

HIDRODINÁMICA

Clase de Ramiro Mege para
Magíster Náutico y Marítimo

03 de junio de 2011

Apunte: Jean Araya

Vamos a ver unos cálculos que se hicieron en el Río Aconcagua y varias cositas que van a ser interesantes para todo lo que tenga que ver con cosas por el estilo.

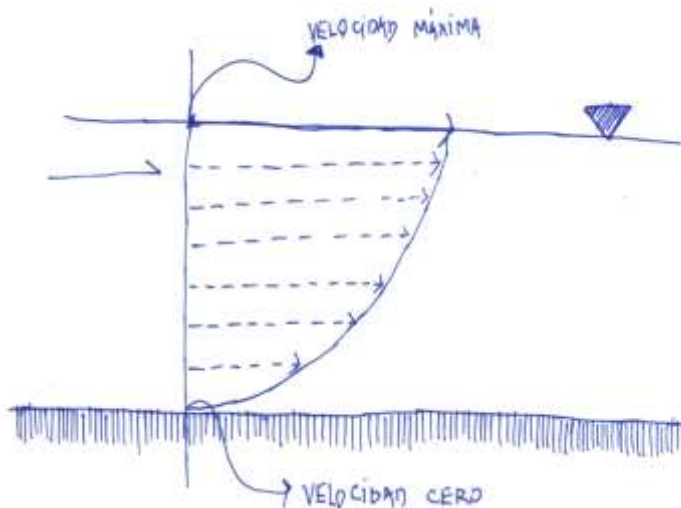
Los objetivos

- Desarrollar los cálculos necesarios para elaborar el modelo aerodinámica en la cuenca del Río Aconcagua.
- Este modelo es la base empírica para la propuesta de un puerto de dicho lugar.
- Aplicar el análisis del comportamiento del caudal del río en su desembocadura.

Situación actual del río en el área de la desembocadura

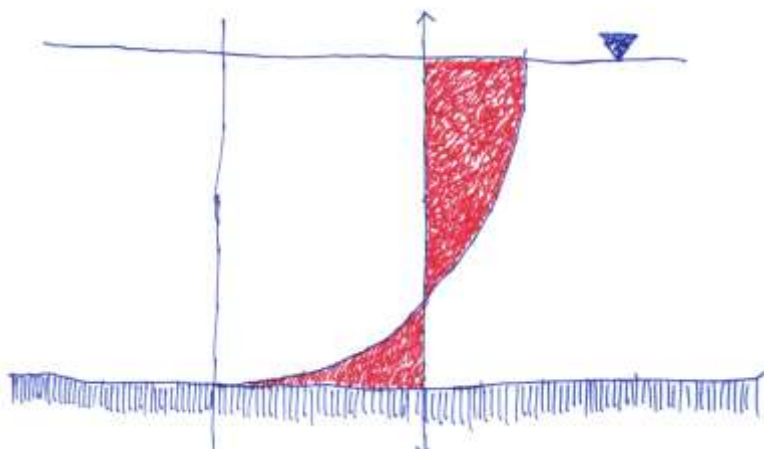
Lo primero fue la velocidad del agua en la desembocadura. Se midieron en los brazos tanto al norte como en el brazo sur. El brazo sur es el de mayor caudal, de mayor importancia, el brazo norte es más pequeño, pero toma importancia cuando hay crecida y es cuando desaparece todo lo que está en el medio.

¿Cómo se midió la velocidad? La velocidad se midió tomando el tiempo para una distancia determinada de un objeto flotante, que estaba arrastrado por el agua. Esa forma de medirla considera lo siguiente:



Está el nivel del líquido que se mueve en una dirección y abajo tenemos el lecho del río, uno puede darse cuenta por lo que hemos estudiado que aquí la velocidad es cero y como nos vamos alejando del fondo, arriba tenemos la velocidad máxima, así que si superpusiéramos en él el perfil de velocidad va a ser algo como aquella curva dibujada. Entonces cuando medimos con un objeto flotante corresponde a la velocidad máxima del agua. A no ser que hubiera otro agente como vientos en sentido contrario y que lo frenara, pero si está en calmar la velocidad máxima aquí debiera ser en la superficie.

Ellos hicieron las mediciones en distintos lugares y llegaron a un valor promedio de: 0,14 metros por segundo en el brazo sur.



Después se aplica una relación que hace que esta área de adyacentes a la curva de velocidad, sea igual en ambas áreas. Entonces este valor que se puede determinar viene a ser la velocidad media del flujo en todas las secciones. Se empleó ese método y se determinó esa velocidad de 0,14 metros por segundo.

Después se midió el área de la sección transversal del río también en el brazo sur y ese dio: 490,17 M²

Si tenemos el área y tenemos la velocidad podemos sacar el flujo que había en el río en ese momento y dio un caudal de:

$$Q = V A$$

$$Q = 0,14 M/S * 490,17 M^2$$

$$Q = 68,62 M^3/S$$

Averiguaron y que a veces es bastante útil, es qué saben los vecinos del sector. Entonces para los vecinos la crecida máxima fue en 1987. El río llegó hasta 50 cms por sobre el nivel de la isla pasaba por sobre el puente. El cálculo se hace en un corte transversal del río arriba de la altura de los puentes y se considera el área total del brazo norte, el área total del brazo sur y los 50cm de altura sobre el puente y la isla. El área obtenida total de los cuatrocientos y tantos, pasó a 2.475m². Según nuestras investigaciones que se hicieron, el caudal máximo estimado en mil años, según la revista geográfica de Chile, el Instituto Geográfico Militar el caudal máximo es de 1.920m³ por segundo.

$$Q_{\text{máximo}} = 1920 M^3/S$$

El rango se considera entre 68,62 M³/S y 1920 M³/S

Una cantidad impresionante ellos lo que midieron fue 68 mt por segundo. Entonces ellos dicen que sus rangos para hacer los análisis están entre el valor medido 68,62 y lo 1.920m³ por segundo y por lo tanto las pruebas que van a ser, van a ser en ese rango de caudal. Ahora teniendo esos datos hay que construir un modelo.

La idea es que haya una exacta similitud entre el modelo y el prototipo

- Ser iguales los números de Reynolds

$$\frac{\rho_m L_m \mu_m}{\mu_m} = \frac{\rho_p L_p \mu_p}{\mu_p} \quad V_m L_m = V_p L_p \quad V_m = V_p \frac{L_p}{L_m} = V_p \lambda$$

- Ser iguales los números de Froud

$$\frac{V_m}{\sqrt{g_m L_m}} = \frac{V_p}{\sqrt{g_p L_p}} \quad V_m = V_p \sqrt{\frac{L_m}{L_p}} = V_p \sqrt{\frac{1}{\lambda}}$$

Entonces hay que tomar una decisión sobre cuál de estos dos elementos o parámetros vamos a considerar, en estos casos:

Los efectos de la viscosidad en cierto flujo de equilibrio son pequeños comparados con los efectos de la aceleración de gravedad.

Entonces significa que los efectos viscosos, número de Reynolds tienen menos importancia que el número de Froud que tiene que ver con la aceleración de gravedad, en consecuencia se va a utilizar el número de Froud para mantener la igualdad y buscar las velocidades correspondientes entre modelos y prototipo.

Ahora se debiera asegurar que en el modelo los efectos viscosos no debieran ser importantes ¿Cómo se logra eso? El tamaño del modelo. Mientras más grandes menos importantes son los efectos viscosos y lo otro si el flujo en el prototipo es turbulento en el modelo debe serlo también, si uno es laminar en el otro también, si uno es turbulento en el otro turbulento y con eso hay una cercanía más en la similitud, así que es un punto que hay que considerar, se hace el modelo de algunos de estos proyectos que se vaya dando esa situación.

Características del modelo hidráulico.

- El modelo se construye en la vega de la ciudad abierta
- La escala es $\lambda = 250$ ó $1=250$
- Abarca una superficie de 8x16
- Están enmarcadas en la isla de Concón, el borde de Concón su bahía y una extensión del río hacia el interior eso hay que abarcar el área lo más grande posible del río y todo su re-entorno precisamente para ver como se comporta.
- Se conservaron todas las medidas a escala.
- Se utilizó arena fina para moldear la tierra y gravilla de $\frac{3}{4}$ formando también los márgenes terrestres con polietileno negro, así como toda la superficie del modelo.
- Se niveló una base con una pendiente de $0,1^\circ$, es decir, en cinco kilómetros sube 10 mts. Porque es la misma pendiente que tiene el río. El río acá tiene la desembocadura y poquísima pendiente de 5 km es bastante en metros, pero en kilómetros es poquísimo.
- Para la realización de las pruebas se usó una motobomba con una válvula de regulación de manera de representar en el modelo los distintos caudales.

Datos necesarios para la representación en el modelo

I. Para Q = 68,6 m³/s A = 490,17 m²					
	1. Cálculo de la Velocidad del Prototipo	2. Cálculo de la Velocidad del Modelo	3. Cálculo del Caudal en el Modelo	4. Conversión de m³/s a l/s	5. Conversión a la bomba
FÓRMULAS	$V_p = \frac{Q}{A}$	$V_m = \frac{V_p \cdot \sqrt{L_m}}{\sqrt{L_p}}$	$Q_m = V_m \cdot A_m$	$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$	Balde = 20 litros
	$V_p = \frac{68,62 \text{ m}^3/\text{s}}{490,2 \text{ m}^2}$	$V_m = \frac{0,140 \text{ m}}{\text{s}} \cdot \frac{\sqrt{1 \text{ m}}}{\sqrt{250 \text{ m}}}$ $V_m = \frac{0,140 \text{ m}}{\text{s}} \cdot 0,060$	$Q_m = \frac{0,008 \text{ m} \cdot 490,2 \text{ m}^2}{\text{s} \cdot 62500}$ $0,008 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,008 \text{ m}^2$	$Q_m = 0,0659 \text{ l/s}$	$= \frac{20 \text{ litros} \cdot 1 \text{ s}}{0,066}$ $= 303,6 \text{ s}$
RESULTADOS	$V_p = 0,140 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$V_m = 0,008 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$Q_m = 6,59E-05 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_m = 0,0659 \text{ l/s}$	Llenado = 303,6 s 5,06 m
II. Para Q = 1920 m³/s A = 2476,5 m²					
	1. Cálculo de la Velocidad del Prototipo	2. Cálculo de la Velocidad del Modelo	3. Cálculo del Caudal en el Modelo	4. Conversión de m³/s a l/s	5. Conversión a la bomba
FÓRMULAS	$V_p = \frac{Q}{A}$	$V_m = \frac{V_p \cdot \sqrt{L_m}}{\sqrt{L_p}}$	$Q_m = V_m \cdot A_m$	$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}$	Balde = 20 litros
	$V_p = \frac{1920 \text{ m}^3/\text{s}}{2477 \text{ m}^2}$	$V_m = \frac{0,775 \text{ m}}{\text{s}} \cdot \frac{\sqrt{1 \text{ m}}}{\sqrt{250 \text{ m}}}$ $V_m = \frac{0,775 \text{ m}}{\text{s}} \cdot 0,060$	$Q_m = \frac{0,047 \text{ m} \cdot 2477 \text{ m}^2}{\text{s} \cdot 62500}$ $0,047 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,04 \text{ m}^2$	$Q_m = 1,8432 \text{ l/s}$	$= \frac{20 \text{ litros} \cdot 1 \text{ s}}{1,843}$ $= 10,85 \text{ s}$
RESULTADOS	$V_p = 0,775 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$V_m = 0,047 \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$Q_m = 0,001843 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q_m = 1,8432 \text{ l/s}$	Llenado = 10,85 s

¿Cuáles tenían que ser los valores del modelo? Bueno y se hicieron los ensayos, la velocidad era tan baja que la bomba no lo podía proporcionar, lo que si se optó por buscar la mínima velocidad posible y se hizo el ensayo.

Entonces la primera prueba se realizó con un caudal de 0,41 litros por segundo y la observación que ellos hicieron se comienza a abrir el brazo norte, vale decir, que a veces está cerrado y comienza a inundar la zona menos consolidada, las zonas más bajas ya la empieza a inundar es un caudal bastante mayor que el mínimo que ellos habrían observado.

Después hacen lo mismo en la segunda prueba con el caudal de 2,16 litros por segundo para el modelo, el brazo norte sale completamente y comienza a inundar la isla,

aparecen los límites naturales: la línea del tren, se corta el puente del brazo norte, está más inundado esa tiene más velocidad porque tiene menos área. Si ahí eso que tenga más velocidad porque tiene menos área es la pendiente que tenga ese lado o cómo la trayectoria que trae el río encausa más agua por ese lado porque aquí no se reparte uniformemente en uno ni en otro lado, sino que se reparten des-uniformemente según cómo sea el río aguas arriba de este sector. La boca unías las aguas y protegida de las olas surweste y norte, se forma una desembocadura en el brazo norte, la boca acelera la ola norte logrando entrar generando una entrada, generando una ola que se expande hacia el interior del brazo sur. Cuando ocurre entonces esta inundación las olas que no tenían ningún efecto ahora ingresan hacia el interior del río y eso ocasiona un mayor atascamiento del agua que viene saliendo, la ola impide la libre salida y eso colabora con la inundación de los distintos sectores

¿Qué se hizo después? Se llegó a esos ensayos y se llegó a la conclusiones que acabamos de ver, pero se empleó esta otra *ecuación la de Manning* para determinar la velocidad. Esta ecuación de Manning nos permite determinar la velocidad de un flujo conociendo:

El área de la sección transversal del río

El radio hidráulico del mismo

La pendiente del río

El coeficiente de rugosidad

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

V [m/s]

Q [m³/s]

R [m]

n [-]

S [-]

Ahora estas fórmulas son empíricas entonces bueno el radio hidráulico de las mediciones que se hicieron según se pueda obtener la pendiente, también se conoce y el n, el n esta constante o este coeficiente de rugosidad es algo que uno va a tomar asumiendo ciertas condiciones del río.

Bueno el área del levantamiento son 4 áreas distintas, con más seguridad el del cauce, se tomaron cuatro áreas distintas, vale decir, 4 niveles distintos de inundación hasta llegar al nivel del suelo del puente.

El valor n en este caso se tomó 0,035 y ¿Cómo se toma ese valor?

A ellos yo les pasé de un libro una serie de fotos y descripciones de tipos de ríos, entonces ellos encontraron que éste que tenía este coeficiente era el que más se aproximaba al Río Aconcagua que tiene la siguiente descripción: canal natural, pendientes laterales o más o menos regulares, fondo más menos regulado, arcilla gris clara y marga limosa marrón claro muy poca variación en la sección transversal.

Entonces hay varias descripciones y de ahí uno saca el valor n por lo que más se aproxima a lo que uno tiene, de tal manera que podríamos decir que es relativamente poco fiable por la manera de obtener el valor no es tan precisa o científica como uno quisiera, cuando nosotros para cañería sacábamos el factor de fricción, con el número de Reynolds, la rugosidad relativa y teníamos un número, eso es rigurosos, en cambio aquí, es una aproximación a una situación. Entonces hay n descripciones de los distintos tipos de canales, ríos y para este grupo este fuerte más se aproximaba a lo que era el Río Aconcagua. Entonces usaron un n de 0,035.

COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (n)

Para $n = 0,035$.

Que tiene la siguiente descripción: canal natural, pendientes laterales algo irregulares, fondo más o menos nivelado, limpio y regular; en arcilla limosa gris clara a marga limosa marrón claro; muy poca variación en la sección transversal



15

Ahora tenemos una vista comparativa claro que este río es bastante más amplio que el que se veía en la foto anterior, pero también tenemos lo largo en las orillas, este no es un río pedregoso para nada, no es como un Bío Bío por lo menos aguas arriba que son puras piedras.

Sacan piedras de más arriba.

De más arriba, abajo es casi arena. Entonces se asemeja mucho.

-Boris: Queda esta laguna casi todo el verano, entonces los caudales son muy pocas veces que abre la barra, todo el agua hoy día se puso en regadía.

Entonces ellos a través de la fórmula de Manning fueron tomando para el brazo sur distintas superficies, ellos en la foto la identificaron con colores, por eso sale la roja y determinaron distintos caudales.

Suponemos un área de: ██████████					
Brazo Sur 578,136 m ²					
1. CÁLCULO DEL CAUDAL			2. CÁLCULO VELOCIDAD		
$Q = \frac{0,823}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$	n	A (m ²)	$R^{2/3}$ (m)	$S^{1/2}$	$V = \frac{Q}{A}$
$Q = \frac{0,823}{0,035} \cdot 578,136 \cdot \left[\frac{578,1357}{179,7705} \right]^{2/3} \cdot \left[\frac{10}{5000} \right]^{1/2}$					$V = \frac{1302,783 \text{ m}^3/\text{s}}{578,1357 \text{ m}^2}$
$\frac{0,823}{0,035} \cdot 578,136 \cdot \left[3,21596536 \right]^{2/3}$					
$Q = 23,514286 \cdot 578,136 \cdot 2,178 \cdot 0,044$					
Q = 1302,7831 m³/s					V = 2,253421 m/s

Suponemos un área de: ██████████					
Brazo Sur 763,192 m ²					
1. CÁLCULO DEL CAUDAL			2. CÁLCULO VELOCIDAD		
$Q = \frac{0,823}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$	n	A (m ²)	$R^{2/3}$ (m)	$S^{1/2}$	$V = \frac{Q}{A}$
$Q = \frac{0,823}{0,035} \cdot 763,192 \cdot \left[\frac{763,1917}{192,1741} \right]^{2/3} \cdot \left[\frac{10}{5000} \right]^{1/2}$					$V = \frac{1979,577 \text{ m}^3/\text{s}}{763,1917 \text{ m}^2}$
$\frac{0,823}{0,035} \cdot 763,192 \cdot \left[3,97135566 \right]^{2/3}$					
$Q = 23,514286 \cdot 763,192 \cdot 2,507 \cdot 0,044$					
Q = 1979,5772 m³/s					V = 2,593814 m/s

17

Acá 1.300m^3 por segundo, la velocidad de 2,25 metros por segundo, aquí con una superficie mayor, les da un caudal mayor naturalmente de 1.979 y una velocidad ligeramente mayor que la anterior 2,59 metros por segundo, si bien los caudales crecen bastante, las velocidades no tanto porque creció el caudal porque creció esencialmente el área, crece el área y el radio hidráulico, pero los otros factores el n es constante, la pendiente permanece constante, entonces la velocidad crece pero levemente ese es el brazo sur y se llega a que el brazo sur,

Bueno entonces aquí tomando la ecuación de Manning calculan el caudal y con el caudal calculan la velocidad que podría tener si cubre, si tiene esa área transversal y naturalmente da las velocidades y se toman cuatro niveles hasta llegar a la altura del puente.

Con estos valores para aplicarlos ahora al modelo se tiene el caudal y el área calculada anteriormente, se calcula la velocidad del modelo, el caudal en el modelo, entonces lo hacen para cada uno de los caudales calculados por el método de Manning anteriormente, los otros dos que faltaron naturalmente uno de 3.200 , 3.600m^3 por segundo cuando llega al nivel del puente. Y de ahí sacan las conclusiones que deben tener en el modelo. Las velocidades, los caudales deben quedar en esas condiciones.

-Boris: Creo que lo que pasó Ramiro fue que estos datos eran en Quillota, entonces lo que se hizo fue agregar el caudal que faltaba desde Quillota hasta Concón y creo que daba 6000m^3 por segundo. No sé si se usó después no me acuerdo bien.

En resumen si se va a trabajar con canales lo primero es que se va a trabajar con el número de Froud, guardando la precaución de que el tipo de flujo sea semejante, no vamos a tener nunca el mismo número de Reynolds, pero cuando son turbulentos que sean turbulentos ambos, y cuando son laminales que sean laminales.

-Boris: Aquí ellos no usaron el número de Reynolds para ver el flujo.

- Ramiro: No, aquí yo pasé unos apuntes en que hay indicada esa advertencia que de ahí sacaron el valor N entre otras cosas.

-Boris: No está calculado el número de Reynolds.

- Ramiro: No, no está calculado podría haberse calculado tanto para el prototipo como para el modelo para ver si por lo menos es el mismo tipo de flujo.

Y la ecuación porque la primera parte anduvo bien cuando se usó simplemente los datos medidos y los datos de la dirección de agua, esos eran coincidentes ¿Dónde se nos separan? Es acá cuando se usa la fórmula de Manning, puede ser tan simple como que se tomó el valor de N y no sea el adecuado porque ese es Manning. Hay por las descripciones son bastante simples, entonces puede uno cometer un error grave sobretodo que en esto uno no tiene experiencia, después se empiezan a ajustar, entonces uno calcula con Manning y después va viendo en la práctica, va comparando sus resultados con lo que realmente es, entonces puede ir ajustando los pequeños detalles. Entonces porque esas descripciones del lecho son bastante poco certeras. Eso era lo que quería mostrarles sobre el asunto del río y que se va aplicar en el proyecto.

-Boris: Es bastante sencillo a la larga es básicamente caudal y velocidad.

Sí, es sencillo tal vez dónde se complica la cosa, es después en el hacer el análisis de los resultados porque a nosotros no nos debe bastar con que llegamos a una cifra sino saber qué nos está indicando esa cifra, si son cifras creíbles o no. Lamentablemente en la

época que estamos viviendo uno se confía mucho en el computador y la calculadora y arroja un número, yo lo veo en mis alumnos, y la mayoría cree en el número que les sale. Uno tiene que darse cuenta que hay valores que son absurdos y no pueden ser, que algo anda mal, que algo hay que recomponer, analizar y buscar no solo decir el tamaño, sino las causas del error para solucionarlo.

-Pablo: Nosotros hemos visto las olas con Jorge pero cómo calcular nosotros Boris los efectos de las olas.

-Boris: *Pero la otra vez pasamos con Ramiro todo lo que es efecto de olas. Hubo una clase especial de olas para análisis dimensional.*