explotable á 184, 226, 266 y 282 metros.

Hé aquí una sociedad que descansando con confianza en los dominios de la ciencia, ha emprendido investigaciones de hulla fuera de todo terreno hullero y el éxito ha coronado su osadía, pues la hulla fué encontrada á 184 metros.

Señores, la geología no interviene solamente en los grandes trabajos de utilidad pública de que he hablado al principio de esta conferencia, ni en las investigaciones de hulla en los terrenos removidos ó cubiertos por las tierras muertas, sino también su concurso es sobre todo indispensable en las investigaciones de materiales de construcción, de cales hidráulicas y de cimentos. A este respecto voy á citar un hecho de mi experiencia personal; en la construcción del camino de fierro de Bourg á Nantua en un valle muy accidentado en que la vía exijía numerosos trabajos de albañilería, la compañía de Dombes me encargó investigar en la extensión de la conceción ó en su vecindad, calcáreas propias para fabricar cales hidráulicas. Después de un mes de estudio remití á la compañía de Dombes una memoria «*Note sur les calcaires hydrauliques du département del Ain*» sobre los yacimientos de cales grasas, cales magras y cales hidráulicas con los análisis de numerosas muestras que había estudiado.

Los yacimientos de cales hidráulicas se encuentran en Ain en el piso oxfordiano, las calcáreas para cales magras son generalmente producidas por los yacimientos de corallian, del Kimme-

ridgiano y Portlandiano, pero el oxfordiano no tiene la especialidad exclusiva de suministrar calcáreas hidráulicas, que pueden encontrarse en cualquier otro piso de la serie geológica.

Señores, no obstante mi repugnancia de hablar de mis trabajos personales, permitidme citar aún un hecho de mi observación propia, que os demostrará cómo la geología puede esclarecer á menudo cuestiones de explotación y permite realizar economías ó á lo menos impide los gastos estériles é improductivos.

Hace algunos años que se descubrió el oro en la Sierra de Peñaflor (entre Córdoba y Sevilla en Andalucía) compuesta de abajo arriba: 1.º ante-siluriano ó arqueano en gneiss y micasquitas; 2.º siluriano inferior, esquitas más ó menos micáceas; 3.º siluriana media, cuarcita más ó menos alteradas, esquitas más ó menos arcillosas y lustrosas, calcáreas magnesianas, ferruginosas y calcáreas cristalinas; 4.º en fin es revestimiento terciario que tiene de altura cerca de 300 metros.

Las capas primarias están fuertemente inclinadas y algunas veces levantadas hasta las verticales, removidas y abiertas en forma de abanico como las calcáreas del cerro Santos. En la base de la sierra aparece una serie casi continua de erupciones piroxénicas anfibólicas, sistema de rocas piroxénicas que tienen mucha analogía con las ófites de los Pirineos (ophites lherzolites) y con esta gran eyaculación serpentinosa que hemos seguido desde mucho tiempo casi sobre todo el circuíto de la hoya del Mediterráneo. Las rocas que forman esta erupción piroxeno-anfibólica son: dioritas, anfibolitas, ofitas, diabases, etc., y por último filones de fierro y masas rellenas de cobre, níquel, etc., cortan estas rocas y rellenan las fallas de dislocación. El oro nativo ha sido encontrado en las masas de rellenamiento formadas de lineíta y níkelina, de disomosa y superficialmente de arseniato de níkel, pero el oro ha sido también encontrado en las tierras rojas ferruginosas que forman el suelo cultivable.

En estas tierras arcillo-ferruginosas el oro se encuentra diseminado ya en estado nativo ya en combinaciones.

Cuando se descubrió el oro en la Sierra de Peñaflor, que hizo gran sensación en el país, la gente ávida de oro se apresuró á dividirse el terreno, pero bien pronto se encontraron muy embarazados porque no sabían cuáles eran las condiciones y orijen de este oro; al principio creían que el metal precioso se encontraba en la masa de relleno formada por cobre y níkel. En esta fecha fuí llamado á hacer un estudio del terreno aurífero y encontré que el oro había sido producido por la erupción de rocas piroxénicas-anfibólicas, que las tierras rojas alumino-ferruginosas eran el resultado de la descomposición secular de las rocas piroxénicas-anfibólicas y de los afloramientos de los filones metálicos y que estas tierras eran el verdadero mineral que debía explotarse.

De aquí hemos podido establecer, después de numerosas observaciones: 1.º que donde la roca piroxénica anfibólica aparece el terreno se colorea de rojo y contiene oro nativo y en combinaciones; 2.º que en toda parte en que la calcárea cristalina viene á estar en contacto con la diorita ó anfibolita, las mismas tierras rojas contienen oro; 3.º que en fin las tierras de lugares bajos formadas por la destrucción ó transformación de elementos auríferos de la sierra contienen oro.

El oro nativo ó combinado proviene de las rocas de erupción que han arrastrado el metal precioso á la superficie, donde ha llegado bajo diversas combinaciones y en seguida destruído por acciones posteriores.

Señores, hé aquí la conclusión de esta conferencia: he querido hacer una demostración completa, ¿he probado la necesidad de la geología para el ingeniero?

Más, pidiendo la intervención de la ciencia de la tierra en los diferentes trabajos, no me atrevo á exijir que cada ingeniero sea un geólogo experimentado, esto sería pedir demasiado. Pero si

el ingeniero no puede ser un geólogo, encontrándose en la práctica con determinaciones eszatigráficas, debe poder leer en una carta geológica detallada ó consultar un geólogo de profesión.

No insistiré aquí, señores, en la necesidad para este país de tener una carta geológica detallada que contenga todas las indicaciones sobre la estructura de su suelo. Esta carta me propongo ejecutarla, pero mis fuerzas y mi tiempo son insuficientes para llevar á feliz término un trabajo de tal importancia. Para llegar al resultado que aspiro, es necesario absolutamente el concurso del Estado, la formación de un grupo de jóvenes geólogos y paleontólogos activos, pero también el concurso de todos los geólogos del país.

Por consiguiente, pido la colaboración de todos para llegar al resultado que es la confección de una carta geológica y mineralógica detallada de Chile; el resultado de las investigaciones de todos los que se interesen en esta obra y en fin, el trabajo de todos los geólogos y paleontologistas chilenos. He dicho.

Los ingenieros que quieran ser mis colaboradores en la tarea de la carta geo lógica detalla de Chile, me honrarán de escribirme, casilla 1235, ó calle Argomedo, núm. 22, Santiago.