

# **DISCURSO DE INCORPORACION DEL PROF. FRANCISCO JAVIER DOMINGUEZ**

- a) **Elogio a don Enrique Concha y Toro**
- b) **Una ojeada a la hidráulica actual.**

# **DISCURSO DE RECEPCION DEL PROF. JULIO CARIOLA**

*Discursos pronunciados por los señores profesores Francisco Javier Domínguez y Julio Cariola Villagrán, el 22 de diciembre de 1958, con motivo de la recepción, como Miembro Académico de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, del señor profesor Francisco Javier Domínguez.*

## ELOGIO A DON ENRIQUE CONCHA Y TORO

Prof. FRANCISCO JAVIER DOMÍNGUEZ S.

Señor Decano, señores Miembros de la Facultad, señoras y señores:

Es para mí especialmente grato, hacer en este momento el elogio de don Enrique Concha y Toro. Perdonadme que para probaros este aserto comience con una anécdota personal que aparentemente no tiene atinencia con ello, pero luego comprenderéis su alcance.

Eran los albores de la Central Hidroeléctrica de Abanico. De vuelta de una visita del río Laja hasta la Laguna de Antuco, una radiante mañana de comienzos de diciembre, a las ocho de la mañana, tomábamos el tren de vuelta en Los Angeles mi amigo don Domingo Santa María y yo. Sentados frente a frente, mirábamos, mudos, hacia el lado norte de la línea, contemplando aparentemente el paisaje. De repente se rompe el mutismo y me dice Domingo: "Qué cosa tan mala" y yo contesto: "No lo encuentro tanto; precisamente pensaba que no pasa de un 0,025 de Manning". Me replica "¿Pero, a que te refieres tú?". Al canal que corre paralelo a la línea". Yo me refería a esa línea de transmisión eléctrica mal postada, peor estirada, con pésimas uniones... "Perdonadme, pero yo no la había visto". "Ni me había dado cuenta que corría un canal", me replicó...

Aquí tenéis un par de locos con anteojeras que solamente les dejan ver lo que les obsesiona sin reparar en nada más, aunque violentamente debiera impresionarles. Los ingenieros somos todos un poco así, polarizados, unilaterales, monótonos en el sentido etimológico de la palabra, es decir, vibrando sólo en una nota, olvidando todo lo demás, unos más que otros, quizás me cuente entre los más extremistas. Pero cuando la dedicación de la vida, es completa tras un solo pensamiento, con deshacimiento de sí mismo, dejando comodidades, sin buscar el dinero, imponiéndose sacrificios sin medida, tendréis sublimada esa polarización; esa vida unilateral se hace digna de imitación. Esta sublimación es una síntesis de la vida profesional de don Enrique Concha y Toro. Me halaga, guardando las debidas proporciones, tener con él este punto de contacto que ha venido a mi mente con aquella anécdota que he relatado, al querer hacer el elogio del ingeniero señor Concha.

El despreció lo útil y a veces lo necesario, por un afán que lo enamoró de su profesión de Ingeniero Civil. Especialmente llama la atención en él, hombre de fortuna, de altísima posición social, en una época en que ir de un punto a otro, especialmente en cordilleras y regiones poco pobladas, era un problema de fatigas y sacrificios inmensos. Lo hizo sin desmayos, con creciente entusiasmo e íntima satisfacción, estudiando siempre, ávido de avances científicos que abrieran a su acción nuevos horizontes, nuevas iniciativas y posibilidades.

Repito que como lo comprendo, porque me siento con un destello de ese afán que en don Enrique fue creador y realizador, me resulta una

satisfacción íntima, indisimulable, hacer su elogio tan merecido en este solemne momento de mi vida. Me comprometo, y quisiera tener sus méritos que admiro, el venir a llenar el sitio de académico de esta Facultad, que él tan dignamente ocupó.

Nació don Enrique Concha y Toro en Santiago en 1840. Fueron sus padres don Melchor de Santiago Concha y doña Doniana Toro y Guzmán. De opulenta familia ligada al más auténtico alto linaje de la Colonia, y relacionada con hombres que amasaron nuestra Independencia. Cursó sus humanidades en el Instituto Nacional y sus estudios superiores en la Universidad de Chile. Fue discípulo del gran Domeyko, y fue siempre en sus estudios un alumno muy distinguido. Dejó ver en la Universidad misma, las cualidades de dedicación y tenacidad que informaron después su vida profesional. Recibió su título de Ingeniero Civil en 1869. Su memoria de prueba, que versaba sobre Geología, la denominó "De las Formaciones".

Inmediatamente de recibido el título profesional, puede decirse que dedicó su vida a la Minería, profundizando en Chile y en el extranjero sus estudios en tal sentido.

Casó con la distinguida y bella dama señora Teresa Cazotte Alcalde, de la cual tuvo tres hijos, a quienes conocí personalmente: Teresa, la única que vive, esposa del distinguido hombre público don Horacio Walker Larraín, Enrique y Luisa, estos dos últimos fallecidos, relativamente muy jóvenes. La señora Teresa Cazotte, reina de los salones, en aquella época de riqueza de Chile de los cuarenta años que siguieron a la guerra del Pacífico, transmitió a su hija del mismo nombre, el mismo encanto y el mismo reinado, del cual doy fe, porque lo presencié. Reinado de los salones, palabras que hoy día poco se comprenden y que fueron tan reales. Hoy día los salones mismos, moral y materialmente, han desaparecido, porque escasea la hidalguía que eran su realidad moral y porque hoy nuestras casas sólo ostentan democráticos livings...

La señora Teresa Concha de Walker, único vástago viviente de don Enrique Concha, es esposa y madre ejemplar de numerosos hijos. Me tocó la suerte de tener de alumno a uno de los nietos de don Enrique Concha, en ingeniería en la Universidad Católica, y fui profesor de un nieto político suyo en la Escuela de esta Facultad.

Don Enrique Concha y Toro dedicó todas sus actividades profesionales, como dije, a la Minería. Sus dos características sobresalientes en esta dedicación fueron su enorme espíritu de sacrificio a toda prueba y por encima de toda ponderación y su tenacidad invencible en la prospección minera. De estas cualidades son fruto grandes empresas mineras tanto en Chile como en Bolivia que él lanzara y organizara; en Bolivia, Huanchaca y Oruro principalmente. Los nombres sólo de estas empresas como sabéis, nos traen el recuerdo de enormes riquezas que duraron muchos años, entonando la economía privada de los chilenos.

En Chile, para explotar las minas de plata y plomo de Las Condes, instaló don Enrique la planta de amalgamación, en el sitio que aún hoy se llama San Enrique, situada a orillas del río Mapocho. Trajo del extranjero andariveles y construyó los hornos de beneficio. Hasta la caída del precio mundial de la plata mantuvo buena producción de este metal. Eso duró hasta fines del pasado siglo.

Su actuación quizás más conocida y más célebre, por decirlo así, es su reconocimiento del Mineral de "El Teniente", que después de graves dificultades con los propietarios del suelo, logró adquirir para sí.

Adquirió su pleno dominio y con pleno conocimiento de la forma de la mineralización, comprendió que por esto y por su magnitud, era más apropiado para una empresa norteamericana que para su explotación por él en esa época. Consciente de su proposición, dejando a un lado su interés de lucro personal y especulaciones posibles, lo ofreció a Mr.

William Braden, quien lo adquirió en sólo ciento sesenta mil pesos, no poniendo en su venta cláusulas de regalías u otras formas de participación que hubieran sido justas. Como he dicho, al hacerlo, sabía que habría para Chile una fuente inmensa de riqueza, de la cual él, en cambio, se desposeía.

Sus publicaciones, todas en el campo de su profesión, fueron:

“Ensayos sobre Geología en 1869”, “El Lago Llanquihue”, también en 1869; “Minas de cobre y azufre en España”, en 1879 y “Geología del carbón Fósil que se explota en Chile”, en 1876.

Hizo varios viajes a Europa, donde con especial dedicación se perfeccionó en sus conocimientos profesionales, especialmente de Minería.

Como premio a su labor la Universidad de Chile lo hizo, en 1872, Miembro Académico de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Como veis, solamente tres años después de haber recibido su título profesional.

Su palacio de estilo árabe, cuya gran escalinata externa de mármol bien recuerdo, colocado en el centro de un parque de unas 2 a 3 hectáreas en el corazón de Santiago, en Avenida Bernardo O'Higgins, Avenida Brasil, Cumming y Erasmo Escala, coronado de un domo que, como encanta a los orientales, se reproducía en el gran espejo de agua que lo antecedía, en el piso bajo tenía una sección que don Enrique dedicó a museo de sus muestras de minerales y rocas. Entre ellas pasaba largas horas en estudio y sosiego, lejos del bullicio. Eran las “piezas misteriosas del abuelo” como decía uno de sus nietos, con justa razón así llamadas, porque eran para él como un santuario de meditación y reposo espiritual.

En 1922, a la avanzada edad de ochenta y dos años falleció don Enrique, dejando a los ingenieros un ejemplo. Pudo llevar una vida muelle e inútil, pues lo rodearon los halagos que a los hombres fácilmente los hacen tomar esos caminos, pero prefirió el sacrificio y el esfuerzo sin miras de amontonar dinero. Don Enrique Concha y Toro merece un recuerdo duradero especialmente en la mente de nuestros jóvenes estudiantes, porque sus virtudes deben ser una guía, un camino que se deben proponer seguir en el ejercicio de la profesión de ingeniero.

---

## UNA OJEADA A LA HIDRAULICA ACTUAL

Prof. FRANCISCO JAVIER DOMÍNGUEZ S.

Todas las Ciencias Técnicas que son ramas de la Física están sujetas a variaciones, a veces básicas, que remueven hasta los cimientos mismos en que venían descansando. Todas se nos presentan complejas, quizás no tanto por lo que sean en sí mismas cuanto porque no conocemos las verdaderas leyes que rigen los fenómenos que ellas estudian. Precisamente las teorías en que las fundamentamos, son el objeto permanente de nuestra investigación. De ahí que, fallando el fundamento, nada tiene de extraño, lógicamente, que se agriete y parcialmente se derrumbe el edificio que habíamos edificado.

Unos 70 años tiene la frase, que se hizo clásica, de uno de los primeros Hidráulicos que se acercaron al verdadero problema de los fundamentos del movimiento de un fluido real, viscoso en movimiento turbulento; el gran Saint Venant dijo que dicho fenómeno nos creaba un "enigma desesperante": infinidad de partículas fluidas moviéndose sobre trayectorias tortuosas que, aunque sin chocar, cambian en el espacio y en el tiempo sin orden aparente y con ligazones provenientes de la forma de la canalización o contorno que son muchas veces también harto difíciles de poner en ecuación.

Las teorías mecánicas que explican los fenómenos de las Ciencias Técnicas nacen de la experimentación, la cual hecha por profesores, resulta muchas veces más engañosa que si lo es por estudiantes. Aquellos parten, generalmente, con ideas preconcebidas las que si no coinciden con la realidad objetiva, pueden darnos resultados falseados, pues su interpretación, de buena fe, desfigura el fenómeno, porque dicha interpretación se amolda en todo o en parte, a bases prefijadas. Mejor es escribir en una hoja limpia que borrar previamente para escribir después; siempre aparece algo de lo que fue borrado...

Cuántas experiencias antiguas de Hidráulica con resultados que dimos por incoherentes, hoy día confirman las nuevas teorías. Para no nombrar muchas, recordemos sólo las de Poncelet y Lesbros en orificios, las de Boileau en compuertas; la de Gibson en ensanchamientos paulatinos, que parecieron inexplicablemente mal hechas. Las de Poncelet y Lesbros, al suprimir contracciones con tabiques de guía dejando pequeñas distancias entre el plano del tabique y la arista del orificio vienen a demostrar, hoy día, la enorme rapidez con que descienden las velocidades en la pared al lado de un orificio. Las de Boileau y las de Gibson parecen incoherentes, porque fueron hechas en pequeños modelos y no tomaron en cuenta la influencia del número de Reynolds. Y para mí, la más grata de las observaciones de un prolijo y honrado experimentador de hace ya años, es la de Henry Bazin, que al observar lo que pasaba sobre el umbral grueso y horizontal de un vertedero, que él quería ver comportarse co-

mo el de pared delgada, dice textualmente: “el umbral grueso produce al vertedero una perturbación grande, pues la variación del nivel de aguas abajo no altera la carga ni aunque sobrepase al nivel del umbral o se eleve más alto que el torrente que existe sobre el umbral. Es necesario que aun supere mucho al nivel de este torrente, porque puede aún llegar a los  $\frac{5}{6}$  de la carga sobre el umbral sin que se comience a alterar dicha carga”; la frase del experimentador francés, escrita 18 años antes de que don Ramón Salas hablara de la anulación de las influencias de aguas abajo cuando se produce el escurrimiento crítico, es una prueba irrecusable de este hecho hoy para nosotros vulgar.

Ingeniosas teorías que explican fenómenos que un tiempo miramos como un avance indiscutible, yacen olvidadas y nadie recuerda siquiera los nombres de los autores, al meditar en esos fenómenos. Sólo la historia de la Hidráulica los consigna brevemente, cuando quiere mostrar el proceso que se siguió a través del tiempo, hasta llegar a lo que hoy estimamos verdadero.

El esquema de la Hidráulica que yo estudié en la Universidad, si exceptuamos el escurrimiento en canales que puede decirse fue el mismo que hoy día tenemos, es el teorema base que, para cómoda aplicación, suponía las trayectorias de las partículas, siempre paralelas y rectas. Los coeficientes de resistencia se consideraban invariables, siempre que las formas geométricas fueran semejantes, cualesquiera fueran las magnitudes, lo cual facilitaba los cálculos. Resulta interesante recordar los títulos de capítulos o de materias que revelan lo poco científico, la ninguna generalización que podía hacerse: “tubos adicionales”, “tubos con ensanche”, “tubos redondeados”, etc. Verdaderos recetarios sin hilación lógica, cada uno tratado como caso aislado.

Y qué decir del escurrimiento en cañerías, donde varias docenas de fórmulas empíricas nos daban amplio margen para elegir entre tantas, todas más o menos malas, totalmente desconectadas de la esencia del fenómeno que se quería tratar.

Hace sólo veinticinco a treinta años que, valiéndose de experiencias más antiguas y otras recientemente hechas, la intuición de dos sabios que aún viven, ha transformado la Hidráulica, dándonos una concepción nueva del fenómeno básico del escurrimiento de todos los flúidos naturales viscosos y animados de relativa gran fuerza viva. En esas condiciones, las absorciones de energía inherentes a todo escurrimiento nos producen un movimiento desordenado, llamado tumultuoso por Boussinesq y denominado ahora simplemente turbulento. Von Karman en Alemania y Prandtl en Hungría, valiéndose de las prolijas experiencias de Nikuradse y de Fritsch, sentaron para los tubos la teoría de la turbulencia. El primero, revelando el mecanismo de la transición entre el régimen ordenado y el desordenado, y el segundo, con sus curvas de repartición de velocidades de idéntica forma, conocida la pérdida de carga, aunque varíe el gasto. Se puso de manifiesto la variación enorme de los coeficientes de resistencia en el régimen estratificado, en el de transición y aún en el turbulento que se verifica entre paredes lisas, en función del número de Reynolds, pasando a ser este parámetro el más importante, el decisivo en el escurrimiento de los flúidos y se puede decir que es imprescindible conocer siempre su valor. Digamos de paso que la temperatura de escurrimiento, ignorada prácticamente antes, cobró importancia a través del número de Reynolds, debiendo no olvidarla en los fenómenos de escurrimiento de flúidos, por su aparición en los valores de la viscosidad dinámica y cinemática.

El número de Reynolds, como hoy sabemos, es lógico que sea la variable principal que decida sobre la forma del escurrimiento, porque no es otra cosa que la razón entre las fuerzas vivas, el  $\frac{1}{2} M V^2$  de la corriente que aparece en el numerador y las fuerzas de viscosidad que aparecen

en el denominador. Si es grande su valor, es que predominan las primeras; si es pequeño, es que mandan las de viscosidad. Estas son directivas del movimiento ordenado: las fuerzas vivas grandes llevan la corriente a la turbulencia.

Mucho hemos avanzado con la teoría de Prandtl-Karman. Parece que vamos en camino recto hacia mayores conquistas, como son la teoría racional de la suspensión y conducción de gastos sólidos, y de las emulsiones de gases y líquidos, pero como contrapeso de los mismos avances, surgen las nuevas dificultades.

No sabemos aún lo que significan las cifras mismas con que aparece el número de Reynolds, es decir, por qué en un tubo circular de diámetro  $D$  y velocidad  $U$ , cualquiera sea el fluido prácticamente incompresible que escurra, tomando su viscosidad cinemática con su debido valor, bajo un número 2000 el movimiento es ordenado; ¿por qué, igualmente con valores mayores, el movimiento se desordena?, parcialmente primero, como a medias, para ser completamente desordenado en número de Reynolds digamos aproximadamente, entre 45.000, si las paredes son muy ásperas, y hasta un millón si son lisas.

Antes de poner de relieve las sombras que en estas luces van apareciendo, queremos referirnos a un hecho, sin trascendencia en definitiva, pero que indebidamente acompañó a estos avances de la Hidráulica.

Hemos manifestado que la Hidráulica antigua aceptaba como axioma la constancia para todos los casos de coeficientes de resistencia o números que, multiplicando las energías cinéticas por unidad de peso, nos dan los valores de las pérdidas de cargas singulares. Hemos también hecho notar, que a la luz de la nueva experimentación, esos coeficiente son, en realidad, variables en los movimientos estratificados y de transición. Se hicieron algunos gráficos, especialmente de resultados de experimentación con miras a la aerodinámica, que revelaban la variación del coeficiente de resistencia a través de todo el gráfico. Difícil era, o quizás fue un simple descuido por experimentar en modelos reducidos, superar con el número de Reynolds valores de un millón. En apariencia, se exageraba la variación, porque para extender la escala del campo de los números de Reynolds pequeños se usa mucho su logaritmo, que para valores menores de 2000 tomaba más de la mitad del gráfico, siendo ésta la zona de mayor variación. Además como hemos dicho, como no se superaba el millón, cuyo logaritmo no alcanza al valor doble del de aquél, aparecieron los coeficientes sólo variables y con gran variación. Los comentarios que se hacían un tanto intencionados, dejaban ver que deberíamos ante esto olvidar la Hidráulica anterior, borrarla, empezar de nuevo y hasta cambiarla de nombre... Se dijo que solamente sobre principios y teoremas demostrados podríamos volver a edificar. Esos principios debieran ser generales para todos los fenómenos. Los coeficientes dados por constantes, eran a la inversa siempre variables, etc., etc. ¿Y qué obtuvimos? Muy poco. Sin querer y por otro camino, no pudiendo basarnos en principios mecánicos, volvimos al recetario, ahora en forma de gráficos que deberíamos consultar para cada caso...

En honor a la verdad, los europeos no tomaron con tanto entusiasmo las nuevas modalidades y en un compás de espera, guardaron silencio, sin pronunciarse, ante el entusiasmo de los norteamericanos.

La Hidráulica en su condición de Ciencia Técnica estaba siempre en una situación crítica. La necesidad de diseñar y proyectar ahora para muchísimo mayores caudales, apremiaba. La exigencia se adelanta siempre al avance de esa técnica que, además, ahora se tambaleaba. Contemplemos por ejemplo, el cuadro de las grandes centrales hidroeléctricas que en el último cuarto de siglo se han proyectado y construido. Los rebalses de los grandes embalses: por todas partes enormes caudales y velocidades mucho mayores de todo lo que se hubiera sospechado. ¡Qué cúmulo

de circunstancias imprevistas, imposibles de calcular con los métodos antiguos! Para no nombrar más que una, artera, violenta y solapada, por por decirlo así, recordemos la cavitación, que aún en los ensayos en modelos suele escapar a la previsión. No hay duda que esta necesidad imperiosa de diseñar, calcular y disponer, ha hecho volver el buen sentido y ha traído las cosas a su terreno real. La Hidráulica clásica nos ayuda siempre; tomemos de ella lo que vale a la luz de las nuevas teorías, abandonemos lo que está errado únicamente. Es curioso abrir uno de esos tratados de Hidráulica americanos recientes, denominados Mecánica de Flúidos. ¡Qué silencio se hace ahora cuando se exponen sin comentarios, teorías antiguas de fenómenos que debemos calcular a cada paso y cuyo verdadero comportamiento, a la luz de las nuevas teorías de la turbulencia, no sabemos tratar...!

La imperiosa necesidad de diseñar en cuestiones que analíticamente no sabemos abordar, nos vuelve al empirismo con que se manejó la Hidráulica en el siglo XIX, por un camino muy grato al experimentador y muy ingrato para la Ciencia misma. Es la experimentación por modelos. Si son concluyentes los resultados de este sistema en cosas no muy complejas, o cuando son despreciables los frotamientos, hay que poner mucha cautela en generalizar, hay que fundamentar muy bien las conclusiones, no olvidando la sabia manera de proceder que nos dejó Escande a su pasada por Chile, en charla en el Instituto de Ingenieros. "Nosotros, decía, en Tolosa, hacemos de un prototipo en estudio, modelos a diferentes escalas y extrapolamos hacia la escala de uno por uno. Es claro que si este raciocinio es la prueba de la poca confianza que nos merece una experimentación de esta clase, está revelando la ausencia de Ciencia en tal procedimiento y, en todo caso, nos pone en guardia con respecto a no pretender, sin concienzudo estudio a hacer modelos en pequeño de fenómenos complejos, como emulsiones, suspensiones", etc. Esto no quiere decir que hay veces que, como lo decíamos arriba, la imperiosa necesidad de diseñar y dimensionar nos obliga, muchas veces, incapaces de abordar un fenómeno por cálculo, a abordarlo en modelo reducido y éste nos puede dar resultados, aunque por este camino poco o nada avance la Ciencia.

Chile, en Hidráulica, ha tenido siempre una situación de avanzada. Aquel impulso inicial que dio primeramente impacto en el escurrimiento de canales, del profesor Salas Edwards, lo dirigió él también a iniciar la generalización y ordenación de las materias que interesan al Ingeniero Civil. Tampoco se ha quedado atrás en los adelantos recientes que nos demuestran la influencia del número de Reynolds en el escurrimiento. Numerosas tesis experimentales en canalizaciones abiertas y cerradas nos llevan al convencimiento de que en el escurrimiento, tanto de tubos como de canales, si la turbulencia está plenamente desarrollada, esos coeficientes son independientes del número de Reynolds y, por lo tanto, que aquel hecho, quizás más intuido que probado de la vieja Hidráulica de que solamente dependían de la forma geométrica, es exacto si el movimiento es turbulento. Si pensamos que en los escurrimientos abiertos siempre tendrá el Ingeniero números de Reynolds que corresponden a la turbulencia plena de la corriente, solamente tendrá que pensar en su valor, si estudia canales cuando quiera deducir consecuencias exactas de modelos en pequeño para grandes prototipos. Si en contornos cerrados es fácil hallar en la práctica profesional números de Reynolds relativamente pequeños que caigan en la transición, o si las paredes son tan lisas que aún caemos en la transición con grandes valores de Reynolds, tenemos, experimentados aquí, gráficos de variación de los coeficientes de resistencia que cubren más campo de fenómenos que los que nos han venido del extranjero.

Para terminar esta mirada a la Hidráulica de hoy, dentro y fuera de Chile, es útil señalar un punto de relativa importancia que es necesario



tener muy presente al calcular el número de Reynolds. Como sabemos, la ecuación que nos da el número de Reynolds es una fracción cuyo numerador lleva una dimensión y una velocidad característica del fenómeno que se estudia y el denominador es el coeficiente de viscosidad cinemática del fluido que escurre, coeficiente que es, a su vez, la razón entre el coeficiente de viscosidad del fluido y la densidad o masa específica de él. Estas dos últimas cantidades en general son variables con la temperatura.

Si se estudian en Hidráulica escurrimientos dentro de tubos prácticamente siempre circulares, se toma como dimensión característica el diámetro y como velocidad la media aritmética de las individuales de la sección. ¿Resulta calculando así, exacto el número de Reynolds del escurrimiento? Recordemos que Prandtl y Von Karman, por decirlo así, lo parcializaron para estimar la capa parietal estratificada, al decir que muy cerca de la pared, la pequeñísima distancia nos da una longitud característica tal, que el número de Reynolds de ahí entonces muy pequeño, exige movimiento estratificado, etc. . . . En un punto cualquiera, dentro de un tubo circular, el número de Reynolds podrían calcularse con la velocidad local y la menor distancia a la pared que se contaría sobre el radio. Si las curvas de igual velocidad son círculos concéntricos, habrá un mismo valor del número de Reynolds para cada distancia a la pared y, en todo caso, no es igual el valor medio al que se obtiene de colocar en la fórmula del número de Reynolds el diámetro y la velocidad media aritmética. En otras palabras, aún en este caso sencillo, el número de Reynolds del escurrimiento fluido por un tubo circular, calculado con el diámetro y la velocidad media, es convencional. En otros fenómenos quizás no lo sea tanto, por ejemplo el que se calcula para buscar la resistencia de una esfera en una corriente de aire o agua, en que lejos de la perturbación de la esfera todas las velocidades de la corriente son de igual magnitud. Esta velocidad es la característica y el diámetro de la esfera es la dimensión que la caracteriza.

Para estudiar la perturbación de una corriente paralela de aire por el ala de un avión, la velocidad del aire (o la del avión en aire quieto) es la velocidad característica, pero la dimensión característica es una cuerda, al fin y al cabo, convencional del ala.

¿Qué deducimos de aquí? Que podremos averiguar lo que sucede si variamos el número de Reynolds de un mismo fenómeno tomando en forma determinada la velocidad y la dimensión que mejor lo caracteriza; pero que no podemos comparar valores numéricos del umbral del movimiento ordenado o el de Reynolds que da turbulencia plena si pasamos de un fenómeno a otro. Así, pues, que el límite del movimiento ordenado corresponde en un tubo circular al Reynolds 2000, calculado con el diámetro y la velocidad media aritmética, no nos permite asegurar que el mismo valor le corresponda en un tubo de sección cuadrada, si tomamos el lado como dimensión y la velocidad media como característica. ¿Y qué será pasar de un tubo circular a un canal trapecial? ¿Y cuál es el número de Reynolds que debemos tomar en una tubería tronco-cónica cuando aumenta o cuando disminuye de sección? Inútil me parece insistir en que como el radio hidráulico de un tubo circular es la cuarta parte del diámetro, tendremos seguramente los mismos valores en un canal para los casos límites, tomando como dimensión característica cuatro veces el radio hidráulico. Esto es demasiado convencional y el radio hidráulico no es tampoco una fiel representación de la dimensión característica de un canal.

No puedo extenderme en consideraciones que fluyen de estas ideas; bastará observar como ejemplo, que un aire quieto sobre un canal está verdaderamente quieto a cierta distancia del canal, pues la velocidad superficial que tiene que arrastrar el aire en el sentido del movimiento del líquido, crea en él un número de Reynolds, y es como una especie de capa

límite que tanto se ha de formar en el aire como en el líquido en las ve-  
cindades de la superficie libre del canal.

En el estado actual de la cuestión, nos parece útil aceptar como pa-  
trón los valores del número de Reynolds críticos, límites de movimiento  
ordenado y límite de la transición para una aspereza relativa conocida,  
encontrados para los tubos circulares, calculados los Reynolds con el diá-  
metro y la velocidad media aritmética. Sabemos que así, en dichos tubos,  
esos límites tienen los mismos valores numéricos cualquiera sea el fluido  
incompresible que escurra, o bien, si es compresible, como aire o gas  
de alumbrado, por ejemplo, dada la pequeñez de las cargas disipadas y de  
la variación de temperatura, siempre que podamos considerarlos incom-  
presibles. Para uniformar la Hidráulica nos convendría adoptar los mis-  
mos valores críticos en otros escurrimientos como los de canales de sin-  
gularidades, etc. . . . Debemos, entonces, experimentando sistemática-  
mente, determinar esos valores críticos con el radio hidráulico u otra dimen-  
sión característica tomada previamente, buscando después cuál es la di-  
mensión característica que para esos límites críticos nos da las mismas  
cifras numéricas que corresponden a los tubos circulares, determinando  
en éstos el número de Reynolds en la forma indicada. Esperamos empre-  
nder esta tarea, de cuyo resultado nada podemos adelantar, sistemática-  
mente en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería y en escurrimientos  
de la práctica profesional del Ingeniero.

---

## **DISCURSO DE RECEPCION DEL MIEMBRO ACADEMICO DON FRANCISCO JAVIER DOMINGUEZ S.**

Prof. JULIO CARIOLA VILLAGRÁN

Señor Rector, señor Decano, señores Miembros Académicos, señores Profesores, señoras y señores:

Es muy grato para mí, cumplir con el honroso mandato de la Facultad de recibir como Miembro Académico a don Francisco Javier Domínguez Solar, distinguido ingeniero, profesor e investigador.

El señor Domínguez Solar nació en Santiago el 14 de agosto de 1890. Cursó humanidades en el colegio de San Ignacio. Obtenido su título de Bachiller, ingresó a la Universidad Católica donde se tituló de Ingeniero Civil el año 1917. Su atracción por la Hidráulica y la investigación se refleja ya en la Universidad, y es así como su Memoria de título se denomina "Estudio experimental del escurrimiento crítico producido por angostamiento".

El mismo año en que se tituló ingresó a la Administración Pública como Ingeniero del Departamento de Obras Marítimas. El año 1939 fue designado Jefe de la Sección Ingeniería Civil de la oficina técnica del Departamento de Energía y Combustibles de la Corporación de Fomento, recientemente creada. En 1941 se le nombró Jefe de Planeamiento de Regadío Mecánico y Asesor de Hidráulica de la misma oficina. El año 1943 fue jefe de la Sección Regadío y en enero de 1955 entró a ocupar el alto cargo de Jefe del Departamento de Obras Civiles, puesto que desempeña actualmente.

Citaré algunas de las obras que ha proyectado: Los Puertos de Iquique y Puerto Montt. La Planta hidroeléctrica de los Quilos. Anteproyecto de las Plantas Hidráulicas del Abanico y Pilmaiquén. La hijuelación y partición de aguas de grandes fundos como Zemita y Virguin, en San Carlos; Peralillo, Cunaco y Apalta en Colchagua. Estudio de Regadío por aspersión de "El Golf" de Santiago. Proyecto de canalización y urbanización del río Mapocho. Regadío Mecánico en Concepción. Embalses de Callihue, Tonlemo, Los Maquis, Topocalma y Fuente de Agua, etc.

Sus actividades docentes las inició el 8 de agosto de 1919, al ser designado profesor de Hidráulica General de la Escuela de Ingeniería de la Universidad Católica, cátedra que desempeña todavía. El 8 de agosto de 1931 fue nombrado Profesor de Hidráulica Teórica de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile, cátedra que también continúa dictando. Desde los años 1936 a 1939 fue profesor de Hidráulica Marítima de la Escuela de Ingeniería de la Universidad de Chile y profesor, en la misma Escuela, de Hidráulica Agrícola desde 1936 a 1956. Además de las cátedras que actualmente desempeña en nuestra Escuela, es Director del Laboratorio de Hidráulica.

Enumeraré algunas de sus investigaciones y publicaciones en el ramo de la Hidráulica:

En 1917.—Esguerrimiento crítico producido por angostamiento.

En 1922.—Gradas de bajada en canales. Estudio experimental de la pérdida de carga que provoca una brusca bajada de fondo en un canal ya sea con resalto rechazado o al pie. Publicado en los Anales del Instituto de Ingenieros de Chile.

En 1928.—Marcos partidores. Publicado por la Imprenta "La Ilustración".

En 1932.—Nueva forma de la ecuación de la tangente a la curva de remanso en movimiento gradualmente variado permanente. Publicado en los Anales del Instituto de Ingenieros de Chile.

En 1948.—Resaltos en lechos inclinados. Publicado en la Revista "Ingeniería" de la Asociación de Ingenieros de Chile.

En 1935.—Publica la 1ª Edición de su curso de Hidráulica.

En 1945.—Publica la 2ª Edición, y

En 1958.—En el presente año, la 3ª Edición.

En estas ediciones aparecen numerosas investigaciones y deducciones personales y de algunos de sus alumnos de ambas universidades.

En 1949.—Empleo de modelos reducidos en el proyecto de obra de medida y repartición de aguas. Solicitado por el Congreso Económico y Social de las Naciones Unidas. Publicado en Estados Unidos.

Numerosos otros estudios publicados en revistas científicas de Chile y del extranjero.

De su labor científica y profesional en otros países puedo citar las siguientes:

En el año 1945 el Gobierno del Ecuador solicitó su concurso para el estudio de las obras de regadío de las provincias de Manabí y Guayas.

Representó a Chile y fue vicepresidente del Congreso de Ingeniería e Industrias de Río de Janeiro el año 1946.

En 1948 fue invitado a dictar conferencias sobre Hidráulica en el Bureau of Reclamation del Departamento de Estado de los Estados Unidos.

En 1951 fue propuesto, por el Gobierno norteamericano, como Miembro de la Comisión Científica que tuvo a su cargo la regularización del Delta del Río Helman en la frontera de Irán y Afganistán. Fue aceptada su designación por ambos países.

Es Miembro de la Sociedad Científica de Bélgica y de la American Society of Civil Engineers de los Estados Unidos.

Es profesor Honoris Causa de la Universidad de San Andrés de la Paz (Bolivia).

El año 1954 fue agraciado con la medalla de oro del Instituto de Ingenieros de Chile.

Esta reseña de la vida profesional, científica y docente del nuevo Miembro Académico a quien damos hoy la bienvenida en el seno de la Facultad, deja de relieve su excepcional y brillante personalidad.

Como Ingeniero, las obras que proyectó y realizó destacan su gran valía. Ha contribuido con su talento y eficiencia al progreso de Chile en dos de sus aspectos fundamentales: el incremento de la producción de energía eléctrica y el aumento de la riqueza nacional, incorporando nuevas tierras a la producción agrícola, mediante obras de regadío.

La ingeniería chilena está conceptuada en el exterior en un grado que honra a Chile y ha llegado a alcanzar tan expectable situación, gracias al esfuerzo y al talento de sus hombres. Ha habido siempre investigadores que sacrificando horas de reposo, han colocado a nuestra ciencia en un pedestal y que, con sus luces propias, le han dado luminosidad para que sea considerada y respetada. Entre ellos, Francisco Javier Domínguez, quien, aunque en plena actividad y luciendo un talento vigoroso, ya se ha ganado un sitio de honor por su nutrida y valiosa contribución científica.

En la docencia, como profesor, sus textos de estudios, con ediciones siempre renovadas y actualizadas en sintonía con el rápido progreso científico, continúan siendo las obras sobre hidráulica preferidos por muchas universidades de América Latina. Los que hemos visitado otras universidades, con orgullo de chilenos hemos escuchado los elogios a nuestro profesor de Hidráulica.

Son muchas las generaciones de ingenieros que recibieron sus enseñanzas y que recuerdan con cariño al profesor que despertó en ellos el amor por el estudio y por su profesión. Numerosos de sus alumnos, contagiados por su inquietud científica siempre en acción, han realizado con sus directivas, investigaciones que han merecido ser incorporadas a textos científicos. Podríamos decir que sus alumnos devuelven al maestro, en gratas florecencias que él ha de contemplar con sumo agrado, sus esfuerzos de sembrador incansable.

Profesor Domínguez: La Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas lo recibe con íntima satisfacción y, al otorgarle el más alto título a que se puede aspirar en la docencia, le expresa el reconocimiento por sus altos méritos y, con ello, premia a quien ha puesto su talento y sus esfuerzos al servicio de la Ciencia, de la Ingeniería Chilena y de nuestra Universidad.

---