

Artículo publicado en el Repositorio Institucional del IMTA

<i>Título</i>	Robert Manning y su fórmula.
<i>Autor / Adscripción</i>	Enzo Levi Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
<i>Publicación</i>	Ingeniería Hidráulica en México, (3): 101-106
<i>Fecha de publicación</i>	1991
<i>Resumen</i>	En 1990 se cumplieron cien años desde que Robert Manning propuso una fórmula muy conocida, fundamental para la hidráulica. Aquí se presenta al autor, se describen su vida y obras y se explica por qué motivo la fórmula en cuestión, a pesar de haber sido establecida en precedencia por diferentes investigadores, lleva el nombre de Manning.
<i>Identificador</i>	http://hdl.handle.net/123456789/1263

Robert Manning y su fórmula*

Enzo Levi

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, CNA

En 1990 se cumplieron cien años desde que Robert Manning propuso una fórmula muy conocida, fundamental para la hidráulica. Aquí se presenta al autor, se describen su vida y obras y se explica por qué motivo la fórmula en cuestión, a pesar de haber sido establecida en precedencia por diferentes investigadores, lleva el nombre de Manning.

Robert Manning propuso su célebre fórmula en el trabajo *On the flow of water in open channels and pipes*, presentado a la Institución de Ingenieros Civiles de Irlanda el 4 de diciembre de 1889. El trabajo (Manning, 1890) fue publicado en las memorias de ese colegio en 1890, por lo que es justo conmemorar ahora su centenario.

La invitación que me hicieron los organizadores de este congreso para ofrecer una plática al respecto me resultó particularmente grata por un motivo muy sencillo: que a la fórmula de Manning la quiero de modo muy especial, por haber constituido mi primer contacto con la hidráulica. Para la mayoría de ustedes el estudio de esta ciencia debió empezar con una información algo abstracta acerca de las propiedades de los fluidos, seguida por la hidrostática y todo lo demás en el orden consabido; para mí, empezó con la fórmula de Manning.

En la noche del 20 de febrero de 1940, la ciudad de Cochabamba fue víctima de una inundación. Las aguas del río Rocha, torrente poco caudaloso, y seco durante buena parte del año, se desbordaron, anegaron la Plaza Colón—lugar en que unos amigos, al regresar del cine, hallaron a su hijito en la cuna a flote como Moisés en el Nilo— y se metieron a la Alameda, de donde se esparcieron prácticamente por toda la ciudad. Fue éste un acontecimiento inusitado y asombroso, que sólo pudo explicarse al día siguiente, al caer en la cuenta de que en una cortina de mampostería que represaba el río aguas arriba se había abierto un enorme boquete.

Entonces yo trabajaba allí como topógrafo, haciendo, con otros, levantamientos previos a la construcción de la Presa de la Angostura y su sistema de riego; obra

que hoy se conoce como Presa México. En la mañana de ese mismo día, a primera hora, mi jefe, Gerardo Cruickshank, me envió, con tránsito y nivel, cadeneros, baliceros y estadaleros, a un tramo más o menos recto del río Rocha donde corría todavía un gran caudal de agua, para localizar urgentemente las huellas de aguas máximas (suelo empapado, hierbas dobladas, basura atrapada por los arbustos) antes que éstas se borrasen, y clavar estacas a lo largo de ellas. Luego tendría que nivelar las estacas, correr una poligonal, y además trazar y levantar secciones transversales del río.

Por la prisa, Cruickshank no había podido proporcionarme los detalles del caso; pero a mi regreso del campo me dio las explicaciones que yo pedía. Lo que íbamos a hacer era utilizar el método de sección y pendiente para estimar el gasto máximo que había escurrido durante la avenida; técnica en que se tenía que aplicar, precisamente, la fórmula de Manning, una vez que dispusiéramos de los perímetros y áreas mojados de las secciones, así como de la pendiente media de la superficie del agua entre secciones sucesivas. También me explicó algo acerca del espinoso coeficiente n , tan importante, y sin embargo, tan difícil de definir en casos como éste.

En la noche, llegando a la casa, me precipité a consultar mi libro de hidráulica con la esperanza de encontrar más detalles acerca de la fórmula. Ese libro era un viejo manual, traducción de la primera parte del tercer volumen, dedicado a obras hidráulicas, de un monumental *Handbuch der Ingenieurwissenschaften*, tomo que trata esencialmente de hidrología e hidráulica urbana. Mi suegro, que era ingeniero, lo había tomado de su colección y me lo había regalado cuando yo me preparaba para ir a Bolivia. Me decepcionó no hallar el

nombre de Manning por ningún lado, a pesar de que allí se exhibían unas 20 "fórmulas de velocidad". La razón era obvia, pero sólo la entendí después: la fecha de publicación del libro era de 1895, pero el original alemán debía de ser como unos 10 años más antiguo, ya que los trabajos más recientes que se hallaban citados eran de 1883; y en 1885, la fórmula de Manning todavía no había nacido.

Bueno, no había nacido con esa denominación; por que tuve la sorpresa de encontrarla mencionada en el manual dos veces con otros nombres, aunque prácticamente tal cual. La primera vez se atribuía a Gauckler; se decía que éste la había establecido, apoyándose en los resultados experimentales de Darcy y Bazin y la había presentado a la Academia de Ciencias de París a principios de 1867. De hecho, se trataba de una fórmula que el autor recomendaba para canales con pendiente mayor del 0.7 por mil, después de la cual aparecía otra, para pendientes menores, que era parecida, siempre que se cambiara la velocidad por su raíz cuadrada. Seguía este comentario: "El paso brusco de una fórmula a otra para la pendiente 0.0007 el autor lo justifica aduciendo la variación que sufre la forma de movimiento de las partículas líquidas. Si la pendiente es mayor que 0.0007, el movimiento del agua tiene que ser de rodamiento; si, por el contrario, es menor, el escurrimiento ocurre por deslizamiento. Sin embargo, esta hipótesis no está comprobada, ni corresponde bien a los hechos". La segunda vez que la fórmula de Manning era mencionada en mi manual, se decía que había sido propuesta "recientemente" por Hagen ("recientemente" significaba en 1881, cuando Hagen tenía ya como 84 años), con coeficiente igual a 43.7, para interpretar "las diligentes mediciones realizadas por Cunningham en el Canal del Ganges".

Como siempre me han interesado los pormenores históricos, me entró entonces la curiosidad de conocer algo acerca de Manning y entender por qué iba bajo su nombre una fórmula que al parecer no era suya; pero esto me quedó claro sólo años después.

Robert Manning nació en Normandía en octubre de 1816, hijo de irlandeses que se hallaban en Francia porque el padre, William, militaba en el cuerpo expedicionario inglés contra Napoleón. Con toda probabilidad había seguido al duque de Wellington desde que éste desembarcó en Lisboa en abril de 1809, para ayudar al aliado tradicional de Inglaterra, Portugal; había participado en la erección de esa formidable línea de fortificaciones a través de la península de Lisboa que obligaría, dos años después, al mariscal Massena a retirarse sin combatir, para luego ser derrotado en Fuentes de Oñoro. Debió entrar con Wellington en Madrid en agosto de 1812 e intervenir en la batalla de Victoria, en la que los franceses fueron

definitivamente derrotados un año después. Pasado luego al sur de Francia y finalmente a Bélgica, había participado en junio de 1815 en la célebre batalla de Waterloo que llevó a Napoleón al desastre final.

Mucho se ha discutido acerca de Waterloo: ¿el fracaso de Napoleón se debió a la incapacidad de Grouchy para alcanzar a tiempo el grueso del ejército francés, o bien al arribo final de las tropas frescas de Blücher? Parece ser, sin embargo, que la victoria aliada no se debió a estos factores, ni tampoco a la habilidad táctica de Wellington o a los errores de Napoleón, sino al fenomenal aguante de la infantería británica, que permitió prolongar la acción hasta que finalmente llegaron los prusianos, a quienes, de hecho, se dejó la persecución del enemigo, porque las fuerzas de Wellington habían sufrido demasiadas bajas.

¿Cuál era el grado militar de William Manning? No lo sé; pero seguramente no era el de oficial. Los oficiales ingleses sólo provenían del sector aristocrático, o bien de familias adineradas que podían permitirse el lujo de comprar el grado, para mezclarse así con los retoños de la nobleza. Probablemente era suboficial, uno de esos "oficiales sin grado" –como los llamaban– en quienes descansaban el control y cuidado personal de los soldados, y que eran, de hecho, la columna vertebral del ejército.

Terminada la campaña, la tropa desembarcó en Plymouth. Hubo grandes aclamaciones y festejos; pero luego se procedió a despedirla. Los oficiales tenían prisa por volver a sus haciendas y cacerías. De hecho, eran individuos sin ningún interés por el uniforme, que siempre se habían apresurado a vestir de civiles tan pronto como dejaban de estar en servicio. Así lo hacía el mismo Wellington –y lo había hecho para participar en un baile aun en la noche anterior a Waterloo– por más que rabiara cuando unos dandies que servían en la guardia abrían el paraguas, para resguardarse de la lluvia en el campo de batalla. Gran Bretaña, ufana de su flota, no quería entonces un ejército permanente como aquellos que presumían España, Francia y Prusia: un ejército así interferiría con las libertades públicas y privadas de las que el país se enorgullecía.

Dado de baja con los demás, William Manning siguió viviendo con la familia en Plymouth, donde falleció cuando Robert, tercero de los hijos, tenía nueve años. Mamá Ruth reunió todas las cosas y se embarcó con la prole para Irlanda, donde la abuela los esperaba en Waterford, pequeña población del sur, cerca de la desembocadura del río Barrow. Con la abuela vivía el tío John Stephens, hermano mayor de Ruth, que resultó ser un nuevo padre para los sobrinos. Se encariñó especialmente con Robert, a quien llevaba consigo en las visitas a sus propiedades terreras,



Robert Manning (1816-1897)

procurando interesarlo en sus problemas. Robert era despierto y activo; sabemos por ejemplo que a los 16 años se dedicó a hacer propaganda electoral. Es natural que se fuese involucrando cada vez más en la administración de las tierras del tío y —con el tiempo— también en otras, a tal grado que en cierto momento pensó en ir a Dublín a estudiar leyes. No lo hizo, y siguió con las mismas ocupaciones hasta que, a fines de 1845, la situación se volvió algo difícil y John Stephens ya no estuvo en condiciones de darle empleo.

La conformación de Irlanda es semejante a un plato: tiene una gran planicie central separada de la costa por cadenas cerriles, y, por tanto, de difícil drenaje. Esto, combinado con la abundancia de la precipitación, favoreció la formación de extensos depósitos de torba: zonas pantanosas que es posible ganar para el cultivo. Así fue como, en 1809, se puso en marcha un programa sistemático que preveía el saneamiento de unas 800 000 hectáreas de tierra.

Con el Decreto del Drenaje Arterial de 1842, se invitó a todos los interesados en este tipo de obras a solicitar la intervención de la comisión creada con ese fin, comprometiéndose a reembolsar los gastos iniciales en el caso en que el diseño no fuera realizado.

Por el contrario, estos gastos entrarían a formar parte del costo total si el comité de obras aceptaba el proyecto. En una junta de los interesados, se definirían las condiciones y, de contarse con la aceptación de los propietarios de dos terceras partes de la superficie afectada, la obra sería llevada a cabo por la comisión, cargándose los gastos a las tierras beneficiadas (Dooge, 1987).

Un conocido de los Stephens, también él de Waterford, llamado Samuel Roberts, participaba en esta actividad como ingeniero distrital para los ríos Glyde y Dee. ¿No le haría falta un auxiliar? Fue así como el desempleado Robert Manning entra, en abril de 1846, a trabajar como contador y dibujante en la oficina de Roberts. Pero éste no tarda en darse cuenta que el hombre da para más; y a fines de octubre, al cumplir Manning los 30 años, lo ascendió a ingeniero ayudante, lo que trae consigo la responsabilidad del levantamiento, diseño y avalúo de las obras. Así nuestro héroe se estaba formando como ingeniero en el campo. Es esa misma estimulante experiencia que yo tuve la suerte de disfrutar a una edad más temprana; experiencia de la cual desearía pudieran gozar muchos de nuestros estudiantes, que por lo general salen de las aulas para ir a encerrarse en una oficina. De hecho, en ese entonces así era como tenía que formarse un ingeniero. No había en Gran Bretaña escuelas dedicadas a formar tales profesionistas, aun cuando, ya en 1818, se había creado en Londres la Institución de Ingenieros Civiles, que 10 años después conseguiría ostentar el título de Regia. Es típico el ejemplo de su primer presidente, el célebre Thomas Telford, gran proyectista y constructor de puentes, canales y acueductos, que había empezado a trabajar en albañilería de piedra, luego se volvió arquitecto y superintendente de obras, para finalmente destacar como uno de los más distinguidos ingenieros civiles de la época.

Se acercaban años terribles para Irlanda. La isla, anexada a Inglaterra en 1800, no había estado en condición de adoptar la revolución industrial de ese país. La campiña inglesa se subdividía en latifundios, cuyos labradores eran jornaleros, dispuestos a abandonar en cualquier momento la tierra para buscar trabajo en las ciudades. Por el contrario, el campesino irlandés se consideraba dueño legal de su parcela, que labraba con afecto para arrancarle el alimento de la familia, y por ningún motivo estaba dispuesto a abandonarla. En Irlanda, cuya población seguía creciendo con rapidez asombrosa, no había revolución industrial o agrícola, sino labranza rutinaria, frecuente escasez y hambre crónica.

La papa, planta de fácil cultivo y buen rendimiento, se había convertido en el alimento fundamental de los

irlandeses; pero confiar demasiado en ella encerraba su riesgo, como se manifestó en 1847, cuando algunos agricultores vieron que sus plantíos se marchitaban, secándose de repente por causa de una enfermedad que alcanzaba el tubérculo antes del desarrollo. La plaga resultó epidémica, y en poco tiempo invadió toda la isla. Empezó el período que se recuerda todavía como el de la Gran Hambruna: en cinco años Irlanda perdería, por fallecimiento o emigración, una cuarta parte de su gente.

Justamente en ese fatídico 1847 Manning es comisionado para llevar a cabo levantamientos en el oeste del país, una de las zonas más afectadas por la peste. En enero de 1848, Samuel Roberts, su jefe, es transferido, y Manning asciende a ingeniero distrital. Permanece en Obras Públicas siete años más y se aficiona a la hidrología. Un trabajo suyo, publicado en 1851 por la Institución de Ingenieros Civiles de Irlanda, expone los problemas que había que enfrentar en el Drenaje Arterial: "El gasto máximo que hay que descargar —anota Manning— es el primer punto que exige la atención del ingeniero, quien, en ausencia de toda documentación, se ve obligado a apoyarse en la información más fiel que pueda conseguir acerca de la magnitud y duración de las avenidas anteriores; método que en principio parecería ser muy práctico, pero que es el que más fácilmente lleva a cometer errores". En efecto, como una confirmación de sus palabras, en los dos años siguientes las lluvias en Irlanda son tantas que la mayoría de los ríos llevan avenidas que sobrepasan a todas las registradas antes, a veces hasta en el 100%.

Mientras tanto, la situación en Obras Públicas se hace siempre más difícil por razones económicas. Los grandes propietarios, afectados por la carestía, ponen trabas a la prosecución de las obras en curso y no se interesan por otras nuevas. Manning quiere cambiar trabajo. En 1854 solicita, sin éxito, un puesto de ingeniero portuario en Cork; luego decide que mejor se va a la India. Envía su solicitud a la *East India Company*; y efectivamente recibe una oferta; pero más tarde reflexionó en los inconvenientes que podrían resultar para la familia, y resolvió quedarse donde estaba, pensando que, con perseverancia, algo se debía poder encontrar.

Descubrió que Lord Downshire se había empeñado en realizar grandes obras hidráulicas: construir un puerto en la bahía de Dundrum y mejorar el suministro de agua a la ciudad de Belfast. Le ofreció su colaboración, que fue aceptada. Siempre cautivado por la hidrología, realizó observaciones sobre la actividad de un manantial cuyo aporte podría ser útil para Belfast, y envió un trabajo al respecto a la Institución de Ingenieros Civiles de Londres; trabajo que no sólo fue aceptado, sino premiado con una medalla de oro.

En 1869 Downshire muere; su sucesor no tiene los mismos intereses, y no le renueva el contrato a Manning. Este, a sus 53 años de edad, regresa a Obras Públicas como ayudante del Ingeniero en Jefe. Cuatro años después asciende él mismo a la jefatura, alcanzando así la cúspide de su carrera. Su tarea será supervisar el mantenimiento de los cinco Puertos Reales de Irlanda, así como de los puertos comerciales y muelles de pesca; la conservación de las obras de navegación y drenaje; el transporte por canales; la concesión de préstamos para la construcción de ferrocarriles y carreteras, redes de agua potable, alcantarillado y molinos. Al realizarse en 1878 una investigación acerca de las actividades de la Junta de Obras que él preside, Manning ofrecerá evidencias de que en los últimos siete años no ha gozado, en promedio, de más de nueve días por año de descanso. Se retira a los 75 años de edad (Dooge, 1987).

El Profesor Dooge se encontró en 1956 con un nieto de Manning y le pidió que hablase del abuelo; he aquí su descripción: "Era buen jinete y diestro pescador. No tenía ningún interés en la política. Attendía regularmente a la iglesia: hombre sinceramente religioso, pero no fanático, que vela el lado bueno en todas las denominaciones cristianas. Era de hombros cuadrados, y todavía se mantenía erecto y bien erguido a los ochenta años. Su nariz era achatada, casi como si se la hubiesen quebrado. Su voz era brusca y perentoria, y tenía una gran facilidad para explicar claramente sus ideas y dominar a un auditorio. Le gustaba invitar gente y siempre iba a comer de traje. Tomaba poco: algo de jerez en la comida y casi nada más."

Su trabajo sobre la afamada fórmula que lleva su nombre lo presentó cuando ya tenía 73 años. La fórmula, que en el fondo no era sino una de las tantas que se habían propuesto en ese último medio siglo para relacionar la velocidad media con el radio hidráulico y la pendiente, resultó al promediar siete de ellas. En un principio le salió para el radio hidráulico el exponente $4/7$; luego lo cambió a $2/3$ con base en 34 experimentos de Darcy y Bazin. Comprobó finalmente la fórmula obtenida utilizando los resultados de 170 ensayos realizados por otros cinco autores. Su conciencia de no haber descubierto una fórmula nueva la comprueba la referencia a aquella de Hagen, que conocía por haberla visto citada en un trabajo de Cunningham de 1883, aun creyendo equivocadamente que Hagen la había comprobado con los resultados de Ganguillet y Kutter, mientras que —como se dijo anteriormente— sólo la había ajustado a los del mismo Cunningham.

Ya mencionamos dos trabajos anteriores al de Manning en que aparecía la famosa fórmula: el de Gauckler y el de Hagen. De hecho, hubo dos más. En 1887, la Sociedad de Ingenieros Civiles

francesa publicó una nota de Vallot, ingeniero de artes y manufacturas, que da la velocidad en tuberías en función del gasto y la pendiente, con una expresión que no es otra sino la de Manning con coeficiente igual a 0.65. Es ésta la primera vez que la vemos aplicada a conductos cerrados. Finalmente en 1888, Thrupp, profesor ayudante en el King's College de Londres, interpretando los datos de Darcy y Bazin, propuso una fórmula general monomía en la cual aparecen como exponentes funciones de la rugosidad y de características geométricas del conducto, de la cual la de Manning se deriva como caso particular.

En todos los casos anteriores llama la atención el aparente desconocimiento de los predecesores: Hagen no cita a Gauckler; Vallot no recuerda ni a Gauckler ni a Hagen; en el trabajo de Thrupp no se menciona ni a Gauckler, ni a Hagen, ni a Vallot. La actitud no cambia después de Manning: Foss, del *Boston Water Works*, en 1894, así como Crimp y Bruges, londinenses, en 1895, utilizan la fórmula sin mencionar antecedentes.

Un esfuerzo para demostrarla, lo hallamos en el trabajo *Hydraulic theories on the flow of water*, escrito en 1896 por Tutton, de Buffalo, quien asegura haberla comprobado con los resultados de más de 1000 experimentos. He aquí, por fin, alguien que se acuerda de los precursores: Tutton menciona a Gauckler, Hagen, Foss, Crimp y Bruges, aun olvidando a Manning. Finalmente, recordaremos al suizo Strickler quien, en época más reciente (1923), exhumó la que llamó "segunda fórmula de Gauckler" y, comparándola con otras para analizar 17 series de datos experimentales del Departamento de Aguas de Berna, llegó a la conclusión de que ésta es efectivamente la mejor. Aunque a veces la fórmula haya sido recordada bajo el nombre de Strickler, hay que reconocer que él citó debidamente, además de Gauckler, a Hagen, Manning y Tutton (Williams, 1970).

Frente a esta multitud de redescubridores de la fórmula, cabe preguntarse por qué precisamente a Manning, que no fue ni de los primeros ni de los últimos, suele reconocerse su paternidad. Para aclarar el misterio, abriremos un viejo y muy célebre tratado: la *Hydraulique* de Flamant, de 1891. Después de haber dado a conocer las fórmulas de Bazin y Ganguillet y Kutter, Flamant anota: "El señor Robert Manning, profesor en el Colegio de Dublín, ha propuesto la fórmula $U = CR^{2/3} I^{1/2}$ en la cual el coeficiente C , variable con la naturaleza de la pared, tiene el valor $1/n$ del inverso del coeficiente de rugosidad n de la fórmula de Kutter... Según Manning, ella concordaría, igual que la de Kutter, con los resultados experimentales de los cuales esta última ha sido deducida. Su forma había sido indicada anteriormente por el señor

Gauckler para los valores de I superiores a 0.0007, es decir 0.70 metros por kilómetro. Para pendientes inferiores, Gauckler había propuesto $U = CR^{4/3} I$; pero él atribuía a C un valor constante" (Flamant, 1891). Dada la difusión mundial que tuvo la *Hydraulique*, libro de texto completo y excelente en una época en que escaseaban tales obras, no debe sorprendernos que todos hayan conocido finalmente la fórmula como "la de Manning".

Pero había algo más que debió contribuir a la aceptación de este nombre: el que Manning haya relacionado su coeficiente con el n de Kutter. La fórmula de Ganguillet y Kutter era la que más se utilizaba en Europa en ese entonces. Aunque bastante complicada, uno de sus méritos residía en emplear un coeficiente único (en contraste con los dos requeridos por la de Bazin), y que de este coeficiente ya se habían determinado ocho valores distintos, de acuerdo con el material de las paredes. La fórmula de Manning, sencillísima, lo conservaba. ¿Qué más se podía pedir?

Sin embargo, en un suplemento a su trabajo de 1890 publicado dos años después (Manning, 1892), luego de haber escrito: "Hay que notar que el valor del recíproco de C ... corresponde con buena aproximación al n determinado por Ganguillet y Kutter, siendo C y n constantes para un mismo canal", Manning agrega: "Pero ahora resulta de una traducción publicada recientemente bajo la responsabilidad de Hering y Trautwine... que n no es constante como ellos habían determinado, sino que varía para un mismo canal si sus dimensiones son pequeñas o grandes; con el radio medio; cuando la corriente arrastra guijarros; con la velocidad; con la pendiente de la superficie, disminuyendo, como lo hace cuando los canales son lisos y regulares, o bien aumentando, como sucede cuando son ásperos e irregulares". Y frente a este panorama catastrófico acaba por no recomendar su uso.

Felizmente, cuando se publicó el suplemento, la *Hydraulique* de Flamant ya había aparecido, y estaba inoculando en sus lectores fe en un coeficiente independiente de radio y pendiente hidráulicos, que, de conocerse en cada caso su valor apropiado, permitiría calcular la velocidad media en cualquier condición. Se publicaron luego unas tablas cada vez más detalladas de valores de n , y además series de fotos que sugieren valores adecuados para los casos más difíciles, que son los cursos de agua naturales con sedimentos y vegetación.

Sin embargo, la reticencia de Manning no estaba del todo injustificada. En un artículo publicado hace pocos meses (Burnham, 1990) se menciona un experimento sumamente interesante. Se escogieron 80 ingenieros hidráulicos que laboran en organismos oficiales de Estados Unidos, todos ellos con experiencia recono-

cida, pidiéndoles que apreciaran, con un 1% de probabilidad de error, el valor de la n de Manning para 10 corrientes distintas. De cada una se proveía una foto y descripción detallada, y se anexaba la tabla de estimación que aparece en el manual de Chow. Los resultados de la encuesta fueron sumamente variados: desde un caso de singular acuerdo, en que 43 de los ingenieros recomendaron un valor entre 0.01 y 0.02 y 35 un valor entre 0.02 y 0.03, hasta un caso de curiosa discrepancia, en que uno de ellos lo apreció entre 0.01 y 0.02, otro entre 0.02 y 0.03, siete entre 0.03 y 0.04, 17 entre 0.04 y 0.05, 16 entre 0.05 y 0.06, nueve entre 0.06 y 0.07, 10 entre 0.07 y 0.08, dos entre 0.08 y 0.09 y siete entre 0.09 y 0.10. Sobran los comentarios.

Las perplejidades de Manning no se limitaron al número n , sino que alcanzaron hasta su propia fórmula. En efecto, escribió: "Si las fórmulas modernas son casi sin excepción empíricas y no homogéneas, ni tan siquiera dimensionales, resulta obvio que la confiabilidad de toda ecuación así debe depender totalmente de aquélla de las observaciones mismas y no puede en rigor aplicarse a ningún caso fuera de ellas". Con base en esta reflexión, descarta de un plumazo su elegante fórmula y la reemplaza por otra casi tan complicada como la de Ganguillet y Kutter. Para adimensionalizarla, introduce la aceleración de gravedad y la presión atmosférica medida en altura de columna de mercurio, m , escribiendo, en lugar del simple $R^{2/3}$,

$$R^{1/2} + 0.22m^{-1/2}(R - 0.15m)$$

Queda la duda de si Manning estaba en condiciones de saber bajo qué presión atmosférica se habían realizado por lo menos algunos de los 170 experimentos que le habían servido de comprobación, y así apre-

ciar su efecto, o bien lo hizo para introducir una longitud prácticamente constante, y la seleccionó como habría podido elegir –digamos– el meridiano terrestre. El buen Flamant se sonrió y, para descargar su conciencia, acomodó la flamante fórmula a pie de página, con la seguridad de que, como a todas las notas al pie de página, nadie la tomaría en cuenta; y no se equivocó.

Con esto termina la historia de una fórmula hija de muchos padres y que no agradó al que le dio su apellido; pero que, sin embargo, no deja de ser la más sencilla, útil y querida de entre todas las que moran en ese paraíso de las fórmulas que es la hidráulica del siglo XIX.

Referencias

- Burnham, M. W. y Davis, D. W. "Effects of data errors on computed steady-flow profiles", *J. of Hydraulic Engineering*, ASCE, 116, 914–929, 1990.
- Dooge, J. C. J. "Manning and Mulvaney. River improvement in 19th century Ireland", en *Hydraulics and hydraulic research. A historical review*, Ed. G. Garbrecht, Balkema, Rotterdam, 173–183, 1987.
- Flamant, A. *Hydraulique*, Bélanger, París, 1891.
- Manning, R. "On the flow of water in open channels and pipes", *Transactions*, Institution of Civil Engineers of Ireland, 20, 161–207, 1890.
- Manning, R. "Supplement to 'On the flow of water in open channels and pipes'", *Transactions*, Institution of Civil Engineers of Ireland, 24, 179–207, 1892.
- Williams, G. P. "Manning formula – a misnomer?", *J. of Hydraulic Division*, ASCE, 96, 193–200, 1970.

* Conferencia dictada por invitación en ocasión del XIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, llevado a cabo en Montevideo, Uruguay, del 6 al 10 de noviembre de 1990.