BOLETIN DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECANICA DEL SUELO E INGENIERIA GEOTECNICA

Nº 173 OCT. NOV. DIC. 2012

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE MECÁNICA DEL SUELO E INGENIERÍA GEOTÉCNICA

SEDE: Laboratorio de Geotecnica del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX)
Calle de Alfonso XII, 3 - 28014 - España

JUNTA DIRECTIVA

PRESIDENTE	D. César Sagaseta Millán
VICEPRESIDENTE	D. Antonio Soriano Peña
VOCAL-SECRETARIO	D. Enrique Dapena García
VOCALES	D. Vicente Cuéllar Mirasol D. Carlos Oteo Mazo D. José Mª Rodríguez Ortiz D. Alcibíades Serrano González D. Pedro Sola Casado D. Luís Sopeña Mañas D. José Mª Echave Rasines D. Antonio Gens Solé D. Claudio Olalla Marañón
VOCALES REPRESENTANTES:	D. Fernando Pardo Santayana (Laboratorio de Geotecnia) D. José Estaire Gepp (Soc. Esp. Mecánica de Rocas) D. Manuel Romana Ruiz (Coleg. Ing. de Caminos) D. Pedro Ramírez Oyanguren (Coleg. Ing. de Minas) Representante del Colegio de Arquitectos D. Juan José Sanz Llanos (Inst. Eduardo Torroja) Representante Inst. Ing. Civiles

El Boletín de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica publica trimestralmente sus artículos de contenido geotécnico, conjuntamente con "Ingeniería Civil del CEDEX"

NOTA: Las opiniones emitidas en los artículos del "Boletín" son de la responsabilidad exclusiva de sus autores y no tienen por qué coincidir, necesariamente, con las de la Sociedad o las de sus órganos de gobierno, ni con las del propio Comité de Redacción del Boletín

Boletín de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica

Nº 173 OCT. NOV. DIC. 2012.

COMITÉ DE REDACCIÓN

PRESIDENTE	Carlos Oteo Mazo
SECRETARIO	Juan Enrique Dapena García
VOCALES	Fernando Muzás Labad
	Vicente Cuéllar Mirasol
	José María Rodríguez Ortiz
	Alcibíades Serrano González

SUMARIO

LOS ALBORES DE LA GEOTECNIA ESPAÑOLA
Alcibíades Serrano González 5

Los albores de la Geotecnia española

ALCIBÍADES SERRANO GONZÁLEZ (*)

RESUMEN Desde una perspectiva personal, se analizan los primeros pasos de la geotecnia española, entendida como una disciplina académica pero también vinculada de manera muy directa con la profesión. Esta evolución no es ajena a la propia historia de la geotecnia en los países de nuestro entorno cultural o geográfico. Se descubren las aportaciones que nuestros antecesores trasmitieron al resto de la comunidad internacional. Se analiza la presencia física de los españoles en los congresos internacionales de aquella época. Se distinguen tres etapas consecutivas personalizando en cada una de ellas la participación de insignes ingenieros de caminos.

THE DAWNS OF THE SPANISH GEOTECHNIC

ABSTRACT *From a personal perspective, there are analyzed the firsts steps of the spanish "Geotechnical Engineering" history, understood as an academic discipline but also linked in a very direct way with the profession. This evolution is not foreign to the own history of the Geotecnics in other countries of our cultural or geographical environment. The contributions discover that our predecessors transmitted important achievements to the rest of the international community. The direct presence in the international congresses of that time of the spanish geotechnicians is analyzed. Three consecutive stages are distinguished, personalizing in each of them the participation of celebrated spanish Civil Engineers.*

Palabras clave: Ingeniería geotécnica, Historia, Universidad.

Keywords: Geotechnical engineering, History, University.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. LA GEOTECNIA CLÁSICA

La actividad geotécnica es consustancial al hombre.

El hombre vive sobre la tierra y la utiliza para su provecho. ¿Hay algo más geotécnico que un hacha de piedra? o ¿qué pensar de una cimentación palafítica?. Con un poco de reflexión se pueden encontrar innumerables ejemplos de actividades geotécnicas que el hombre ha realizado desde los tiempos más remotos. En este sentido se podría decir que los albores de la Geotecnia española habría que buscarlos en la sima de Atapuerca.

Pero no hay que remontarse tanto. Si se considera la geotecnia como un cuerpo de doctrina, que trata del comportamiento mecánico del terreno, con sus fundamentos, sus leyes y sus aplicaciones, su desarrollo es más reciente. A mi entender y bajo ese punto de vista, la Geotecnia comienza hacia 1500, cuando Leonardo da Vinci establece las leyes que sigue la fricción, leyes que fueron redescubiertas 200 años más tarde por el ingeniero francés Amontons en 1699, con cuyo nombre se conocen ahora.

El siguiente paso importante lo dio Coulomb, también ingeniero francés, quién en 1773 propone una ley lineal para la resistencia al corte del terreno. La resistencia, según Coulomb, es la suma de dos componentes: una es la resistencia a la fricción, proporcional a la presión, la otra es un término constante. La primera componente ya había sido propuesta por Leonardo y Amontons. El coeficiente de proporcionalidad es el coeficiente de fricción, también llamado tangente del ángulo de rozamiento. La segunda componente es la cohesión del terreno.

$$\tau_R = f \cdot \sigma_n + c = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi + c$$

τ_R resistencia al corte.
σ_n presión normal al plano de rotura.
f coeficiente fricción,
$\operatorname{tg} \varphi$ tangente del ángulo de rozamiento.
c cohesión.

Coulomb aplicó esta ley a la solución de un problema de la ingeniería civil de gran importancia: El empuje sobre un muro, en los casos de empuje activo y de empuje pasivo. Para encontrar la solución hizo uso de dos hipótesis adicionales:

- Los empujes corresponden a una situación de mínimo o máximo. El muro se mueve hasta que se llega a esa situación.
- El terreno se rompe por una superficie en la que las tensiones cumplen la condición de rotura de Coulomb. Simplificando admitió que la superficie de rotura es plana.

Coulomb era consciente de que la superficie de rotura era curva y no plana. En el caso de empuje activo la hipótesis de que es plana es bastante cierta, la curvatura de la superficie es pequeña. En el caso de empuje pasivo es totalmente errónea.

La teoría de Coulomb sigue estando vigente en la actualidad. Con las oportunas correcciones y matizaciones, eso sí. La

(*) Catedrático Emérito. Universidad Politécnica de Madrid.

presión normal sobre la superficie de rotura es la presión efectiva y no la total y la superficie de rotura en el caso de empuje pasivo se toma curva (habitualmente se considera un círculo o una espiral logarítmica).

Los siguientes avances se dieron en la Inglaterra del siglo XIX. Rankine en 1857 hizo el primer análisis teórico de un macizo infinito, homogéneo, en rotura todo él y no sólo con un plano de rotura como en la teoría de Coulomb. Supuso, además, que la rotura se produce en un punto del terreno cuando su círculo de tensiones es tangente a la recta de Coulomb. Todos los puntos del macizo entran simultáneamente en rotura.

Reynolds en 1885 introdujo un concepto nuevo, la dilatancia, entonces de poca aplicación, pero que a partir de los años 50 del pasado siglo ha empezado a jugar un papel fundamental en la Mecánica de los medios geotécnicos. Se entiende por dilatancia el cambio de volumen que experimenta un material cuando se le somete a un esfuerzo cortante puro, es decir, cuando el primer invariante de la tensión efectiva es nulo. La dilatancia es un fenómeno que la teoría de la elasticidad isótropa no puede predecir.

Los frecuentes deslizamientos que se producían en las trincheras de los ferrocarriles suecos, abiertas en suelos blandos, llevaron a que las autoridades suecas crearan en 1913 una comisión, con Fellenius como presidente, que estudiase el problema y diese una solución. La comisión inició un nuevo camino en la Geotecnia. Observó e investigó las propiedades de los terrenos, así como la correlación entre las predicciones de las teorías clásicas y los hechos reales; planteó una serie de problemas y estableció unas orientaciones para abordarlos, entre ellas un nuevo método para el cálculo de la estabilidad de taludes en suelos blandos. El método postulaba que las superficies de deslizamiento fueran círculos. De ahí el nombre con el que se le conoce, "método del círculo sueco".

En resumen, hasta la aparición de las ideas de Terzaghi en los años 20 del siglo pasado, las únicas herramientas teóricas disponibles al ingeniero geotécnico, eran esencialmente las que hemos dicho:

- La teoría de empujes de Coulomb.
- El análisis plástico, alternativo, de Rankine.
- El nuevo enfoque a la Geotecnia y el método del círculo sueco de Fellenius.

Sin embargo la aplicación correcta de estas teorías no evitaba que se produjesen muchas veces fracasos aparentemente inexplicables.

Si se echa una mirada a los libros de Geotecnia de principios del siglo XX, se percibe la gran dificultad que tenían aquellos ingenieros para interpretar el papel de la cohesión. El agua lo trastocaba todo. Al no conocer el concepto de presión intersticial, la cohesión aparente se presentaba variable de manera inexpicable.

1.2. LA MECÁNICA DEL SUELO

Karl von Terzaghi en dos artículos publicados en 1923 y 1925, en colaboración con O.K. Fröhlich, sobre la consolidación de las capas de arcilla, estableció los conceptos básicos de presión total, presión intersticial y presión efectiva. Aunque el primer autor que uso un término relacionado, "esfuerzo efectivo", fue Paul Fillunger en 1913 al hablar de las subpresiones en presas:

$$\sigma = \sigma' + u$$

En esta ecuación se fundamenta la Mecánica del Suelo moderna.

Poco después en 1925, con su libro "*Erdbaummechanik auf Bodenphysikalische Grundlage*", comienza una nueva época en la Geotecnia. Además de considerar el principio de las tensiones efectivas, por otra parte muy discutido y matizado posteriormente –véase el artículo de Bishop en el Simposio "*Pore pressure and suction*" y el libro de Mitchell, por ejemplo– Terzaghi en su libro insiste en que es necesario investigar, experimentar y determinar con ensayos los parámetros de los suelos en cada caso. El ingeniero no puede limitarse al uso de tablas con valores de las características de los suelos tales como el ángulo de rozamiento, la cohesión etc. y en especial las cargas admisibles.

Con sus libros posteriores: "*Theoretical Soil Mechanics*" de 1943 y "*Soil Mechanics in Engineering Practice*" de 1948 en colaboración con R. Peck, Terzaghi nos dejó dos monumentos perennes de la Geotecnia, especialmente el último, libro que ningún ingeniero geotécnico debe dejar de leer.

1.3. EL PRIMER CONGRESO DE LA SOCIEDAD INTERNACIONAL DE MECÁNICA DEL SUELO Y CIMENTACIONES

En junio de 1936 tuvo lugar una conferencia en la Universidad del Harvard, Cambridge (Massachusets), convocada y organizada por Arthur Casagrande, profesor de Harvard, de origen austriaco como Terzaghi y antiguo ayudante suyo. En esta conferencia se funda la Sociedad Internacional de Mecánica del Suelo y Cimentaciones y se nombra a Terzaghi primer presidente de la nueva entidad, que lo sería hasta 1957. A continuación se celebra su primer Congreso Internacional.

En los textos que recogen los artículos de la Conferencia se puede leer una referencia muy significativa para España: SPAIN, I. Entrecanales, Prof. General Director, Entrecanales y Távora, Sociedad Anónima. Absent member.

Eran aquellos, tiempos convulsos. Tres semanas después de la Conferencia estallaría la guerra de España, guerra que luego se extendería a Europa y al mundo entero.

Hasta doce años más tarde los geotécnicos no pudieron volver a reunirse.

2. ANTES DEL AMANECER 1898-1931

2.1. EL LABORATORIO CENTRAL DE MATERIALES

El comienzo de la Geotecnia en España se debe situar, tal vez con alguna arbitrariedad, en el año 1898, aunque en el plan de estudios de1873 de la Escuela de Caminos ya apareciera la asignatura de "Fundaciones, Puentes y Túneles".

En el año 1898 hubo un hecho muy significativo que lleva a escogerlo como el punto de partida de este relato: se fundó el Laboratorio Central de Materiales de la Escuela de Caminos. Su misión era el ensayo de los materiales de construcción –en particular los materiales geotécnicos– para determinar sus características y comprobar el cumplimiento de las especificaciones de proyecto.

En aquella época la Escuela de Caminos era una escuela preparatoria de altos funcionarios que sólo se dedicaba a enseñar. La investigación estaba fuera de su cometido. Eso no impedía que los Ingenieros de Caminos, prácticamente todos en la Administración, ensayaran, experimentaran e innovaran en sus proyectos y obras nuevas formas, materiales y procedimientos que les permitieran introducir mejoras en las obras que fueran a proyectar en el futuro. En la Revista de Obras Públicas se daba cuenta de esas actuaciones, además de reseñar lo que se hacía fuera de España. Ribera, en el prologo de su libro de Cimientos, decía en 1926 acerca de estos ingenieros: "*por lo menos en esta rama de la construcción* –la Geotecnia– *los Ingenieros de Caminos no sólo no han ido a la zaga de la técnica extranjera sino que por el contrario, han sido más audaces y casi estoy por decir que más innovadores*".

2.2. JOSÉ EUGENIO RIBERA (1864-1936)

En la figura de D. José Eugenio Ribera Dutaste, profesor encargado de la cátedra de "Cimientos y Puentes de fábrica" desde 1917 hasta su jubilación en 1931, se encarna el espíritu de la Geotecnia española de la época: profundamente innovador y valiente en la práctica de la ingeniería, y conservador en la teoría, anclada todavía en la Geotecnia Clásica anterior a Terzaghi.

Ribera fue uno de los primeros Ingenieros de Caminos que dejaron el seguro refugio de la Administración para dedicarse a la construcción como contratista, aceptando todos los riesgos y todas las venturas de tal condición.

Fundó la empresa constructora Hidrocivil, que perduraría hasta la década de los 80. Hidrocivil fue la constructora más importante del primer tercio del siglo XX, especialmente por el alto nivel técnico con que Ribera supo dotarla. En ella se iniciaron dos de los más grandes Ingenieros de Caminos del siglo pasado, José Entrecanales y Eduardo Torroja.

J. Entrecanales siempre consideró a Ribera como su maestro. Desde el punto de vista genealógico y generacional a Ribera debe considerársele como el bisabuelo de los geotécnicos actuales y para los más jóvenes el tatarabuelo.

Ribera y Zafra, también Ingeniero de Caminos, fueron los introductores y difusores de la nueva técnica, por aquel entonces, del hormigón armado.

Ribera, después de un viaje por Francia en 1894, realizado para conocer y estudiar los puentes de hormigón armado que se construían en el país vecino, convencido del inmenso potencial para las formas y las grandes ventajas constructivas que reunía el hormigón armado sobre la obra de fábrica, decide implantarlo en España. Se apoya para ello en su empresa constructora Hidrocivil y adquiere de inmediato la patente del nuevo material.

Los logros de Ribera en el campo de la Geotecnia son extraordinarios, debidos sobre todo a la introducción del hormigón armado en las obras geotécnicas.

En 1906, Ribera hinca el primer cajón de hormigón armado con aire comprimido, en España, en la cimentación del puente de Valencia de D. Juan. Esta obra es una prueba de la audacia, la confianza y el dominio de la nueva técnica por parte de Ribera.

En el mismo año 1906, Ribera da pruebas de su versatilidad. Fabrica e hinca los primeros pilotes de hormigón armado en el mundo, en la cimentación del puente de Mª Cristina en S. Sebastián.

Posteriormente en 1909, hinca los cajones de aire comprimido de la cimentación del puente de Amposta (Tarragona). La profundidad de hinca de estos cajones fue record mundial en su tiempo.

El profesor J. A. Jiménez Salas calificaría estas obras como "señaladas y tempranas aportaciones al mundo de la Geotecnia".

En 1924, aparece en escena J. Entrecanales, como director técnico de Hidrocivil, en la construcción del puente de S. Telmo, en Sevilla. Dirige la hinca de cuatro cajones de aire comprimido con proyecto de Ribera.

Entre 1925 y 1932, Ribera publica su obra monumental en cuatro tomos "Puentes de fábrica y hormigón armado". El segundo tomo dedicado a las cimentaciones aparece en 1926. Este tomo es un exponente de la gran altura a la que había llegado la Geotecnia española en la práctica de la ingeniería. Los ingenieros geotécnicos españoles de esta época estaban a un nivel muy similar al de sus colegas extranjeros.

En el tomo de "Cimentaciones" se leen afirmaciones de Ribera vigentes hoy en día:

- *"Los cimientos mandan en puentes, en muelles, en esclusas y en presas"*. Idea que no debieran olvidar algunos proyectistas, como desgraciadamente ocurre a veces.
- *"Los pilotes se hincan hasta donde se puede no hasta donde se quiere"*.

Y así siguen otras muchas.

Basta ver el título de los 16 capítulos del tomo de Cimientos para darse una idea de su alcance y profundidad. Leyendo el libro se comprueba que la influencia de Terzaghi no ha llegado todavía a Ribera, el cual sigue dando tablas de cargas admisibles y parámetros para los distintos tipos de suelos y condiciones.

En 1931 se jubila D. José Eugenio Ribera, que muere en 1936. Le sucede su discípulo José Entrecanales como profesor de "Cimientos y puentes de fábrica", asignatura de la que ya era profesor adjunto.

3. LA DUDOSA LUZ DEL ALBA (1931-1948)

3.1. AÑOS DIFÍCILES

Aquellos años fueron conflictivos, trágicos y finalmente muy duros, así por este orden temporal, para los que los vivieron. La Geotecnia, como casi todo, desaparece durante la guerra, pero muy poco a poco, en los años 40 se perciben los primeros destellos del amanecer geotécnico. La Geotecnia reinicia lentamente su camino, pero bien conducida, ya con un carácter riguroso y moderno. Se sientan las bases sólidas que permiten el desarrollo posterior firme y seguro. Ello fue debido a un grupo reducido de profesionales que en un ambiente precario y difícil, con gran esfuerzo sacaron adelante un proyecto, cuyos espléndidos resultados hoy podemos ver.

3.2. JOSÉ ENTRECANALES IBARRA (1899-1992)

José Entrecanales Ibarra (1899-1992) fue uno de estos profesionales. Nació en Bilbao, ciudad a la que estuvo siempre muy vinculado. Terminada la carrera de Ingeniero de Caminos, le encontramos trabajando como Director Técnico de Hidrocivil, la empresa de su maestro Ribera, en la construcción del puente de S. Telmo.

En 1931, J. Entrecanales se asocia con Távora un constructor sevillano y juntos fundan la empresa constructora Entrecanales y Távora, S.A., que después de más de 80 años continúa existiendo en la actualidad bajo otro nombre. Hay constancia que en ese mismo año 1931, la nueva empresa ya construía la que quizás fuera su primera obra, una carretera de gran dificultad geotécnica en Hermigua, isla de la Gomera, debida a la agreste topografía de la isla y a la singularidad de los materiales volcánicos.

En sus inicios la guerra interrumpió la marcha de Entrecanales y Távora. Al terminar la contienda, en los años 40, era una empresa pequeña, pero con un equipo técnico formidable, formado por José Entrecanales junto a Carlos Lorente de No, Ingeniero de Caminos y fiel colaborador suyo desde la fundación de la empresa. Muy pronto se les incorporaría José Antonio Jiménez Salas.

Entrecanales y Távora se especializó en obras geotécnicas, sobre todo en obras marinas con un gran componente geotécnico y especialmente en obras de gran dificultad teórica y práctica, tales como diques secos, muelles, instalaciones de industrias pesadas en suelos blandos etc.

Entre estas obras, por su magnitud, sus dificultades, sus repercusiones geotécnicas y sobre todo por lo que representó para Entrecanales y Távora, hay que citar a ENSIDESA, la gran siderúrgica de Avilés.

En la factoría de Avilés se ejecutaron cimentaciones de muy variados tipos. Desde grandes cajones de aire comprimido para apoyo de los hornos altos, a grandes vigas corridas

sobre pilotes prefabricados de hormigón armado como soportes de los carriles de los carros de colada, pilotes in-situ para losas y zapatas, zonas precargadas, etc.

Pero también fue aquí el principio del final de una técnica: la de los cajones de aire comprimido. Los cajones de aire comprimido eran un procedimiento muy utilizado para la ejecución de cimentaciones pesadas bajo el nivel freático. La hinca de un cajón era un proceso muy delicado y peligroso. Las condiciones en el interior del cajón bajo la presión de aire eran muy insalubres.

Cuanto mayor era la presión mayor tenía que ser el tiempo de descompresión requerido y menos tiempo restaba para el trabajo neto de hinca. La peligrosidad del cajón era extrema. Cualquier fisura en la chimenea de alimentación aparejaba la descompresión del cajón y con ella la entrada de agua y suelos en su interior y la muerte del personal.

D. José Entrecanales, en un momento suyo de intimidad y confianza, contó a un Ingeniero de Caminos amigo mío, su amarga experiencia ante un cajón fallado. Era muy tarde cuando recibió la noticia. Se encerró en su despacho, buscando una solución. No la había. Entonces lloró de desesperación e impotencia. En 1962 J.L. Morrás, ingeniero de Entrecanales y Távora, proyectaba e hincaba en Pasajes el último cajón. Los cajones de aire comprimido dejaron de hacerse en España. Para siempre.

Con la construcción de ENSIDESA, Entrecanales y Távora se transformó en una de las constructoras más importantes del país. En aquellos tiempos era una verdadera escuela de ingeniería geotécnica práctica. Por allí pasaron y se formaron Ricardo Marsal, Alejandro Alvariño, etc. Más adelante, Carlos Lorente de No hijo, Ángel Uriel, Luis Cañizo y otros.

A la jubilación de Ribera en 1931, José Entrecanales es encargado de la cátedra de "*Cimientos y puentes de fábrica*". Ocuparía esta cátedra hasta 1957. Cuando se retira de la docencia por propia voluntad. La Escuela de Caminos acababa de pasar al Ministerio de Educación.

J. Entrecanales, ya en su primer programa de clases incluyó los puntos principales de las nuevas teorías de la recién nacida Mecánica del Suelo: Ensayos de laboratorio y en obra para la investigación de los terrenos, compresibilidad de las arcillas, histéresis, etc.

En colaboración con Carlos Lorente de No, ahora adjunto suyo, autor del importante libro "La pieza elástica", redactó para uso de sus alumnos dos libros que han supuesto mucho en el desarrollo de la Geotecnia en España: "*Muros y taludes*" y "*Cimientos*".

Estos libros eran un compendio del saber necesario en la época para la práctica de la ingeniería geotécnica. Sus fuentes principales son fácilmente identificables: Terzaghi, Taylor, Fröhlich, etc.

Estos libros, conocidos en el argot de los alumnos de la escuela, como los "libros verdes", siguen aún hoy en día, después de más de 60 años desde su publicación, teniendo interés para el profesional de la Geotecnia.

En el libro de "*Muros y taludes*" se incorpora un artículo muy interesante de Entrecanales sobre la rotura del muelle de Maliaño en Santander, publicado en la Revista de Obras Públicas. El artículo es un ejemplo muy instructivo del cálculo a "posteriori" de la estabilidad del muelle en un suelo blando.

La labor docente y formativa de D. José Entrecanales en la Escuela de Caminos fue extraordinaria. Su actividad y energía asombraban a los alumnos. Interesa resaltar dos aspectos fundamentales de su figura:

- Como maestro transmisor de conocimientos, profundos, modernos y prácticos.
- Como modelo de ingeniero infundiendo en los alumnos un espíritu de esfuerzo y de tesón que no se arredra y que se enfrenta siempre a las dificultades.

En verdad ese espíritu era necesario en la España de aquellos años, un país asolado por la guerra que había que levantar desde sus escombros. En palabras de J. A. Jiménez Salas más que un profesor fue un maestro.

El monumento de bronce con su efigie, colocado ante la puerta principal de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid, está más que justificado.

3.3. JOSÉ LUIS ESCARIO (1895-1971)

José Luís Escario fue profesor de la cátedra de Caminos desde 1934 hasta su jubilación en 1965. Fue un impulsor desde sus inicios del cambio de mentalidad propugnado por Terzaghi. Ya, en una fecha tan temprana como 1934, en un cursillo sobre cemento y hormigones, celebrado en el palacio de Velázquez en el Retiro, abogó por reforzar la investigación experimental en los laboratorios de la Escuela. José Luis Escario se mantuvo fiel a esta idea a lo largo de su vida. En 1940 se funda, por su empeño, el Laboratorio del Transporte adscrito a su cátedra, con una sección de Mecánica del Suelo.

1944 fue un año importante para la Geotecnia en la Escuela de Caminos. Se hacen nuevas instalaciones en el Laboratorio Central de Materiales con el equipamiento de un laboratorio propio de Geotecnia. Asimismo se equipó también el Laboratorio de Mecánica del Suelo, de la Cátedra de Caminos.

Años más tarde, en 1957, cuando la Escuela de Caminos pasa al Ministerio de Educación, el Ministerio de Obras Públicas se queda con los laboratorios de la Escuela que habían sido de su propiedad. Con el conjunto de todos estos laboratorios se formó el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

El Laboratorio del Transporte, ya integrado en el Centro de Estudios, pasó a llamarse Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo. Su director desde 1957 a 1965, fecha de su jubilación fue José Luis Escario. Le sucedió en la dirección José Antonio Jiménez Salas, que hasta entonces había sido jefe de la Sección de Mecánica del Suelo.

El Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, fue en esta época bajo estos dos directores el centro de referencia nacional en la investigación geotécnica.

La labor científica y docente de J. L. Escario fue intensa y fructífera. En 1943 publica la primera edición de su libro "*Caminos*", un tratado completo sobre el proyecto y construcción de carreteras. En el prólogo de esta edición se agradece la colaboración del alumno de 5º curso de la escuela, J. A. Jiménez Salas en la selección y ordenación de la información y documentación extranjera. El tratado se fue ampliando y poniendo al día, en las sucesivas ediciones, hasta la última en 1976. A partir de la edición de 1951 aparece acreditada la colaboración en el libro, de su hijo Ventura Escario Ubarri. El libro de Caminos ha tenido gran repercusión y el mérito de ser traducido al francés, lo que en aquellos tiempos significaba mucho.

El año 1948, con el que cerramos este capítulo, fue un año muy importante para la Geotecnia, tanto para la mundial, como para la española. En este año tuvo lugar el 2º Congreso de la Sociedad Internacional de Mecánica del Suelo y Cimentaciones, que se celebró en Rotterdam. Se vuelve así a la normalidad rota por la Guerra Mundial. Fue importante para España porque en este Congreso se publican los dos primeros artículos internacionales escritos por geotécnicos españoles. Es la primera salida al exterior, no frustrada, de la Geotecnia española. Pudo haber sido doce años antes, pero las guerras lo impidieron.

Los artículos en cuestión fueron:

– *"Routine practice for soil tests in the road and road construction laboratory, in Madrid"*, por J. L. Escario y J. A. Jiménez Salas.
– *"Soil pressures computation: A modification of the Newmark's method"*, por J. A. Jiménez Salas.

En el primero de estos artículos se indican brevemente las particularidades de los métodos de ensayo considerados de rutina para la Mecánica del Suelo de Carreteras en el Laboratorio del Transporte.

El segundo artículo se comentará más adelante cuando se hable de las publicaciones de J.A. Jiménez Salas.

4. SALIENDO EL SOL (1948-1965)

4.1. FINAL DEL AMANECER

La etapa 1948-1965, última de este relato, puede considerarse como un periodo de consolidación y normalización de un proceso iniciado tímidamente con grandes dificultades en los años 40.

En 1949 a raíz del Congreso de Rotterdam, por iniciativa de J .L. Escario y J .A. Jiménez Salas, se funda la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones que se integra en la sociedad internacional. Creo que el primer presidente fue D. José María Valdés, director entonces del Servicio de Vigilancia de Presas.

El final de la etapa la hemos fijado en el año 1965. Hay razones que avalan esta decisión:

En 1966 tuvo lugar el 1er Congreso de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, en Lisboa. La delegación española fue muy numerosa. Poco tiempo antes se había fundado la Sociedad Española de Mecánica de Rocas. En aquel momento existían ya en España dos laboratorios oficiales en los que se investigaba en Mecánica de Rocas, ambos integrados en el Centro de Estudios y Experimentación de O.P.: el Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo, y el del Centro de Estudios Hidrográficos.

Muchos son ya los españoles que salen en estos años a ampliar estudios de Geotecnia en universidades extranjeras: Imperial College, Massachussets Technological Institute, Northwestern University, Berkeley, etc.

El plan de estudios de caminos del 57, empieza a dar sus frutos. Se leen las primeras tesis doctorales.

Surgen las primeras empresas consultoras que necesitan geotécnicos. Las empresas de obras geotécnicas se tecnifican, lo que se observa al ver la procedencia y el contenido de algunos de los artículos que se presentan en los Congresos.

Madrid es escogido como sede de un Primer Congreso Europeo de Mecánica de Rocas a celebrar en 1969.

Se aprueba en 1964 un nuevo plan de estudios de ingeniería en el que se establecen cursos de doctorado, que se inician en el curso 1969-1970.

Como se puede apreciar, hacia el año 1965 la Geotecnia se había ya consolidado en España.

Otra decisión importante para este relato es escoger qué investigadores deben ser los últimos a considerar en este período. Arbitrariamente hemos tomado a los provenientes de la promoción de 1959 de Ingenieros de Caminos que tuvieron a D. José Entrecanales como profesor. Los alumnos de José Antonio Jiménez Salas pertenecen a una etapa en la que ya, en mi opinión, luce el sol.

4.2. JOSÉ ANTONIO JIMÉNEZ SALAS (1916-2000)

José Antonio Jiménez Salas es la figura clave en la creación, afianzamiento y desarrollo de la Geotecnia española en la segunda mitad del siglo pasado.

Jiménez Salas terminó la carrera de Ingeniero de Caminos en 1942. Consiguió la beca Federico Liszt que le permitió ampliar estudios de Mecánica del Suelo en Munich, Berlín y Viena. Su estancia en estas ciudades en el curso 42-43, en plena guerra mundial, es una prueba del arrojo y valor que siempre tuvo. Muchos años más tarde, preguntado por qué había ido a estas Universidades, contestó simplemente: *"Porque en aquellos años un español no podía ir a otro sitio"*.

En cualquier caso, desde un punto de vista técnico la decisión era acertada. La Escuela Técnica Superior de Viena había sido cuna de la moderna Mecánica del Suelo, aunque Terzaghi residiera en Estambul como profesor del American Robert College cuando estableció su teoría, ya clásica, de la consolidación y el principio de las tensiones efectivas.

Todavía, cuando llegó a Viena J.A. Jiménez Salas, estaban vivos los rescoldos de la gran disputa de Terzaghi y Fröhlich con Fillunger y el suicidio de éste en 1937. Sin embargo, el fondo último de la disputa: la estructura de la arcilla y la aplicabilidad de la ley de Darcy en todos los casos, era un tema que flotaba ominosamente en el ambiente. La Comisión creada por la Universidad para dirimir la controversia dio la razón a Terzaghi y a Fröhlich, quién había llevado prácticamente la defensa de su posición en la disputa. Fillunger había cometido un error en los desarrollos matemáticos y eso le resultó fatal, pero el tema de fondo era otro.

En 1942, Terzaghi ya no estaba en Viena. Había emigrado en 1938 a EEUU después de la anexión de Austria a Alemania. Residía habitualmente en Harvard, donde le había reclamado su discípulo Arthur Casagrande.

Quien sí continuaba en Viena era Fröhlich, con el que estudió José Antonio Jiménez Salas.

Otto Karl Fröhlich es conocido en España principalmente, por la teoría de la distribución de tensiones de una carga aislada, con un factor de concentración. En los años 50 circulaba por España su libro "Druckverteilung im baugrunde", traducido al castellano.

Jiménez Salas a su vuelta a España, después de una breve temporada en el Protectorado español de Marruecos, creo recordar que como ingeniero de los ferrocarriles del Rift, entró a trabajar en el Instituto de Edafología del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Al mismo tiempo que trabaja en el CSIC sigue vinculado a J. L. Escario con quien ya había colaborado de alumno, en el Laboratorio del Transporte de la cátedra de Caminos.

J. A. Jiménez Salas continuó en el Consejo hasta 1950, donde llegó a ser jefe de la sección de Edafología. Allí conectó con el químico José María Serratosa, que a finales de los años 40 trabajaba en su tesis doctoral sobre arcillas. La colaboración de estos dos grandes investigadores fue muy fecunda y se mantuvo viva al menos una decena de años. Los resultados de esta colaboración se plasmaron en artículos muy importantes en el ámbito internacional, que comentaré más adelante.

J. A. Jiménez Salas era en 1953 jefe de la sección de Mecánica del Suelo del Laboratorio del Transporte, de la cátedra de Caminos. En este puesto continuaba en 1957, cuando este Laboratorio, con el nuevo nombre de Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo se integró en el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

En 1965 al jubilarse José Luis Escario pasa a ser director del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo. Fue director de este Laboratorio hasta 1983, cuando se retiró a la Escuela de Caminos, con una breve interrupción de unos meses, en los que ocupó el cargo de director del Centro de Estudios y Experimentación.

Durante toda su vida profesional hasta unos pocos días antes de su muerte, en marzo de 2000, colaboró con Entrecana-

les y Távora y después con su filial Iberinsa, asesorándoles en el proyecto y construcción de sus obras geotécnicas más difíciles y comprometidas.

Los ingenieros de Iberinsa que trabajaron con él, recuerdan con emoción su despedida en la oficina, que presentían sería la última, de paso en el camino hacia el hospital del que ya no saldría con vida.

Los que tuvimos la suerte de trabajar bajo su dirección no podemos olvidar, su sabiduría, sus sugerencias, siempre creativas y sorprendentes, su honestidad intelectual y su generosidad científica.

Desde 1957 hasta su jubilación en 1986 ocupó la cátedra de "Geotecnia y Cimientos", una de las dos cátedras en que se había escindido la antigua asignatura de "Cimientos y Puentes de fábrica", cuyo último profesor fue D. José Entrecanales.

Como profesor J. A. Jiménez Salas reunía un conjunto de cualidades que le hacían excepcional:

- Poseía una base profunda y sólida de las ciencias básicas (Matemáticas, Física, especialmente Mecánica e Hidráulica, y Química).
- Se mantenía al día leyendo lo que se publicada de Geotecnia.
- Tenía una experiencia formidable en la práctica de la ingeniería geotécnica.
- Sabía discernir lo que se debía enseñar a los alumnos, bajo dos puntos de vista:
  - Conocimientos básicos que les sirvan para toda su vida profesional, y que les permitan ponerse siempre al día con relativa facilidad aunque no sean de aplicación inmediata.
  - Conocimientos prácticos para el uso inmediato.
- Sabía comunicar amenamente esos conocimientos y conseguir que los alumnos los adquiriesen.
- Tenía ideas muy claras sobre la investigación.

Y finalmente:

- Sabía crear y mantener un grupo de discípulos que pudieran con el tiempo dar continuidad a su labor.

Reunir estas siete cualidades no es nada fácil, sin embargo en Geotecnia se ha dado más de una vez esta magnifica conjunción. Santiago Uriel ha sido un claro ejemplo de ello.

Es imposible citar todos los trabajos científicos de una vida tan fecunda. Me limitaré a algunos de los publicados hasta 1965, fecha en la que se da por terminado el alcance de esta charla.

- 1945: "*Notas sobre la Mecánica del Suelo*". Revista de Obras Públicas.

Esta primeriza publicación puede considerarse el primer tratado completo escrito en España sobre Mecánica del Suelo y el germen de su futuro libro de 1951. En sus 44 páginas se resume sus orígenes, sus orientaciones y se expone el criterio personal sobre ella del joven investigador.

- 1948a: "*Routine practice for soil tests in the road and road construction laboratory in Madrid*". 2ª Conf. Int. de Mecánica del Suelo. Rotterdam. En colaboración con J.L. Escario.

Artículo que ya se ha comentado.

- 1948b: "*Soil pressures computation: A modification of the Newmark's method*". 2ª Conf. Int. de Mecánica del Suelo. Rotterdam.

Este artículo, de fecha tan temprana en la vida de J. A. Jiménez Salas, tiene un interés muy grande. No es un artículo de relleno. Sigue siendo válido y útil todavía.

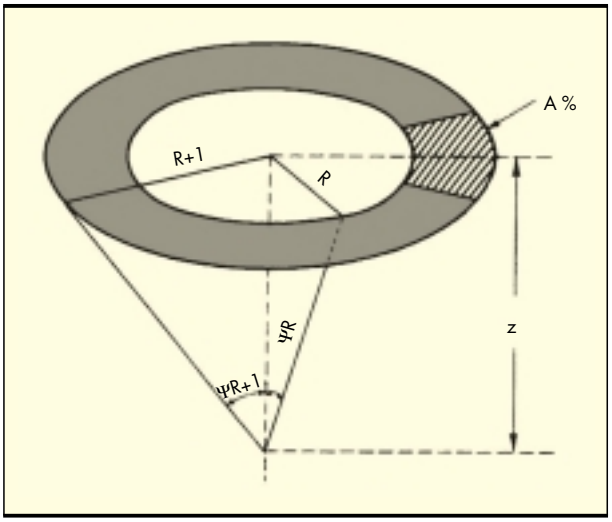


FIGURA 1. Esquema de cargas del método de las influencias. Jiménez Salas (1948).

J.A. Jiménez Salas propone un procedimiento para determinar las tensiones verticales σ_z, en puntos Z a la profundidad Z, situados en la vertical de un punto O de la superficie del terreno sometido a una carga repartida sobre un área de forma cualquiera.

La tensión σ_z es la suma de las influencias que fracciones cargadas A_n de coronas circulares N, con centro en O, transmiten al punto Z.

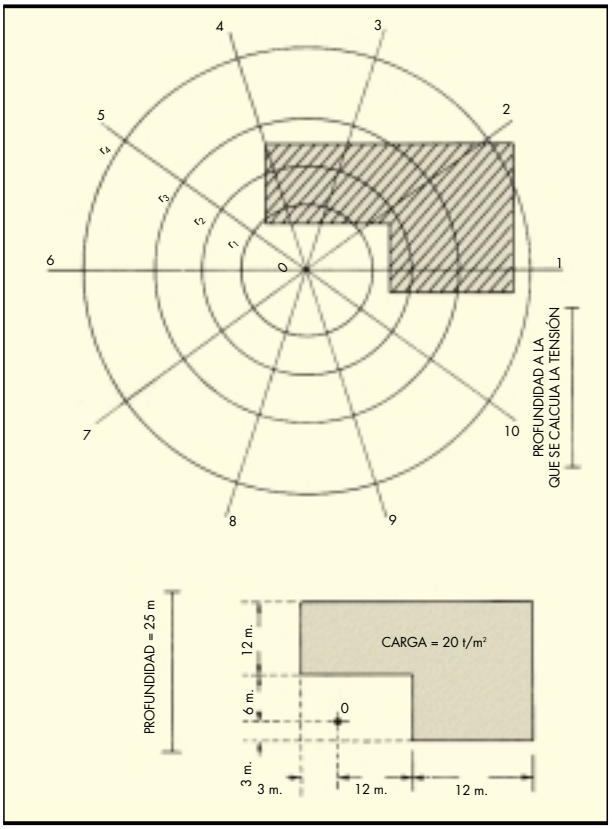


FIGURA 2. Ejemplo de aplicación del método de las influencias.

$$\sigma_Z = \sum_1^N p_n \cdot \frac{A_n}{100} \cdot I^Z_{R+1,R}$$

Siendo:

$$I^Z_{R+1,R} = \cos^3 \psi_R - \cos^3 \psi_{R+1} \qquad \cos \psi_R = \frac{Z}{\left(Z^2 + R^2\right)^{1/2}}$$

A_N Porcentaje del área de la corona N, cargado.
p_N Carga sobre la corona N.

La distribución de tensiones σ_Z en la vertical de un punto O es, por ejemplo, un dato necesario para el cálculo del asiento de O por el método edométrico, en suelos blandos.

Una prueba de su utilidad es que el Manual de Geotecnia de la U.S. Navy (NAVFAC DM-7) lo ha incorporado a sus recomendaciones, con la debida acreditación a su autor.

Hoy en día su utilidad es todavía mayor, ya que se puede programar fácilmente con una simple hoja de cálculo.

- 1953: *"Compressibility of Clays"*. 3er Conf. Int. de Mecánica del Suelo. Zurich. En colaboración con José María Serratosa.

Es un artículo magnífico. Aquí brilla el genuino José Antonio Jiménez Salas. Se inicia con este artículo un tema de investigación recurrente en su vida. Las arcillas expansivas, los suelos semisaturados, la influencia de los líquidos intersticiales en la rotura del contacto entre partículas, los asientos de escolleras, etc., serán ramificaciones y derivaciones distintas de este artículo básico inicial. Muchas investigaciones modernas actuales tienen aquí sus raíces.

Estos temas son, a mi juicio, aquellos que más preocuparon a José Antonio Jiménez Salas y a los que más esfuerzo dedicó. Jiménez Salas supo transmitir esta preocupación a sus colaboradores más cercanos del Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo: Ventura Escario, Julio Martín Viñas y Jesús Sáez.

La deformabilidad de la arcilla se puede explicar por una teoría basada en el diagrama de Freundlich si se incluyen las presiones, además de las fuerzas eléctricas. Según esto, en la estabilidad de las arcillas intervienen tres campos de fuerzas:

- Fuerzas de atracción de Van der Waals.
- Fuerzas de repulsión eléctricas.
- Presiones mecánicas.

Los autores suponen que la distancia entre partículas d es proporcional al índice de poros ε.

$$d = A\,\varepsilon$$

Las presiones de Van der Waals son:

$$p_w = d^{-6} = \mu \cdot \varepsilon^{-6}$$

Las presiones de repulsión eléctrica:

$$p_E = c \cdot e^{-Kol} = c \cdot e^{-A\varepsilon}$$

La presión externa de origen mecánico es p.

En el equilibrio de las partículas se tiene que:

$$p + \mu \cdot \varepsilon^{-6} = c \cdot e^{-A\varepsilon}$$

Luego:

$$\varepsilon = \frac{1}{A} \ln\left(p + \mu\,\varepsilon^{-6}\right) + C$$

$$\text{Con } C = \frac{\ln c}{A}$$

Esta ecuación es muy similar a la clásica expresión de Terzaghi de la que no difiere en más que el término constante p_o se ha convertido en otro proporcional a ε^{-6}.

El coeficiente μ se puede considerar constante para una misma arcilla. Los coeficientes A y C deben depender en un

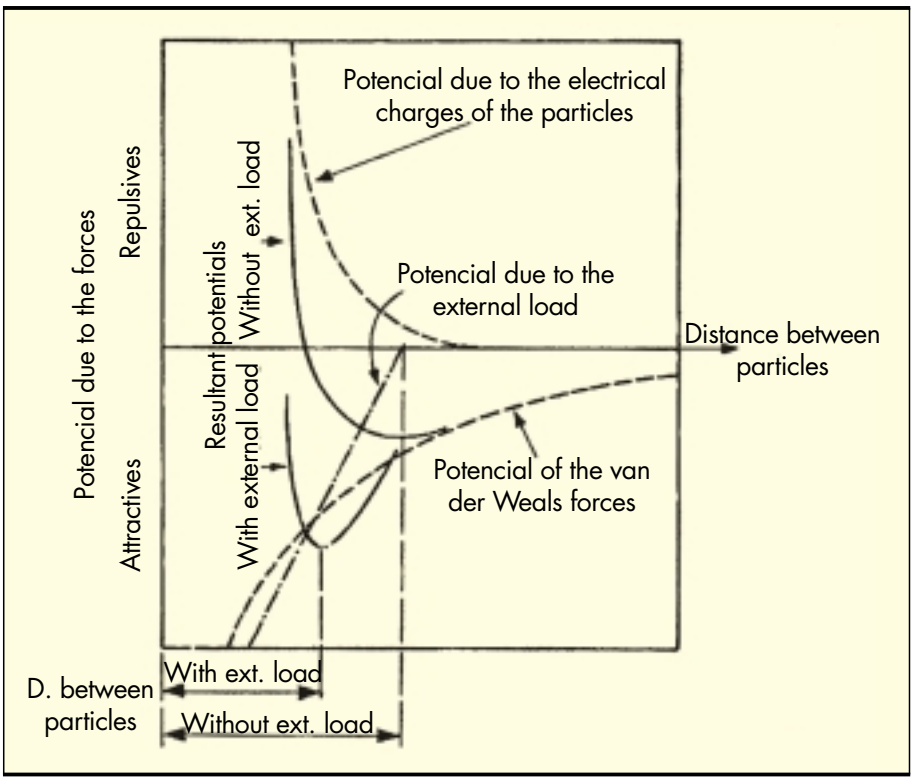


FIGURA 3. Diagrama de equilibrio entre dos partículas de arcilla.

alto grado de la naturaleza y concentración de los cationes presentes. También deben depender de los momentos bipolares de los líquidos orgánicos intersticiales.

El trabajo de los autores fue comprobar y demostrar estas dependencias y el sentido de las mismas con una técnica experimental muy rigurosa.

Las conclusiones más importantes de este trabajo fueron:

– La compresibilidad de una arcilla determinada varía con el catión absorbido en la misma dirección que la capacidad de hidratación del catión. El catión potasio es anómalo. Su anomalía es explicable porque el catión potasio se incorpora a la estructura de la arcilla.
– La compresibilidad de una arcilla determinada amasada con diferentes líquidos orgánicos varía en la misma dirección que el momento polar de sus moléculas.
– La consolidación de una arcilla amasada con líquidos orgánicos no sigue la teoría de Terzaghi-Fröhlich. Una parte del fenómeno tiene lugar proporcionalmente al logaritmo del tiempo, como es el caso de la consolidación secundaria. Este fenómeno es más notable cuanto mayor es la polaridad del líquido.

El artículo tuvo un fuerte impacto en la Conferencia de Zurich y fue vivamente discutido.

Después de este trabajo han venido muchos otros siguiendo su estela. El libro de Mitchell es un ejemplo, pero no debemos olvidar que los investigadores españoles estuvieron entre los primeros pioneros del tema.

1953: "Impresiones sobre el desarrollo de la Mecánica del Suelo en España". Revista de Obras Públicas.

Este artículo presenta una historia muy emotiva de los logros de la Geotecnia española. De ella he sacado información muy valiosa para esta conferencia. Es un relato precioso; cuenta, por ejemplo como siendo alumno novicio, se establece su primer contacto con la Geotecnia," *esa lucha contra el terreno que es la vida del ingeniero que se ocupa de las cimentaciones, en una triste y lluviosa noche de mayo……en la despedida del duelo de un gran Ingeniero, D. José Eugenio Ribera,…..cuyo féretro se alejaba cubierto de cuantas rosas pudieron entregar los jardines de la Escuela".* Sólo un amante de la poesía puede escribir así y José Antonio Jiménez Salas lo era.

- 1957: *"Foundations on Swelling Clays"*. 4º Conf. Int. de Mecánica del Suelo. Londres. En colaboración con José María Serratosa. (Figura 4).

En esta comunicación se indican las líneas generales para abordar el proyecto de una cimentación sobre arcillas expansivas. Para decidir si el suelo es peligroso son indispensables los ensayos de presión de hinchamiento y de hinchamiento libre bajo presión constante.

De las curvas de presión de hinchamiento versus hinchamiento permitido se puede calcular el levantamiento de la cimentación. Este levantamiento, así calculado, debe considerarse sólo como una estimación.

Se indican medidas constructivas y se dan fórmulas para calcular la deformación de la estructura. Finalmente se muestra el efecto favorable de una capa deformable bajo la cimentación.

- 1965: *"Resolution theorique de la distribution des forces dans des pieux"*. 6º Conf. Int. de Mecánica del Suelo.Montreal.

En este trabajo colaboró intensamente Carlos Lorente de No hijo, aunque oficialmente no esté acreditada esta colaboración.

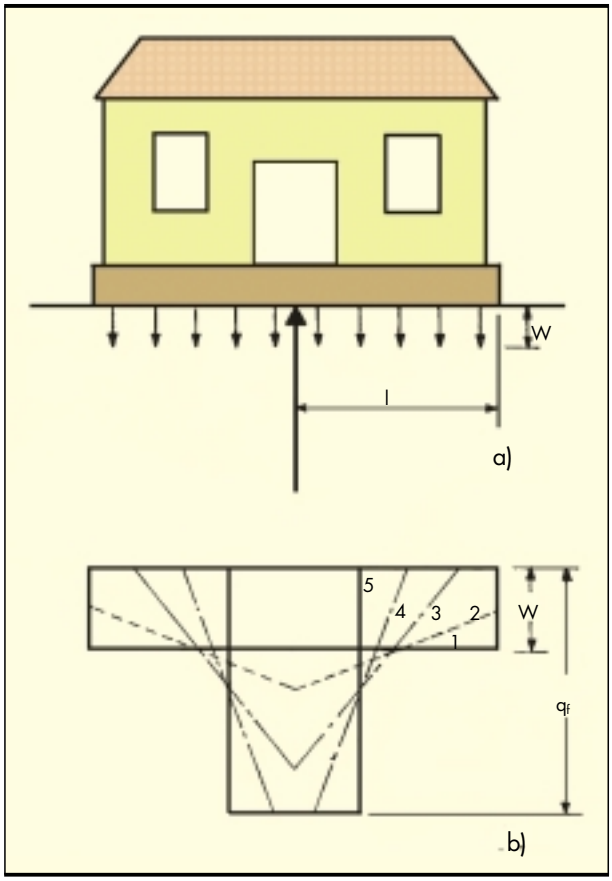


FIGURA 4. (a) Fuerza de sostenimiento central y aislada que se encuentra en el origen de la conocida fórmula sudafricana. (b) Evolución de las presiones bajo una cimentación debida al levantamiento por expansividad.

J.A. Jiménez Salas y Carlos Lorente de No fueron los primeros que bajo unas hipótesis muy simplificadoras consiguieren determinar la distribución de tensiones en el fuste de un pilote. (Figura 5). Partiendo de la ecuación de Mindlin, que constituye el núcleo *K (c,zn),* representa el comportamiento del pilote incluido en un semiespacio elástico (Jiménez Salas y Arrechea Belzunce, 1965).

La incógnita es la función φ (c), distribución de la tensión φ, tangencial en el fuste a la profundidad c.

Si Q es la carga total del pilote con diámetro D:

$$Q = \pi D \int_0^L \varphi(c)\, dc$$

Se compatibilizan los movimientos del terreno con los del pilote mediante las ecuaciones de Mindlin.

$$dW_z = \pi D \varphi(c) \cdot K(c, z)\, dc$$

dW_z es la diferencial de asiento que se produce en el terreno por efecto de la diferencial de carga $\pi D \varphi(c)\, dc$ que le transmite la tensión tangencial del fuste. Se tiene:

$$Wz = \pi D \int_0^L \varphi(c) K(c,z)\, dc$$

K (c,z) es el asiento de Mindlin en el punto a la profundidad z, debido a una carga unitaria a la profundidad c.

Obtienen la función φ (c), discretizando el pilote y transformando así la ecuación integral en un sistema de ecuaciones lineales.

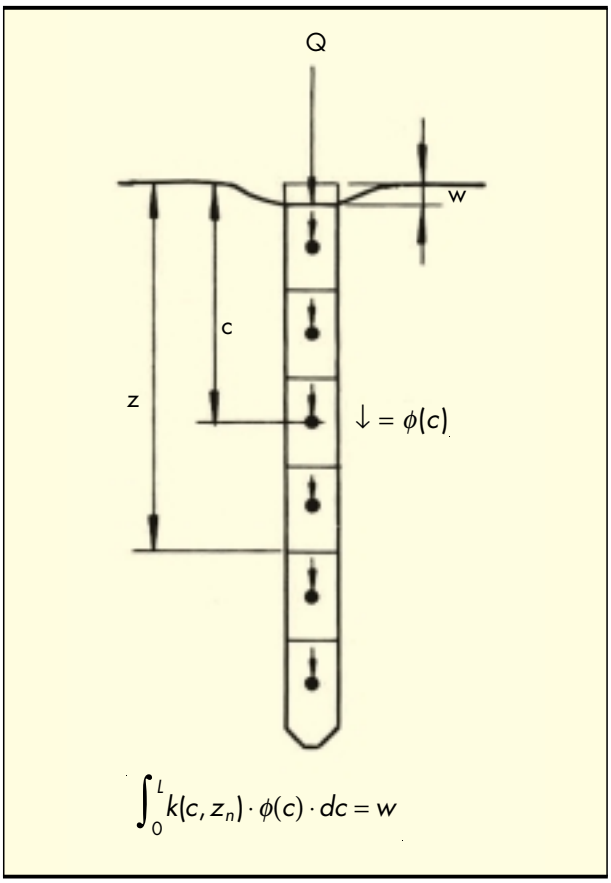


FIGURA 5. Discretización del pilote para la resolución de la ecuación integral.

Si se supone el pilote rígido y que no hay deslizamiento entre pilotes y terreno $W_z \rightarrow$ constante.

También analizan la posibilidad de deslizamientos entre el pilote y el terreno.

Más adelante han aparecido en la literatura soluciones más completas y refinadas del problema, como las de Poulos, pero al igual que en muchas otras ocasiones José Antonio Jiménez Salas fue el pionero.

En el mismo Congreso de Montreal J.A. Jiménez Salas fue panelista de la Sección 4.3 *"Shallow Foundations and Pavements"*. Su disertación trató de las investigaciones de Santiago Uriel sobre la plastificación de cuñas de terreno con anisotropía transversal. Más adelante comentaremos con detalle estas investigaciones. Interesa ahora destacar la posición filosófica de José Antonio Jiménez Salas ante la investigación en Mecánica del Suelo expuesta en esta ocasión:

"Frecuentemente juzgamos los resultados de la mecánica del suelo de una manera hipercrítica, probablemente porque todos aquellos de nosotros que hemos sentido la llamada de la mecánica del suelo tenemos una mente hipercrítica. Hemos seguido el impulso de que todo razonamiento matemático ha de ser seguido inmediatamente por una adecuada comprobación experimental. Esta escuela de pensamiento para el tratamiento de los problemas puestos ante nosotros por el suelo hemos venido a llamar Mecánica del Suelo. Esta actitud hipercrítica es sana, siempre que no conduzca a una falla del espíritu que nos lleve al empirismo, con el slogan de que –La Naturaleza no sabe Matemáticas– Pero el hecho es que La Naturaleza es ella misma Matemáticas. Las Matemáticas se materializan en el spin de sus partículas más elementales. Podemos estar seguros que cualquier esfuerzo que hagamos para mejorar las abstracciones con las que intentamos representar el suelo será recompensado".

Sería conveniente que estos pensamientos de José Antonio Jiménez Salas expresados hace cerca de 50 años no cayeran en el olvido.

En 1964 en el Congreso de Grandes Presas celebrado en Edimburgo. Jiménez Salas en colaboración con Santiago Uriel presentó el artículo "*Some recent Rock Mechanics testing*", que se comenta más adelante cuando se refiere a Santiago Uriel.

Después de 1965, José Antonio Jiménez Salas siguió trabajando e investigando. Publicó muchos artículos e hizo grandes aportaciones a la Geotecnia, pero todo eso ya no pertenece al amanecer de la Geotecnia.

José Antonio Jiménez Salas nos dejó dos libros fundamentales para la Geotecnia española.

En 1951 la "*Mecánica del Suelo y sus aplicaciones*".

Esta obra entre sus muchos méritos tiene el de ser el primer libro de Mecánica del Suelo publicado en España. Constituye un cuerpo de doctrina perfectamente estructurado, coherente y con gran claridad expositiva, como fueron todos sus textos.

Por la belleza de su lenguaje no me resisto a transcribir sus primeras palabras.

> *"Examinemos un corte esquemático del globo terrestre. En el centro, un núcleo rígido y pesado de compuestos de níquel y hierro. Sobre él, una capa oscura y plástica de silicatos pesados. Sobre éste profundo océano de piedra, unas escorias de silicatos ligeros forman una corteza, interrumpida por depresiones y grietas ocupadas por el agua de los mares. Cubriendo todo, la atmósfera.*
> *Pero observando este globo con más detalle, podríamos percibir un ligero hálito que empaña esa corteza como la pátina que matiza un sillar antiguo, y que como ella, proviene de la descomposición de la roca y de los residuos de la actividad de los seres vivos que en él se asientan; esta delgada película es el suelo"*.

Este libro se reeditó en 1954. En aquellos años la Mecánica del Suelo y en particular las teorías y la experimentación de la resistencia de los suelos avanzaba con mucha rapidez. Los trabajos del grupo del Imperial Collage de Londres, a la cabeza, obligaban a modificar profundamente los capítulos sobre la resistencia de los suelos. Jiménez Salas pensaría que tendría que modificar mucho el texto para ponerlo al día y no lo volvió a reeditar. En cambio decidió hacer más adelante un libro nuevo. El resultado de este cambio de pensamiento fue la magna obra "*Geotecnia y Cimientos*" en tres tomos editada entre 1971 y 1982, con la ayuda de algunos colaboradores. Con sus virtudes y también con sus defectos este texto sigue vigente.

José Antonio Jiménez Salas fue presidente de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo entre 1971 y 1990. Sucedió a José Luis Escario. También fue el 1er Presidente de la Sociedad Española de Mecánica y de Rocas, y de la Asociación Española de Ingeniería Geológica.

A instancias suyas, visitó España en 1958 Karl Terzaghi, el *"Fundador"*. Dio una conferencia en el Instituto de la Construcción y el Cemento, hoy "Instituto Eduardo Torroja", sobre la cimentación de la presa de Assuam. Para aquellos primeros alumnos de José Antonio Jiménez Salas que asistimos a la conferencia, el acto fue casi una ceremonia litúrgica sagrada.

Pero el fruto más importante de José Antonio Jiménez Salas son sus discípulos que con mayor o menor fortuna han tratado de seguir sus pasos.

4.3. VENTURA ESCARIO UBARRI (1926)

Terminó la carrera de Ingeniero de Caminos en 1950. Amplió estudios de Mecánica del Suelo en la Universidad de Harvard, donde estudió con A. Casagrande. Posiblemente allí coincidiría con K. Terzaghi, ya que éste se jubiló como profesor de Harvard en 1953.

A su vuelta a España entró a trabajar en el Laboratorio de Transporte y Mecánica del Suelo, en la sección de Mecánica del Suelo, cuyo jefe era J. A. Jiménez Salas. Ventura Escario permaneció en el Laboratorio de Transporte hasta su jubilación.

Ventura Escario ha sido un gran experimentalista. En 1961, en colaboración con S. Uriel, estableció técnicas experimentales para medir las deformaciones laterales de las probetas, y para determinar el coeficiente de consolidación radial y la permeabilidad radial en ensayos triaxiales.

A finales de los años 60, construyó aparatos para medir la succión de suelos semisaturados, y para hacer ensayos de corte bajo succión. En la realización de estos aparatos fue importante la colaboración del físico Jesús Sáez.

Los aparatos de succión controlada de Ventura Escario así como sus investigaciones sobre suelos semisaturados, en particular, sus ideas sobre la resistencia al corte de estos suelos y sus conceptos sobre las componentes de la presión le han dado fama y prestigió internacional.

El gran tema de investigación de V. Escario ha sido los suelos semisaturados y como colofón a ellos, los suelos compactados, terraplenes y pedraplenes.

En 1951 empieza la colaboración con su padre, José Luis Escario en el tratado de "Caminos", colaboración que continuó en todos las siguientes ediciones.

- 1961a. "*Optical Methods of measuring the cross section of samples in the triaxial test*" en colaboración con S. Uriel. Int. Conf. de Mecánica del Suelo. París.
- 1961b. "*Determining the coefficient of consolidation and horizontal permeability by radial drainage*". En colaboración con S. Uriel. Int. Conf. de Mecánica del Suelo. París.

Estos artículos publicados tienen interés para la técnica experimental. (Figura 6).

En el segundo de ellos, el único que se comenta a continuación, plantean la ecuación de la consolidación radial:

$$\varepsilon = -\frac{K}{(1+2\lambda)\,\gamma_w}\cdot\left[\frac{\partial^2 u}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial u}{\partial r}\right]$$

ε Deformación radial.
K Permeabilidad radial.
γ_w Peso específico del agua.
λ Relación entre deformación horizontal y vertical.
E_d Módulo edométrico.

Si se toma, como en el caso de la consolidación vertical:

$$C_v = \frac{K\,E_d}{\gamma_w} \qquad T_{ht} = \frac{C_v}{R^2}\,t$$

Se llega, después de integrar la ecuación diferencial, con las ecuaciones de contorno a:

$$\log\left(1-\frac{V_t}{V}\right) = \frac{8\,C_v}{(1+2\lambda)\,R^2}\cdot t$$

Donde:
V_t Es el volumen drenado en el tiempo t.
V Volumen drenado referido al 100% de la consolidación primaria. (Figura 7).

El ángulo de la figura 7 permite obtener C_v. Se puede obtener el grado de consolidación a través del agua expulsada o mediante la medida de las deformaciones longitudinal y transversal de la probeta. La deformación transversal se determina según el primer artículo.

$$\text{tg}\,\alpha = -\frac{8\,C_v}{(1+2\lambda)\,R^2}$$

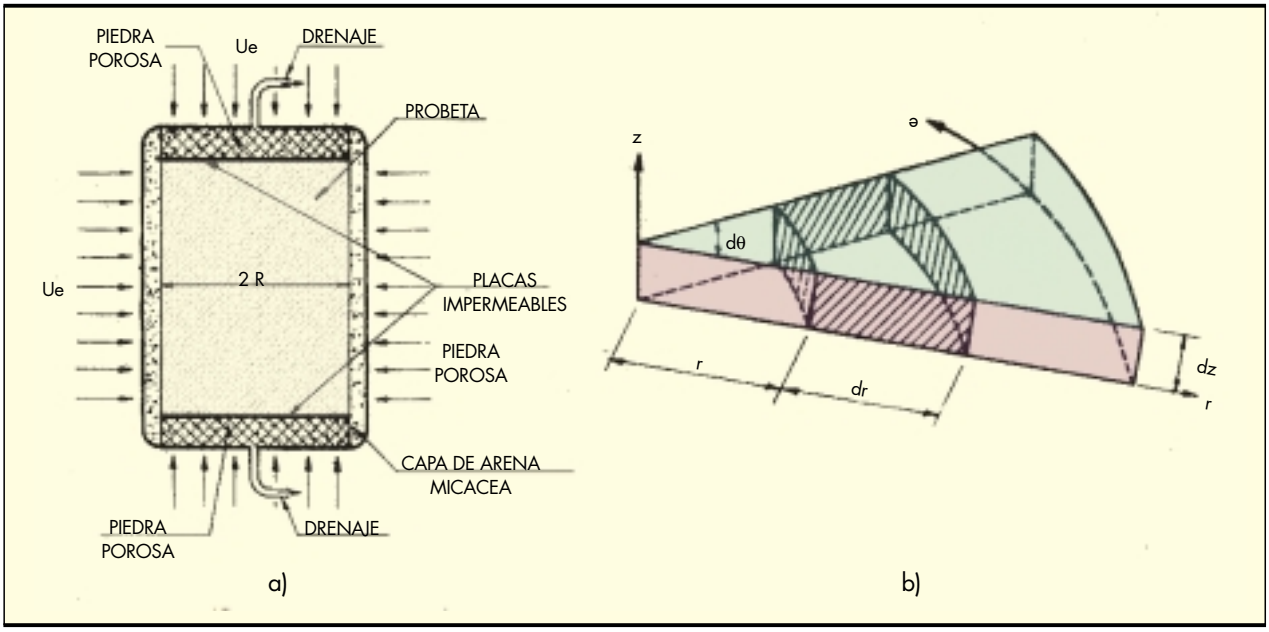


FIGURA 6. (a) Esquema de la disposición del ensayo de consolidación en el aparato triaxial, con drenaje hacia la superficie cilíndrica. (b) Elemento cilíndrico de la probeta.

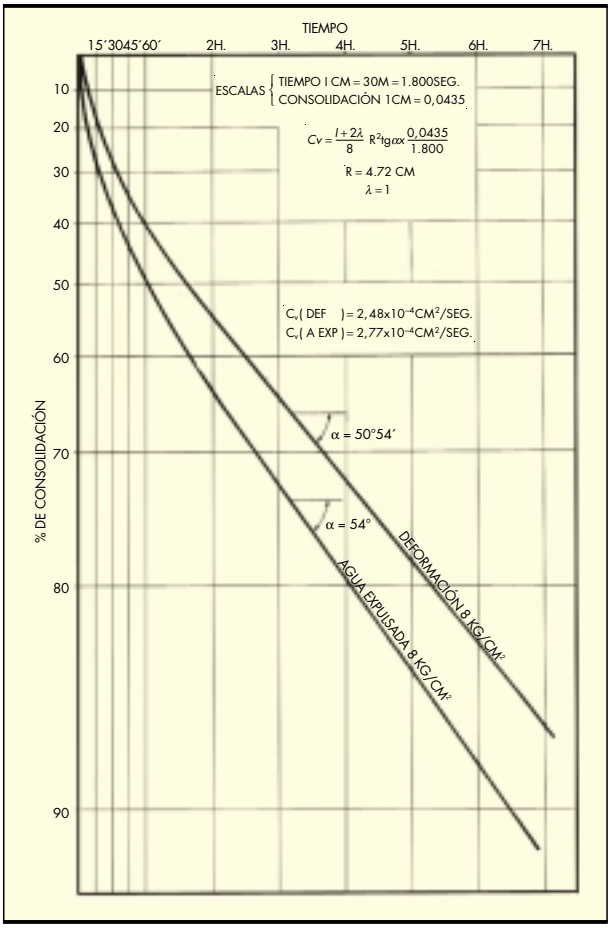


FIGURA 7. Diagramas típicos de consolidación ajustados: curva superior, deformaciones de la probeta; curva inferior, volumen de agua expulsada por la probeta.

- 1965 *"Instability induced in some slopes by adjacent compressible fills"*. 6ª Conf. Int. de Mecánica del Suelo. Montreal.

Ventura Escario presenta aquí un caso muy frecuente: Se construye un terraplén adosado a otro que ya existía anteriormente. El nuevo terraplén asienta y con el asiento arrastra y produce la inestabilidad del ya existente a través de una grieta longitudinal.

Las publicaciones más importantes de Ventura Escario son posteriores a 1965. No se puede dejar de citar el libro "*Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos*", publicado en 1969 con colaboración de J.L. Justo Alpañés.

Ventura Escario fue presidente de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo y Cimentaciones entre los años 1990 y 1994 sucediendo a J.A. Jiménez.

4.4. LUÍS FERNÁNDEZ RENAU (1928-2006)

Luis Fernández Renau terminó la carrera de Ingeniero de Caminos en 1953. Amplió estudios en EEUU en la Universidad de Iowa donde obtuvo el título de Master of Sciences.

A su vuelta a España entró a trabajar en la empresa "Cimentaciones Especiales S.A.(Procedimientos Rodio)", donde llegó a ser Director Gerente. Continúo en "Cimentaciones Especiales" hasta 1986, cuando se incorporó al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, donde se jubiló.

Fernández Renau fue un magnífico exponente del altísimo nivel técnico de muchos de los profesionales de la industria de la construcción en el campo de la Geotecnia que, aun estando fuera del mundo académico, se mantienen al tanto de todas innovaciones técnicas y son capaces de nuevos desarrollos y mejoras de los procedimientos constructivos y de los métodos de ensayo. Él y otros profesionales de los albores de la Geotecnia, cuyo nombre, por desgracia, no ha trascendido de sus empresas, pusieron las bases sobre las que se ha elevado en la actualidad la técnica española a las más altas cotas mundiales Las realizaciones dentro y fuera de España dan prueba de ello.

L. Fernández Renau publicó muchos artículos en su mayoría relacionados con el empleo de lodos tixotrópicos, con los ensayos de penetración y con los grandes ensayos y pruebas de carga de pilotes in situ.

Entre sus publicaciones de esta época se pueden citar las siguientes:

1957. – "La Mecánica del Suelo y la edificación". Revista de Obras Públicas.

1965. – "Discusión sobre ensayos de extracción de pilotes in situ en S. Adrián de Besos". 6º. Congreso Internacional de Mecánica del Suelo y Cimentaciones. Montreal.

1965. – "Empleo de lodos tixotrópicos en Obras Públicas". Revista de Obras Públicas.

1966. – "Cimientos profundas en el Congreso de Montreal".Publicación de la Sociedad Española de Mecánica del Suelo.

1966. – "Discusión sobre ensayos de penetración estática (Cono holandés)". Journal Soil Mechanic and Foundations. ASCE.

1969. – "Discusión sobre ensayos de permeabilidad en rocas". 7º. Congreso de Mecánica del Suelo y Cimentaciones. Méjico.

4.5. EL NACIMIENTO DE LA MECÁNICA DE ROCAS

Tras la segunda guerra mundial (1939-1945) Europa estaba en ruinas y había que reconstruirla. Se pusieron en marcha grandes planes de obras públicas: autopistas, presas, etc. obras todas con fuertes movimientos de tierras, que ya no sólo arañaban la pátina del viejo sillar sino que penetraban en su interior.

En Austria, país alpino y rocoso se había formado, ya incluso antes de la guerra, un grupo, principalmente de geólogos, liderado por Joseph Stini, profesor desde 1920 de la Escuela Técnica Superior, quién consideraba que las rocas y los suelos eran materiales muy distintos. Las rocas se caracterizaban, según Stini, fundamentalmente por sus discontinuidades. El macizo rocoso es un ente formado por sustancia rocosa y por discontinuidades y su comportamiento global es diferente del de cada una de sus componentes. Las rocas por lo tanto requieren un tratamiento teórico y experimental distinto del de los suelos. En los años 50 dirigía este grupo, ya con el nombre de "Círculo de Salzburgo¨, Leopold Müller, quien organizaba regularmente pequeños Simposios en Salzburgo.

En Francia M. Talobre, en 1957, publicó un libro que se haría famoso y daría nombre a la nueva tendencia "*La Mechanique des Roches*", al que siguió de cerca, Müller con el suyo "*Felsbaum Mechanik*", con un pequeño defecto, estaba en alemán.

En 1962 la Mecánica de Rocas, bajo la insistencia del Círculo de Salzburgo, comandado por Stini y Müller, se desvincula de la Sociedad Internacional de Mecánica del Suelo y

Cimentaciones, con la oposición de Terzaghi que moriría al año siguiente. Fundan la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas con L. Müller como primer presidente.

En 1966 se celebra en Lisboa el primer Congreso de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, en el que se elige al ingeniero portugués, Manuel Rocha, director del LNEC, segundo presidente.

En España se sigue un camino paralelo. En 1957 se crea el Centro de Estudios Hidrográficos, adscrito al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, en sustitución del viejo Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos, para el que se construye un gran edificio a orillas del Manzanares y se le equipa con magníficas instalaciones y naves de ensayo.

En este Centro se hacen los estudios experimentales de las obras hidráulicas, en particular de las grandes presas, que por aquella época eran piezas fundamentales para el desarrollo de las infraestructuras del país. Los movimientos ecologistas no habían nacido todavía.

Naturalmente, las cimentaciones forman parte de las presas y las grandes presas de hormigón, que entonces estaban de moda, se apoyan en el sustrato rocoso. Así pues, en el Centro de Estudios Hidrográficos se forma a principios de los años 60 un grupo de investigación de Mecánica de Rocas. El grupo estaba liderado por Alejandro del Campo, un prestigioso Ingeniero de Caminos, gran proyectista de presas.

Formaban parte de este grupo Mariano Fernández Bollo, creo recordar, y algunos jóvenes ingenieros entonces y que después han llegado a ser grandes geotécnicos de todos conocidos: Fernando Muzás, José María Sanz Saracho, recientemente fallecido, que fue presidente de la Sociedad Española de Mecánica de Rocas y otros.

Impulsada por el grupo del Centro de Estudios Hidrográficos, hacia 1964 se funda la Sociedad Española de Mecánica de Rocas. José Antonio Jiménez Salas fue el primer presidente y Alejandro del Campo, vicepresidente.

4.6. SANTIAGO URIEL ROMERO (1930-2012)

Santiago Uriel hizo primero la carrera de "Ayudante de Obras Públicas". Al terminar trabajó por un tiempo en la construcción de la presa de García Sola en Extremadura. Reanudó los estudios y con sólo un año de preparación ingresó en la Escuela de Caminos.

Terminó en 1959. Esta promoción fue la última que tuvo clase con D. José Entrecanales. Con ella terminó también una época de la Escuela de Caminos y de la Geotecnia en España.

La promoción de 1959 fue muy especial. Por un azar singular coincidieron en ella algunos alumnos que luego han jugado papeles muy importantes en la Ingeniería Civil en España y fuera de España. Pero en esta oportunidad sólo nos fijaremos en dos de ellos: José Manuel Roesset y Santiago Uriel. Los dos se dedicaron a la Geotecnia. Sus caminos divergieron, pero los dos han llegado muy alto en sus respectivas especialidades.

J. M. Roesset al terminar su carrera se marchó a EEUU y ya no volvió. Durante muchos años ha sido profesor de varias universidades americanas. Hoy en día es una autoridad mundial en el campo de la Dinámica de Suelos. S. Uriel se quedó en España, entró en el Laboratorio del Transporte y en la Escuela de Caminos y llegó a ser una gran figura internacional en Mecánica de las Rocas.

Santiago Uriel permaneció en el Laboratorio de Transporte y Mecánica del Suelo desde 1959 hasta 1988, año en el que decidió seguir en la Escuela de Caminos solamente.

Santiago Uriel fue un gran profesor. Reunía las siete cualidades que en mi opinión debe tener un profesor y que ya cité anteriormente. Muchos catedráticos actuales de Geotecnia, algunos ya jubilados, de España y Latinoamérica han sido discípulos suyos. Se jubiló en 2001, después de dedicar prácticamente toda su vida a la enseñanza. Incluso después de jubilado continuó dando clases en Doctorado y en el Master del CEDEX.

Durante algunos años colaboró con la empresa de consultoría de José Torán, dedicada al proyecto de grandes presas. La experiencia adquirida junto a Torán, un visionario de las obras hidráulicas, y sobre todo en el Laboratorio del Transporte, donde desde casi su llegada, con el apoyo de J. A. Jiménez Salas, tuvo que estudiar y resolver problemas de cimentaciones de muchas de las grandes presas que por entonces se construían: Iznajar, Mequinenza, Canelles, etc. le proporcionaron una compresión profunda de la Mecánica de las Rocas, de la discontinuidad esencial de éstas, de la importancia de la escala, de la modelización de fenómenos y sus posibles enfoques y finalmente de las técnicas para ensayar y aprehender los parámetros que los rigen.

Son innumerables las investigaciones realizadas y artículos publicados, por Santiago Uriel a lo largo de su vida. En este texto nos limitaremos a sólo los publicados hasta 1965, que son una ínfima parte de su obra total:

- 1961 Publica en colaboración con Ventura Escario, en el Congreso de París de Mecánica del Suelo, dos artículos de técnica experimental de laboratorio, ya comentados.
- 1964 "*Some recents Rock Mechanics testing in Spain*", en colaboración con J.A. Jiménez Salas. Congreso Internacional de Grandes Presas de Edimburgo.

Asombra que en una fecha tan temprana para la Mecánica de las Rocas, como era el año 1964, cuando acababa de fundarse la Sociedad Española de Mecánica de Rocas, y todavía la Sociedad Internacional no habría celebrado su primer Congreso, se publicase un artículo tan completo, tan profundo y tan detallado sobre técnicas de ensayos in situ, hechos en las galerías de reconocimiento de las cimentaciones de presas españolas. Prácticamente se abordan en este artículo, todos los aspectos del comportamiento físico de las rocas.

En las Figuras 8A y 8B, muestran los montajes empleados para los ensayos de deformabilidad y de resistencia al corte in situ de roca matriz y discontinuidades realizadas en las presas de Iznajar, Grado y Mequinenza.

S. Uriel y J.A. Jiménez Salas dieron especial importancia en los ensayos de resistencia al corte a los movimientos transversales de la probeta, determinantes de la dilatancia, antes y durante la rotura de la probeta. Ellos fueron los primeros en resaltar la importancia de la dilatancia. En la Figura 8C se presentan gráficas de movimientos de levantamiento versus tensiones tangenciales.

La dilatancia, como se decía anteriormente, es un concepto fundamental, tanto en la Mecánica de las Rocas, como en la de los Suelos. Es interesante comentar que en 1966 Jiménez Salas, en el Congreso Internacional de Mecánica de Rocas de Lisboa, leyó una discusión en la que resaltaba la importancia de la dilatancia. Indicaba cómo controlando los cambios de volumen en un macizo rocoso, si se sabía actuar en las zonas clave, se podían conseguir efectos estabilizadores muy notables con la aplicación de fuerzas moderadas.

En la Figura 8D se muestra el montaje que idearon para realizar ensayos de compresión simple in situ, cuando era imposible extraer probetas sin que se rompiesen, para su posterior ensayo en laboratorio.

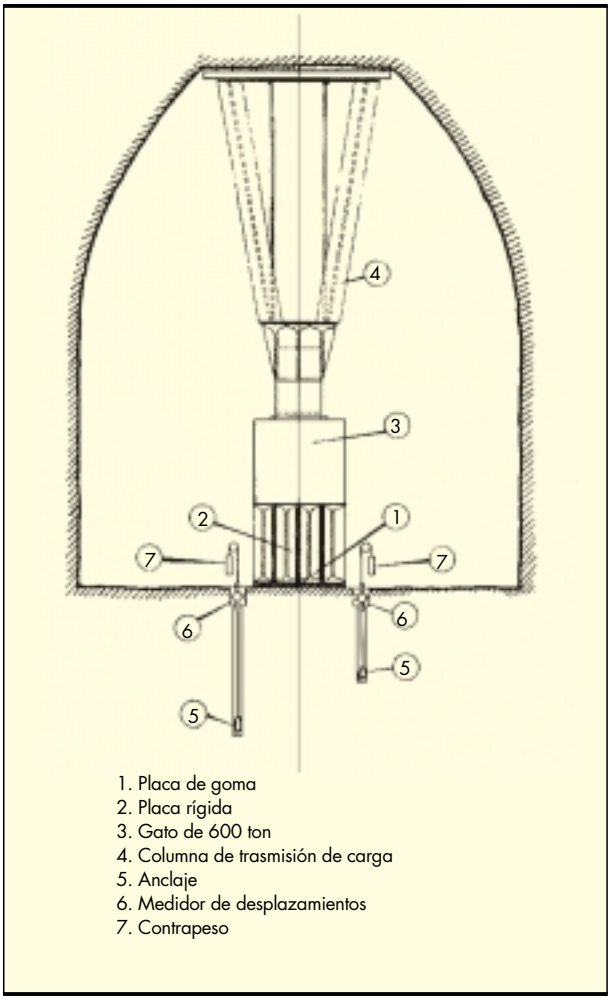


FIGURA 8A. Ensayo de placa de carga.

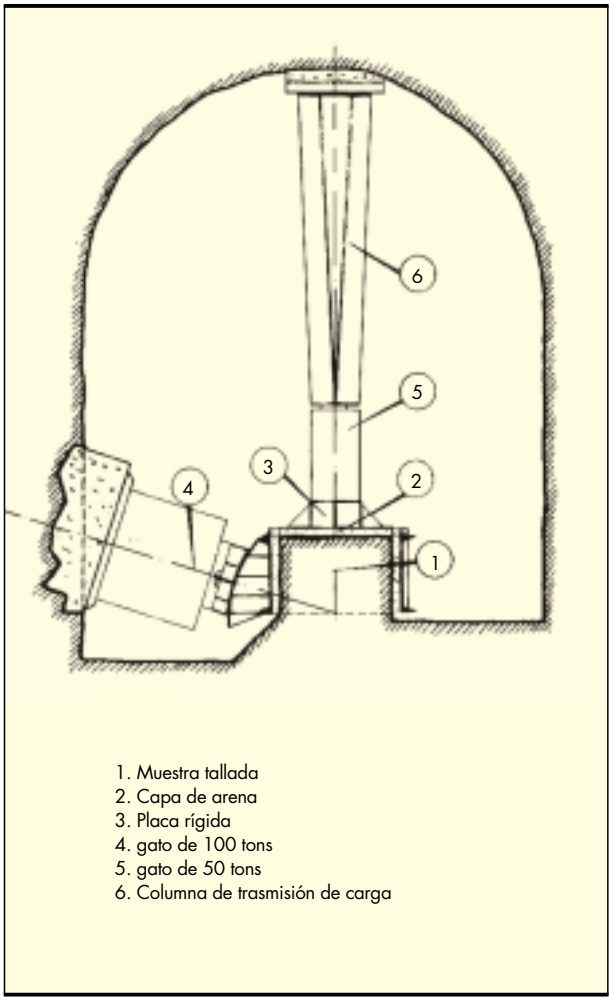


FIGURA 8B. Ensayo de corte directo *in situ*.

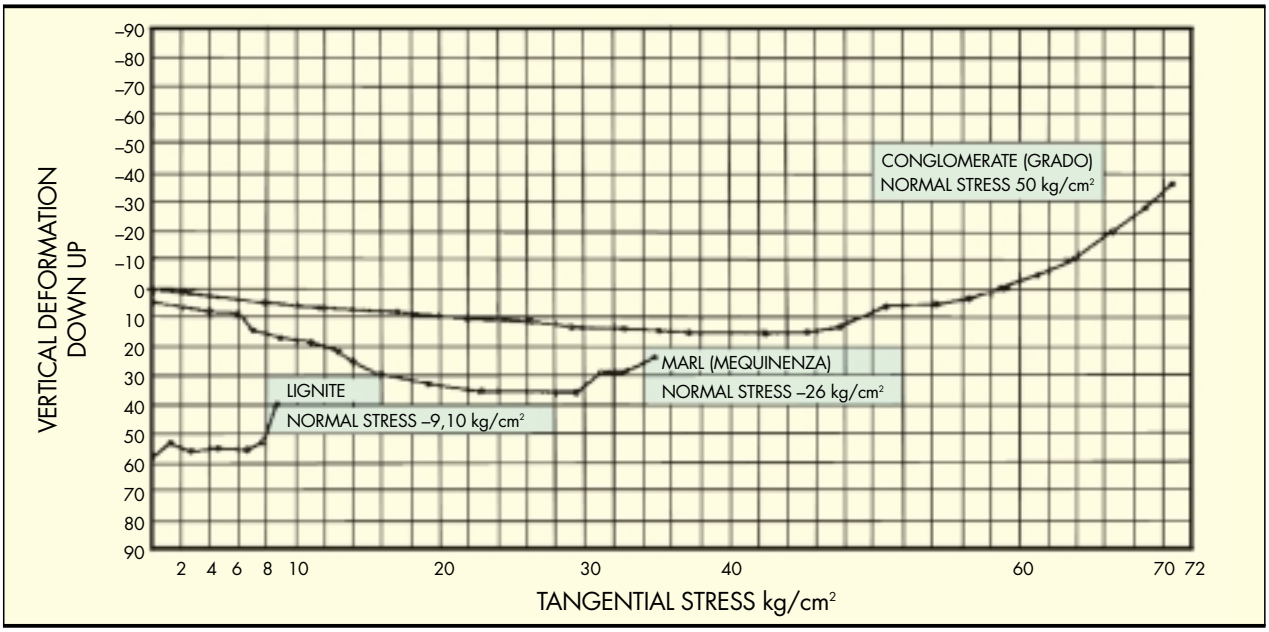


FIGURA 8C. Ensayo de corte directo. Desplacementos verticales.

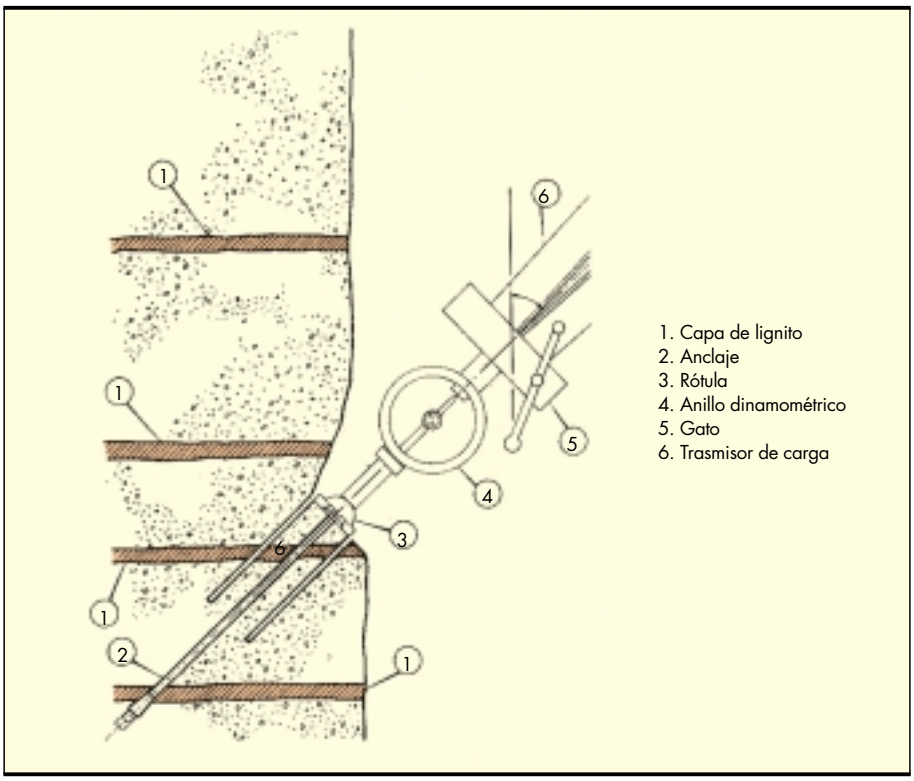


FIGURA 8D. Ensayo de compression simple *"in situ"*.

En este caso, ensayada in situ la resistencia al corte tenía anisotropía transversal. Los planos horizontales de la roca tenían una resistencia notoriamente menor, que en el resto de orientaciones. En la Figura 8E se representa el diagrama de Mohr-Coulomb, con las dos leyes de resistencia al corte: la de la resistencia isótropa para todos los planos que no sean el de anisotropía, y la de la resistencia de los planos de anisotropía.

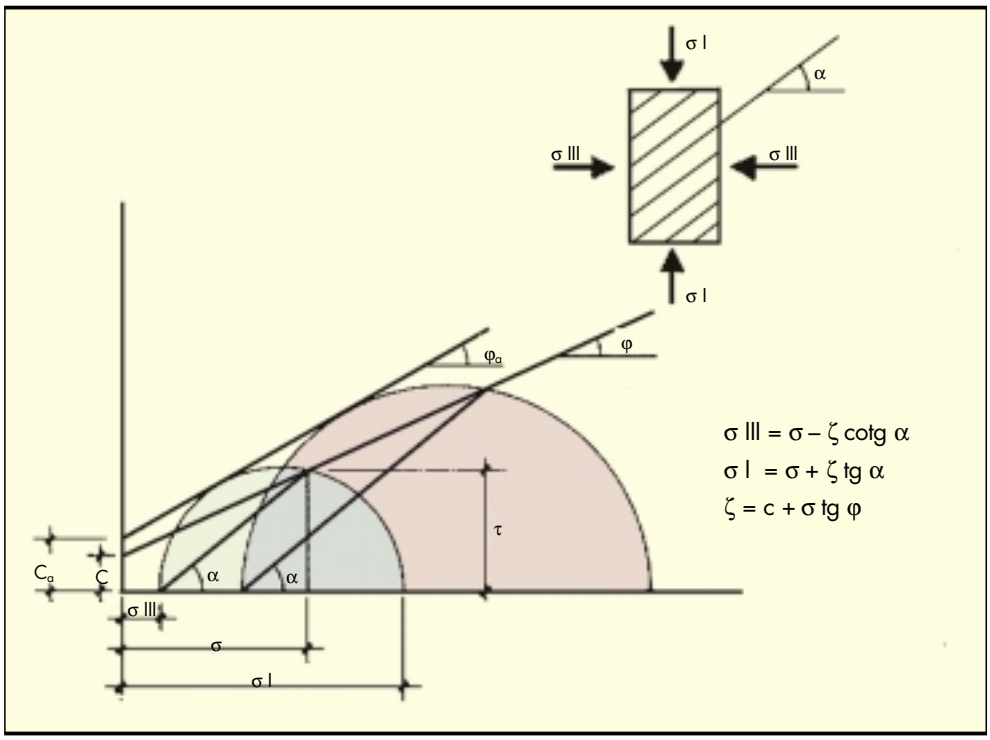


FIGURA 8E. Diagrama de Mohr diagram de rocas fracturadas.

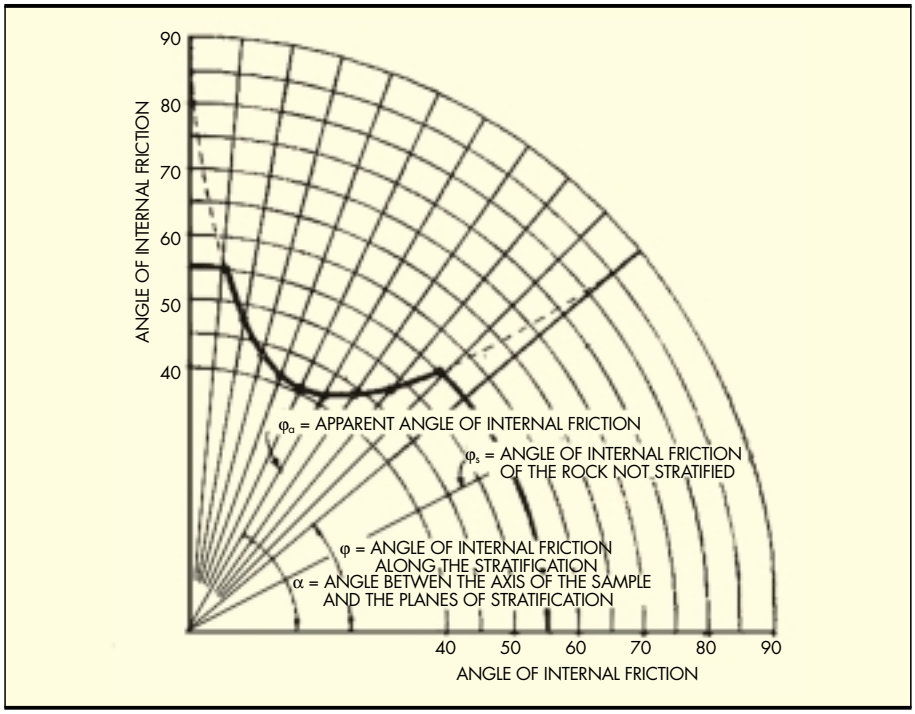


FIGURA 8F. Variación de las propiedades de la roca con la dirección de la carga.

En la Figura 8F presentan un diagrama polar de los resultados de los ensayos de compresión simple in situ, que se obtiene al variar la inclinación de la carga del gato respecto a los planos de anisotropía. Se ve la "mordida" a la resistencia isótropa debida a la debilidad de los planos de anisotropía. Creo que fue la primera vez en que se presentó este tipo de diagramas en la literatura. No he visto antecedentes.

En la Figura 8G se muestra el sofisticado montaje que S. Uriel y J.A. Jiménez Salas emplearon para determinar cómo variaba la permeabilidad de la roca en función de la presión.

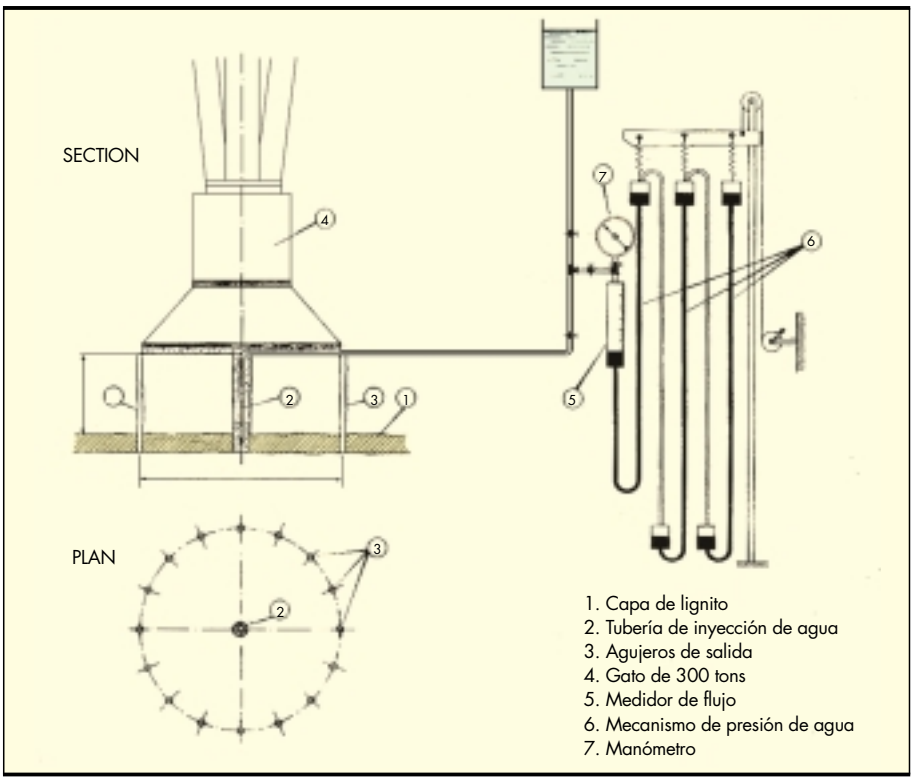


FIGURA 8G. Ensayo de permeabilidad radial.

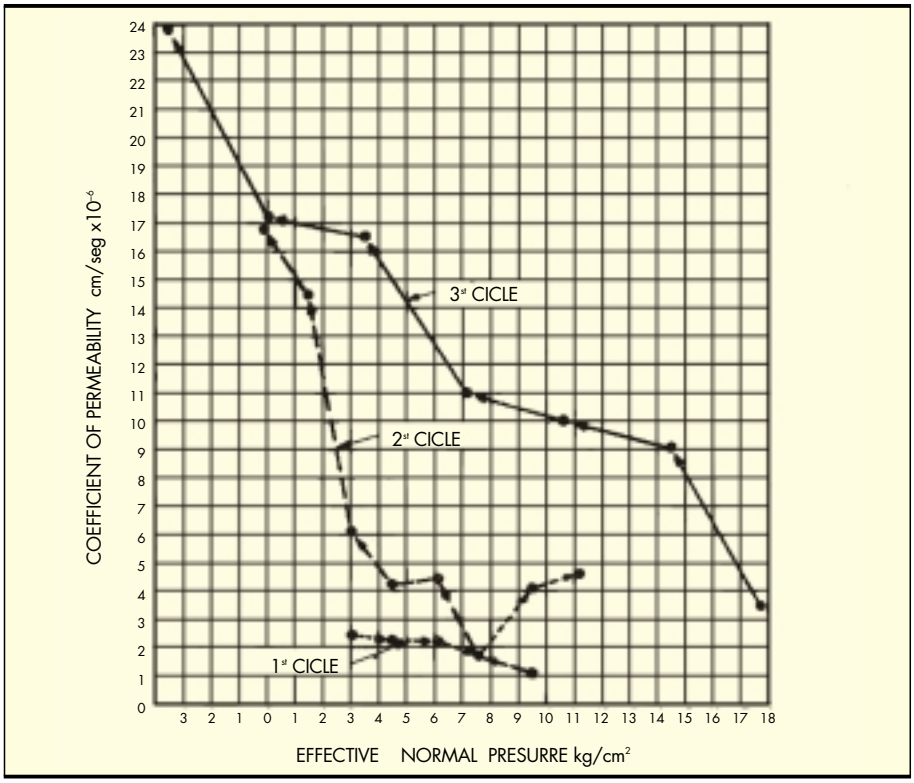


FIGURA 8H. Variación de la permeabilidad con la presión efectiva.

Y en la Figura 8H se presentan los resultados obtenidos, donde la permeabilidad disminuye notablemente al aumentar la presión, como era de esperar. Además se comprueba el efecto acumulado de los distintos ciclos de carga.

Finalmente, como colofón a este impresionante artículo muestran en la Figura 8I el montaje del gran ensayo de corte directo in situ de una probeta de 4 × 4 m en los lignitos de Mequinenza. Se emplearon gatos planos para dar los colosales empujes necesarios. Para superar las limitaciones de recorrido de los gatos planos se montaron baterías de gatos en serie.

En la Figura 8J se muestra el resultado del gran ensayo de 4 × 4 m, junto con todos los otros realizados con probetas de 0,5 × 0,5 m. El resultado podría parecer un poco decepcionante: la resistencia encontrada en la probeta gigante era la misma que la de las probetas pequeñas. Este ensayo fue record mundial en su momento.

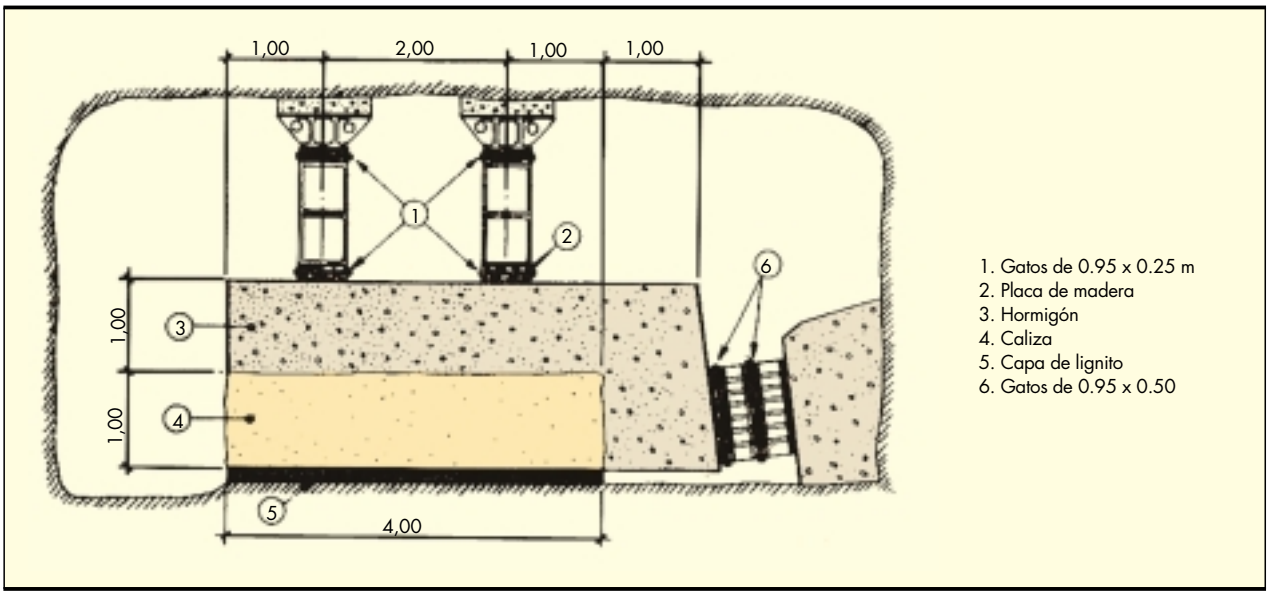


FIGURA 8I. Ensayo de corte directo *in situ* de una muestra de 16 m² de lignito.

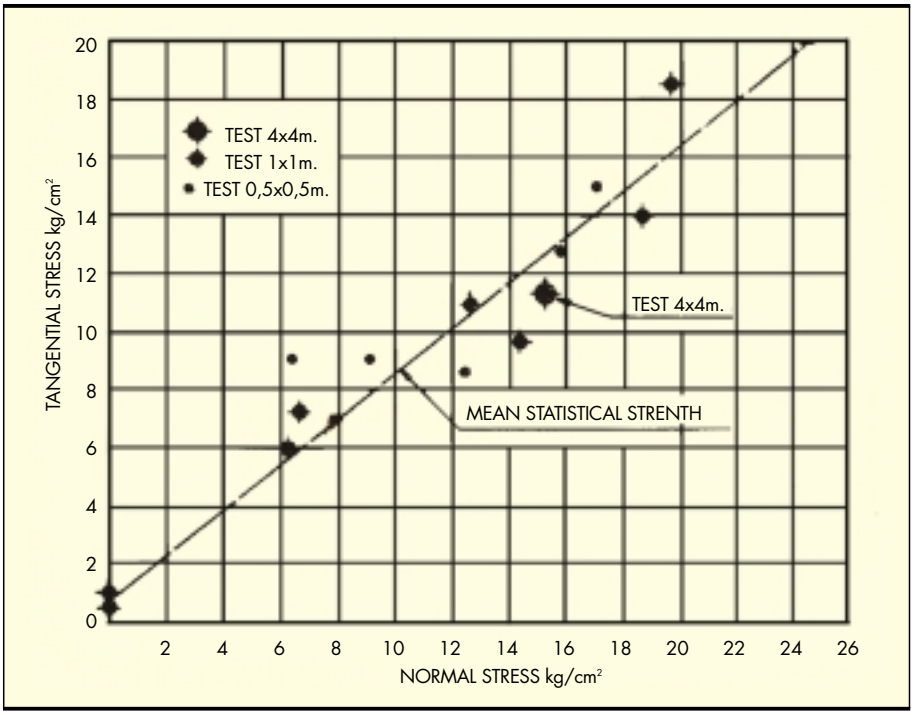


FIGURA 8J. Resultados de los ensayos de corte directo *"in situ"*.

- 1966 "In-situ direct shear test with saturation on the rock and interpretation of the great shear test in the nature".1er Congreso Mundial de Mecánica de Rocas. Lisboa.

En algunos tipos de roca, como es el caso de las margas, por ejemplo, el comportamiento mecánico es muy diferente entre los estados seco y saturado. S. Uriel, con este montaje (Figura 9) encontró cómo saturar las probetas. Mantenía el

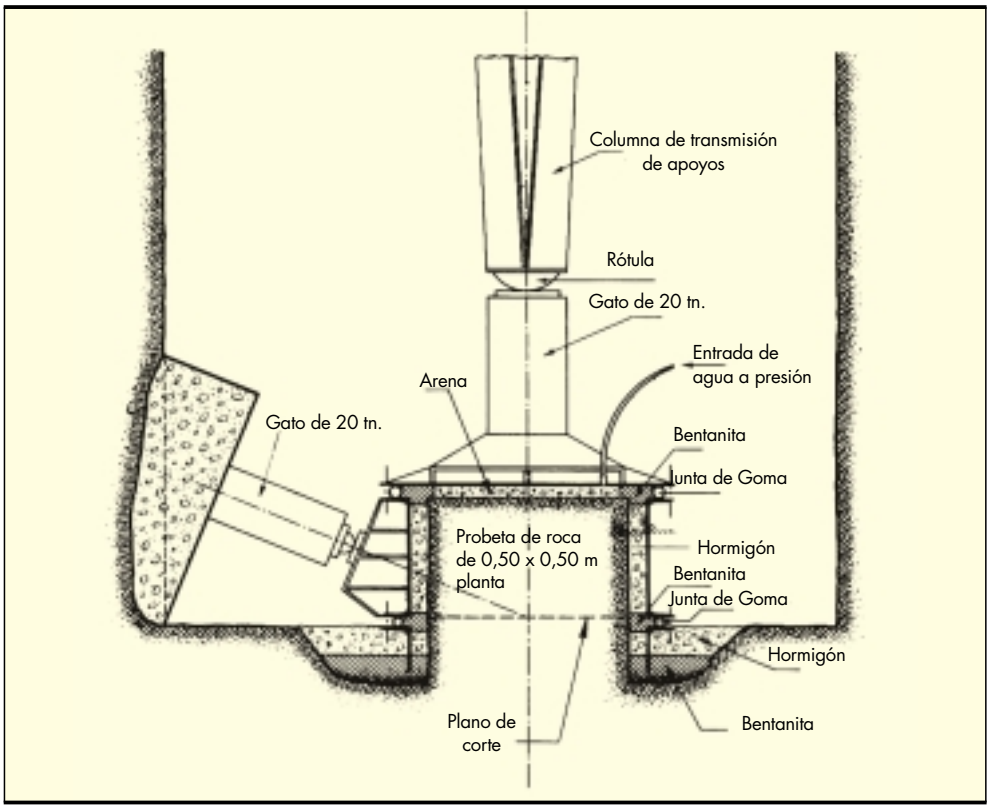


FIGURA 9. Dispositivo para el ensayo in situ de roca al esfuerzo cortante, con saturación previa. Laboratorio José Luis Escario.

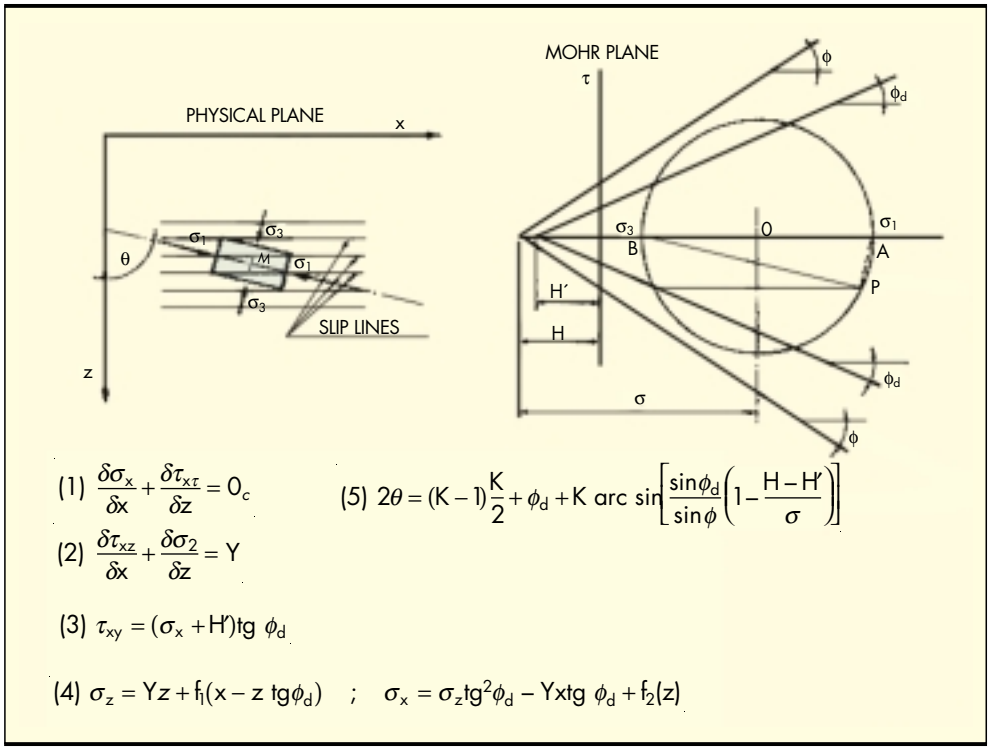


FIGURA 10. Condiciones de equilibrio plástico en un suelo diaclasado.

aporte de agua a presión durante varias semanas. La rotura buscada, en este caso, era a través de la propia roca, no a lo largo de las discontinuidades.

Otro tema en el que Santiago Uriel estaba muy interesado e investigaba a principios de los años 60 era el de la plastificación de las masas de suelo y en el que consiguió muy notables resultados.

V. Sokolovskii en 1957, en el Congreso de Londres de Mecánica del Suelo dio una conferencia que revolucionó al mundo de la Mecánica del Suelo. Muy pronto en 1960, salió la edición inglesa "*Statics of soil media*", traducción de su libro en ruso. El traductor era Schofield, que más tarde se haría famoso por sus trabajos con Roscoe y Wroth sobre el estado crítico.

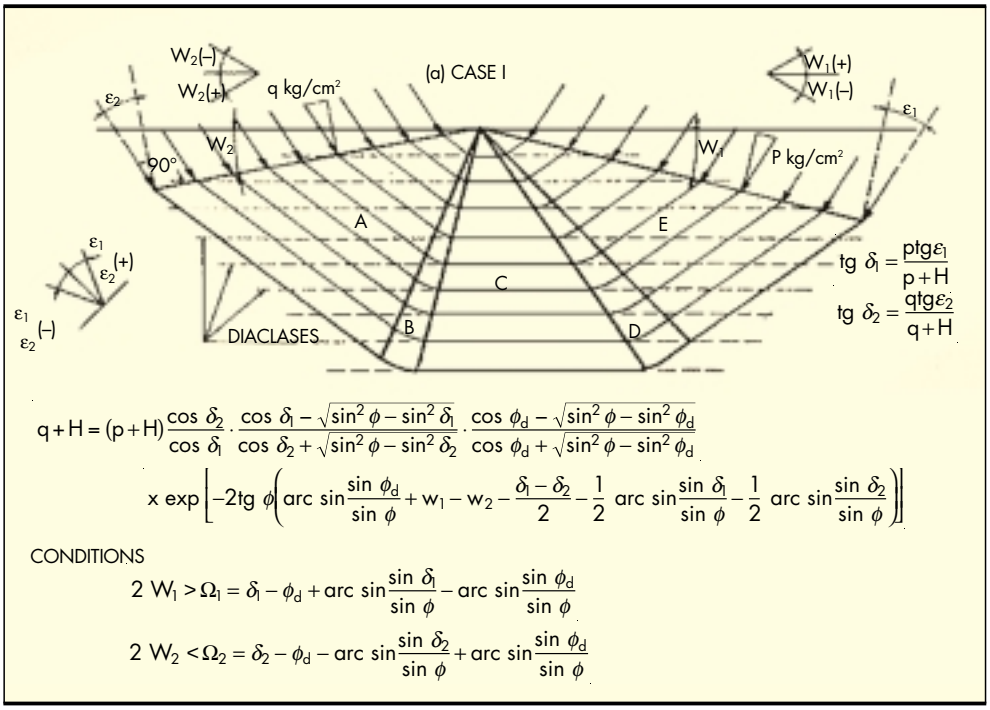
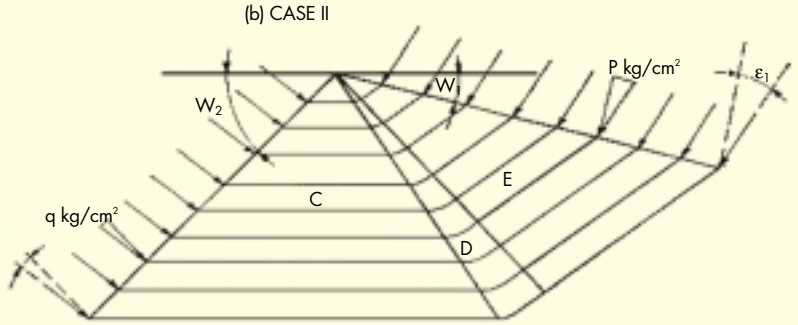


FIGURA 11A. Regiones de fallo en un suelo isotrópico y ortoplástico. Caso I.

(b) CASE II



$$q+H=(p+H)\frac{\cos\delta_2}{\cos\delta_1}\cdot\frac{1}{\cos\delta_2+\sqrt{\sin^2\phi-\sin^2\delta_2}}\cdot\frac{\sin(w_1+\phi_d-\delta_1)}{\sin w_1}\cdot\frac{\cos^2\phi}{\cos\phi_d+\sqrt{s\,n^2\phi-\sin^2\phi_d}}\cdot\frac{\sin\phi_d}{\sin\phi}\,x$$

$$x\ \exp\left[tg\ \phi\left(\phi_d-\text{arc s n}\frac{\sin\phi_d}{\sin\phi}-\delta_2+\text{arc sin}\frac{\sin\delta_2}{\sin\phi}+2\,w_2\right)\right]$$

CONDITIONS

$2\,W_1 < \Omega_1$

$2\,W_2 < \Omega_2$

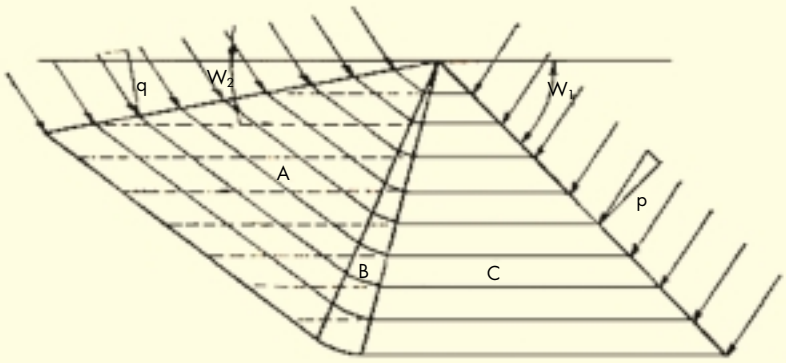
FIGURA 11B. Regiones de fallo en un suelo isotrópico y ortoplástico. Caso II.

Jiménez Salas había asistido a la conferencia que Sokolovskii había dado en Londres. Apenas apareció el libro *"Statics of soil media"* se lo proporcionó a Santiago Uriel. Santiago lo estudió ávidamente. Fruto de este estudio es una contribución magnífica que Jiménez Salas presentó en el 6º Congreso Internacional de Mecánica y Cimentaciones celebrado en 1965 en Montreal, en el panel de la sección 4-3 *Shallow Foundations and Pavements* en la que era panelista, y de la cual ya se ha hablado.

Santiago Uriel estudió aquí la plastificación de una cuña cuya resistencia al esfuerzo cortante tiene anisotropía transversal.

La resistencia con anisotropía transversal, es del mismo tipo que la ya comentada en el artículo del Congreso de Grandes Presas de Edimburgo.

(c) CASE III



$$q+H=(p+H)\frac{\cos\delta_2}{\cos\delta_1}\cdot\frac{\cos\phi_d-\sqrt{\sin^2\phi-\sin^2\phi_d}}{\cos^2\phi}\cdot\frac{\sin w_2}{\sin(w_2+\phi_d-\delta_2)}$$

$$\left(\cos\delta_1-\sqrt{\sin^2\phi-\sin^2\delta_1}\right)x$$

$$x\ \exp\left[tg\ \phi\left(-\phi_d-\text{arc sin}\frac{\sin\phi_d}{\sin\phi}+\delta_1+\text{arc sin}\frac{\sin\delta_1}{\sin\phi}+2\,w_1\right)\right]$$

CONDITIONS

$2\,W_1 > \Omega_1$

$2\,W_2 > \Omega_2$

FIGURA 11C. Regiones de fallo en un suelo isotrópico y ortoplástico. Caso III.

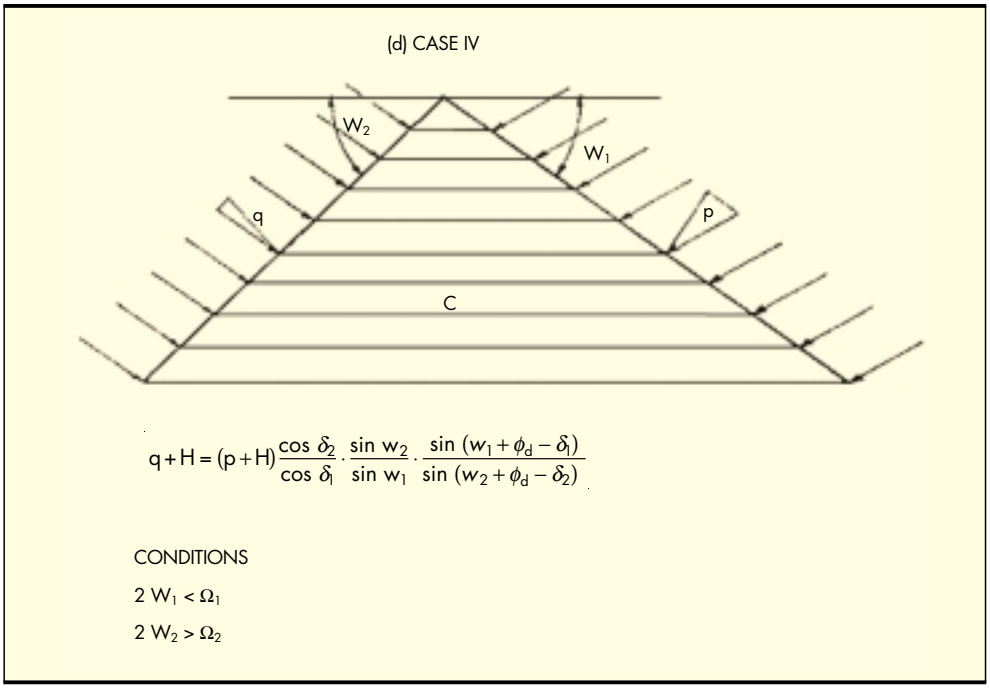


FIGURA 11D. Regiones de fallo en un suelo isotrópico y ortoplástico. Caso IV.

Santiago Uriel analiza el caso simplificado de una cuña sin peso y con las resistencias a tracción isótropa y del plano de anisotropía iguales. Obtiene las formas de rotura de las Figuras 11. En la Figura 11A muestra la forma de rotura más completa. A lo largo de la línea de se van produciendo: la rotura isótropa tipo Rankine y tipo Prantdl, luego por plano de anisotropía y finalmente otra vez rotura isótropa tipo Prantdl y tipo Rankine. Según sea la posición de la cuña respecto a los planos de anisotropía y la inclinación de las cargas exteriores puede desaparecer alguna de las zonas de rotura Figura 11B, Figura 11C. y Figura 11D.

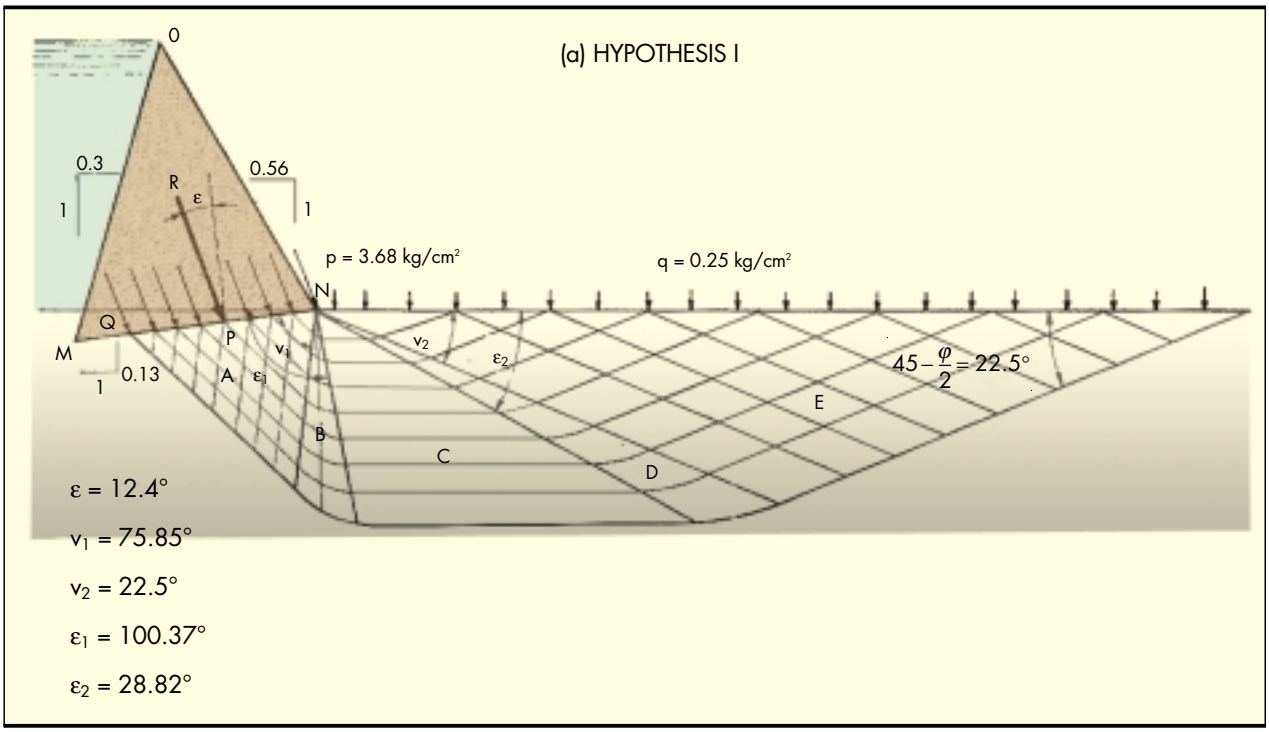


FIGURA 12. Diferentes tipos de fallo en la cimentación de una presa. Hipótesis I.

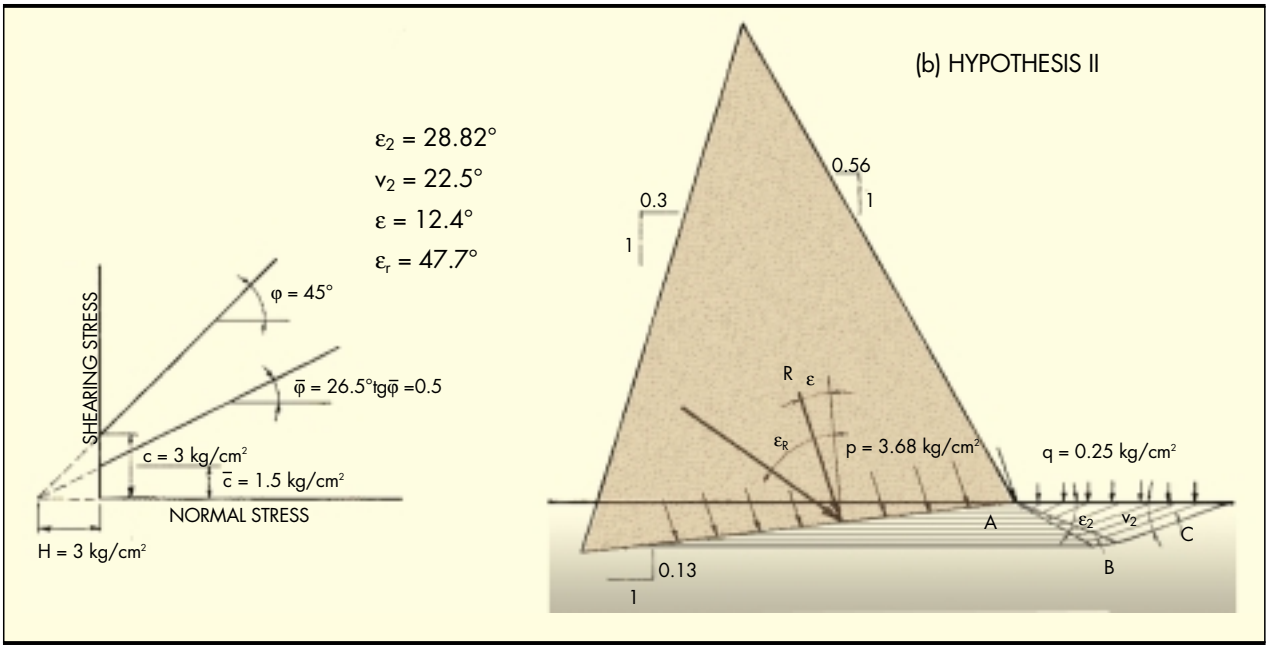


FIGURA 12B. Diferentes tipos de fallo en la cimentación de una presa. Hipótesis II.

Finalmente, aplicó esta teoría al estudio de una pequeña presa de 25 m, con dos hipótesis de resistencia y tomando diferentes definiciones del coeficiente de seguridad. Las formas de rotura que se obtienen son completamente distintas, lo mismo que los valores del coeficiente de seguridad, para las distintas definiciones que se tomen de este coeficiente.

Si se adopta como coeficiente de seguridad, FS, la relación entre la fuerza efectiva que la cimentación puede resistir y la que le trasmite la presa, ambas en la misma dirección, resulta un coeficiente de seguridad de 47 y la forma de rotura de la Figura 12A. Si en cambio el coeficiente de seguridad se define como la relación entre la fuerza tangencial máxima

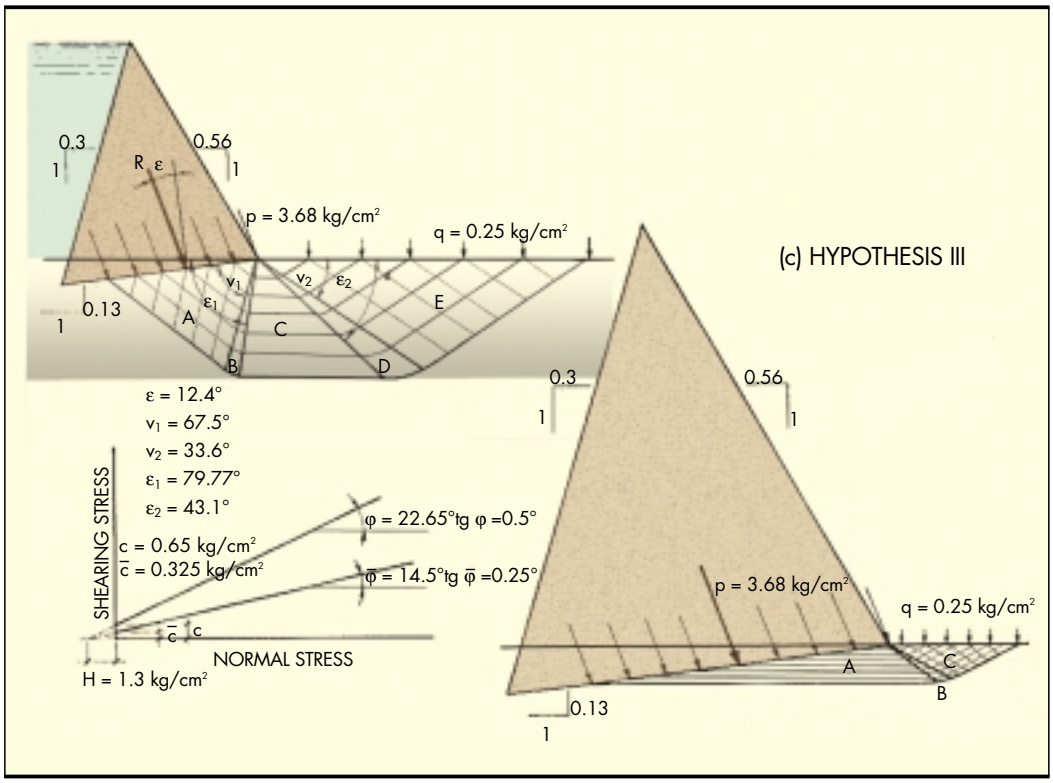


FIGURA 12C. Diferentes tipos de fallo en la cimentación de una presa. Hipótesis III.

que la cimentación puede resistir y la realmente movilizada por la presa, como es habitual, el coeficiete de seguridad baja a 5,03 y la forma de rotura es la de la Figura 12B.

Por último, se puede adoptar como coeficiente de seguridad el número por el que hay que dividir los parámetros de resistencia para llegar a la rotura de la cimentación bajo las cargas efectivas reales. En el presente caso dado que hay dos líneas de resistencia hay cuatro parámetros. No sería razonable tomar el mismo coeficiente para todos ellos. El conocimiento sobre su valor de confianza es muy diferente para cada uno de los cuatro. El coeficiente de seguridad a considerar para la fricción de la roca matriz (resistencia isótropa) no puede ser comparado al de la cohesión de las discontinuidades (resistencia de los planos de discontinuidad) que puede ser muy afectado, entre otros argumentos, por la acción del agua. El problema, como se puede apreciar, tiene un número infinito de soluciones, pero en el caso presente la respuesta dada por Santiago Uriel fue que con un coeficiente de seguridad de 2 para la fricción el coeficiente de seguridad para la cohesión era de 4,6, lo que parece suficiente. La forma real de la rotura de la cimentación con este tipo de definición de los coeficientes de seguridad está entre las dos formas posibles extremas de la Figura 12C.

A lo largo de su vida Santiago Uriel publicó los resultados de muchísimos trabajos reales y de muchísimas investigaciones, que se salen del marco temporal de este documento: Perfiles isorresistentes de presas, colapsos de aglomerados volcánicos, análisis dinámicos de deslizamientos (Vaiont), etc.

Santiago Uriel fue el segundo presidente de la Sociedad Española de Mecánica de Rocas y Vicepresidente por Europa de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas.

Finalmente no quiero terminar esta charla sin resaltar, aparte de su figura docente y científica de las que he dado sólo unas pequeñas pinceladas, la altura moral de su carácter. Todos los que han tratado a Santiago Uriel le recuerdan siempre por su honradez intelectual, su lealtad a toda prueba y su gran bondad.

4.7. FINAL

Habiendo llegado al final de este texto, dentro de los límites temporales y generacionales que establecí, no he intentado que fuera un relato histórico completo, no hubiera podido hacerlo, pero sí que fuera verdadero. Solo he querido traer a la memoria de los más jóvenes algunos recuerdos de los pasos y logros de los forjadores de la Geotecnia en España. Con la excepción de Ribera, a todos he tenido la suerte de conocer. A unos como jefes, profesores o maestros, a otros como amigos y compañeros y a Santiago Uriel más como hermano que como amigo.

La Geotecnia española está ahora en un radiante mediodía. Es consecuencia de lo que ellos pensaron, escribieron, enseñaron e hicieron. No lo olvidemos, ni los olvidemos y sigamos su senda.

Nota: Este artículo se corresponde con la conferencia dictada como motivo del homenaje al Catedrático fallecido D. Santiago Uriel, que tuvo lugar con fecha del 11 de Abril de 2012, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de Madrid.