

MECÁNICA DE FLUIDOS

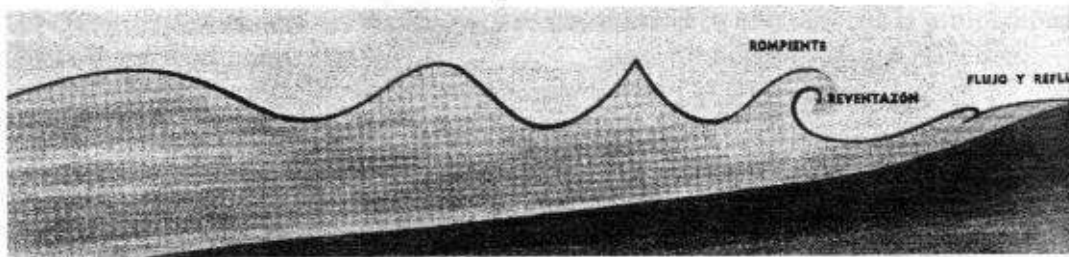
Clase de Ramiro Mege
Magíster Náutico y Marítimo

20 Mayo 2011

Apunte: Leslie Krebs

Las Olas

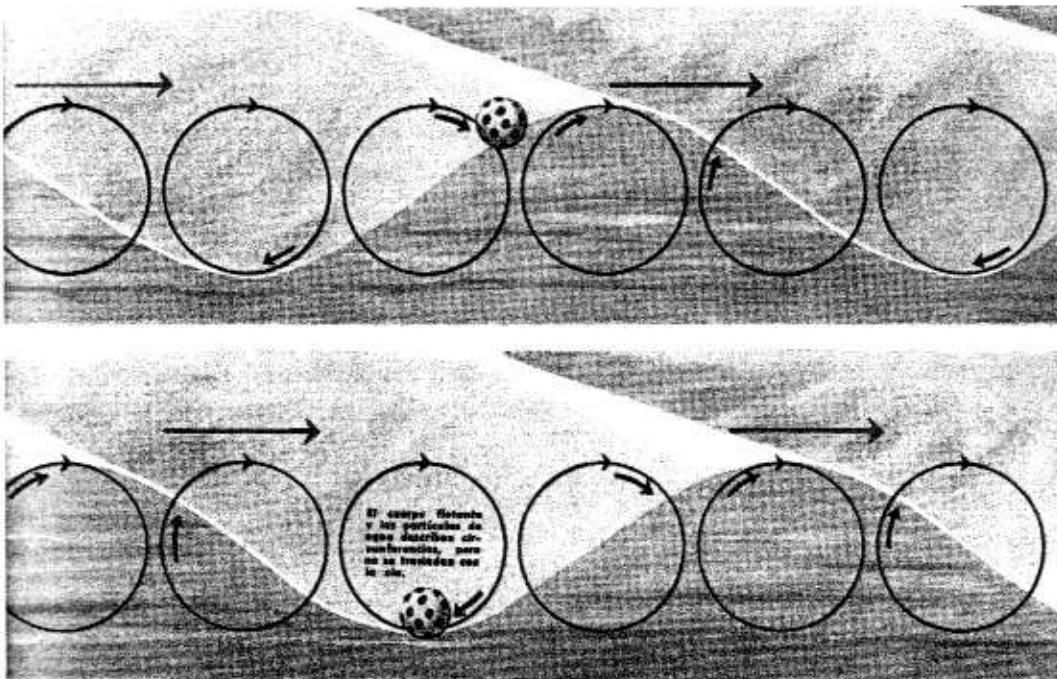
Las olas corresponden en su inicio y en gran parte de su recorrido a un movimiento de energía, no es un movimiento de masa. (Inicialmente al menos). Así podemos ver que si hay una embarcación esta sube y baja, no se desplaza junto con la ola.



Etapas de una ola.

Y cuando disminuye la profundidad se frena este impulso, esta energía, y genera las olas que conocemos que llegan a la orilla del mar y que se levanta, forma una cresta y tenemos un movimiento del agua, vale decir toda la energía se desarma.

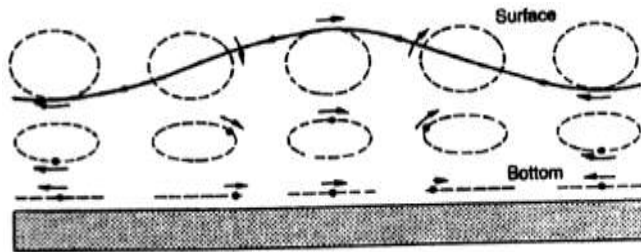
Es como la punta de un látigo cuando nosotros movemos un látigo se transmite la energía desde nuestro brazo hasta la punta y en la punta... chicotea, pero entremedio es solo una ondulación, eso pasa en una ola.



Movimiento circular

Ahora el movimiento que se produce si nosotros tuviéramos una esferita que pudiéramos dejar flotar haría un movimiento circular y por eso cuando hay un cuerpo que sube y baja, pero no se desplaza. Por eso también cuando hay un maremoto, en alta mar no surge ningún peligro, porque se traslada la energía, pero no hay un movimiento perceptible del agua, aparte de subir o bajar muchas veces. Por ser el mar profundo es muy pequeño, pero solamente cuando llega a la orilla causan los estragos que nos tocó vivir hace un año y hemos visto también que sucedió en Japón. De esa manera se comportan las moléculas de agua en una ola, va girando formando una trayectoria circular.

Ahora esto ocurre en la superficie, pero a medida que aumenta la profundidad el círculo que fue muy perfecto aquí en la superficie se va achatando y se va convirtiendo en una elipse con la profundidad hasta que en el fondo en la zona de contacto con tierra prácticamente ese movimiento circular desaparece.



Nosotros tenemos en nuestra tierra **SISTEMA DE CIRCULACIÓN GENERAL DE AGUA Y CORRIENTES PRINCIPALES**

¿por qué se genera esta circulación general y estas corrientes principales?

- por la acción del sol y la luna que nos generan la marea.
- por el efecto de rotación de la tierra, los efectos que se llaman de corriente.
- por características físico-química del agua.

Todo eso genera sistemas de circulación y corrientes principales que recorren la tierra.

Nosotros tenemos entonces una corriente de Humboldt en nuestras costas, están las corrientes del golfo que son bastante conocidas.

La rotación de la tierra, el efecto de coreólisis, nosotros lo podemos experimentar hasta en el lavatorio de la casa, cuando sacamos el tapón vamos a ver que el agua empieza a girar y aquí como estamos en el hemisferio sur se produce un giro en el sentido de las agujas del reloj. En el hemisferio norte en el sentido contrario de las agujas del reloj.

Eso por el efecto de la rotación de la tierra que tiene esta fuerza de coreolisis, a veces nos trae bastantes problemas. Lo vemos en los Huracanes en EE.UU, en lo que pasa en América Central, en cómo se generan esas corrientes.



Además lo que ocurre con esas corrientes principales tiene que ver con:

- las condiciones del fondo marino o del fondo del lugar en que estas se producen.
- la cercanía con los continentes
- las condiciones meteorológicas.

Por ejemplo la corriente del golfo que es una corriente cálida con agua bastante tibia, va a dar por allá a Europa, en la zona del norte de Inglaterra, la zona de Dinamarca, así que el mar allá suele ser más tibiecito que aquí, porque la corriente esa circula en esa dirección e incluso son corrientes tan fuertes que han hecho algunas naves, algunas embarcaciones para estudiar estas corrientes que se desplazan con la corriente en forma submarina. Todas estas corrientes influyen en la vida sobre la tierra, en el clima y en la fauna.

En el caso de las OLAS, los tres elementos que las producen son:

- generación por el viento
- por la acción del sol y la luna, fuerzas de atracción
- por los sismos.

Esto no solamente puede ser en el mar, sino lo podemos ver en los lagos, grandes y a veces no tan grandes donde podrían ser más importantes los vientos o podrían ser importantes también los sismos que se produzcan, más que el efecto del sol y la luna (efecto de atracción y marea es de carácter más global.)

El sol y la luna producen olas de marea.

La gracia de estas olas de marea es que son perfectamente predecibles, nosotros sabemos que la marea cambia cada 6 horas, etc. Y entonces se puede predecir en el tiempo y en la magnitud. Hay libros que distribuye la Armada donde vienen las mareas día a día, para distintos puntos. Nos señalan las máximas y las mínimas y lo que se espera en general.

Ahora las olas pueden tener cambios en su magnitud, por el efecto más contingente como pueden ser los cambios meteorológicos.

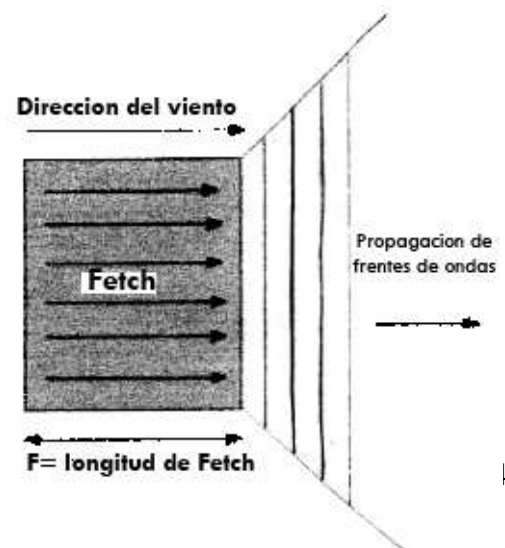
El oleaje producido por los vientos viaja en trenes de olas. O sea una ola detrás de otra que contienen olas de diferentes tamaños y períodos. El período es el tiempo entre una ola y otra.

El tamaño se puede medir por la longitud de la ola y por su altura, la longitud del tren y la magnitud de las olas dependen:

- 1- de la dirección y velocidad del viento
- 2- de la localización y tamaño de Fetch

¿Qué es ese Fetch?

El Fetch es un área, un área sobre la cual está actuando el viento y es en esa área que se generan las olas y después de esto, de esta zona en que está actuando el viento, las olas se propagan simplemente, empiezan a viajar, se generaron aquí y se propagan en distintas direcciones y nosotros muchas veces tenemos una marejada muy fuerte acá porque hubo un temporal para afuera que nosotros ni tuvimos idea.



Estamos con un día precioso aquí en Viña y el oleaje es tremendamente fuerte ¿por qué? Por un temporal que se generó mar afuera muy distante, pero ha actuado por un tiempo bastante largo como para generar ese tipo de ola.

Esa área en que está actuando de frente el viento es lo que se llama Fetch.

Ahora se usa también esta palabra en varios otros aspectos, pero uno es en los aspectos meteorológicos.

Las olas generadas por sismos que los conocemos como maremotos, ahora los llamamos tsunamis.

- se producen en áreas profundas
- producen una gran longitud de ondas
- de gran poder destructivo en aguas poco profundas.

Ahora ¿por qué se genera un maremoto? Por un desplazamiento formidable de agua, el fondo marino se eleva o baja, entonces desplaza grandes cantidades de agua, si eso fuera en una zona de baja profundidad la cantidad de agua que se movería sería pequeña, pero cuando se produce lo mismo a gran profundidad la columna de agua que hay encima es muy grande y por eso se genera estas olas que tienen una gran cantidad de energía concentrada y nos producen grandes dolores. Siempre hay más posibilidad de maremoto en las aguas poco profundas, o cuando llega una ola a zonas poco profundas.

Las olas en las costas generan fuerzas, estas olas si nosotros vamos a hacer una construcción tenemos que evaluar esto. Ahora ¿Qué generaliza o qué cosas tiene que ver con la ola?

- su amplitud o la longitud de la ola (Tal vez uno o el otro)
- el período
- y la dirección.

Estas variables dependen:

- en las condiciones que se generaron
- las pérdidas de energía en su recorrido
- modificaciones por difracción y refracción.

Las condiciones que se generan, como se sabe tenemos un Fetch muy distante que no lo apreciamos nosotros, y nos llegan las olas acá, pero esas olas han recorrido un cierto camino y en ese camino recorrido han perdido una cantidad de su energía. Esa cantidad de energía perdida también depende de la profundidad que tiene el mar y las condiciones que se vayan dando, en buenas cuentas se generan en un punto y después se van a recorrer. Entonces no tienen nuevos elementos que estén alimentando, sino al revés esa energía poco a poco se va disipando, muchas veces no se disipan lo suficiente como para desaparecer, entonces llegan a la costa.

Lo otro es que los cambios de profundidad pueden producir cambio en la ola, principalmente en la amplitud o en la longitud y en la dirección. El período generalmente es constante, vale decir, el tiempo se mantiene, pero pueden cambiar su longitud, su altura.

La refracción es cuando se llega a, por ejemplo, un puerto y entonces ahí por los muros o por los roqueríos se forman nuevas olas.

Los trenes de olas se representan por medio de una ola característica que se denomina “**ola significativa**”, en ese tren de olas... unos dicen que la tercera ola es la más grande, hay otras más pequeñas, entonces como hay distintas magnitudes en un tren de olas, para hacer ciertos cálculos hay que buscar esa ola significativa, la que sea representativa en el tren de olas.(no es fácil obtener esa ola significativa)

Hay una teoría que es la **TEORIA TROCOIDAL**, que llega a formar o darle la forma de la ola en base a un círculo que tiene un veinteavo de L, L es la longitud de la ola, vale decir, entre cresta y cresta o entre seno y seno de la ola, esa es la longitud de la ola.

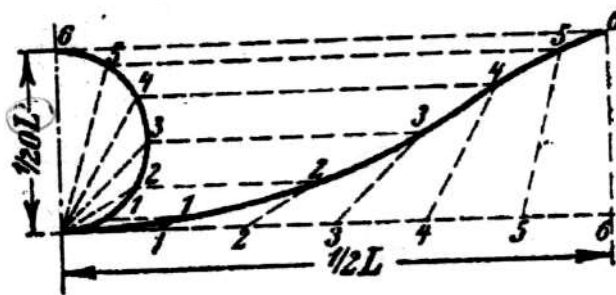


Fig.5 Trocoide

Entonces se traza un círculo que es un veinteavo de L y ese se divide en 6 partes y la mitad de la longitud de la ola, entonces se proyecta de esa manera, como está ubicado en la fig. 5 y se puede obtener la forma que va tomando la ola. Esto es para uno darle una imagen a la ola y otro es para poder entrar a calcular.

Para el cálculo de la ola se usan las **ecuaciones de Navier – Stocks**, para un flujo incomprensible. Cuando se usan no incluyen las variaciones de tensión de segundo orden.

$$\begin{aligned} \frac{DV_x}{Dt} &= B_x + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\delta\sigma}{\delta_x} + \mu\nabla^2 V_x \right) \\ \frac{DV_y}{Dt} &= B_y + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\delta\sigma}{\delta_y} + \mu\nabla^2 V_y \right) \\ \frac{DV_z}{Dt} &= B_z + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\delta\sigma}{\delta_z} + \mu\nabla^2 V_z \right) \end{aligned}$$

Son ecuaciones bastante complejas, difíciles de resolver y generalmente hay más incógnitas que ecuaciones. (Ecuación llena de derivadas sustanciales, parciales ..., entonces tratarlas matemáticamente es una cosa que se puede hacer tratándolas mediante estas ecuaciones, pero es bastante compleja. Hay que saber que se puede manejar matemáticamente, pero es complejísimo).

Para el estudio de **olas de pequeña magnitud** se emplea la teoría Lineal desarrollado por Stokes, utilizando solo el primer término de la ecuación anterior, generándose una ola *sinusoidal* que genera el seno de la ola, con las siguientes características:

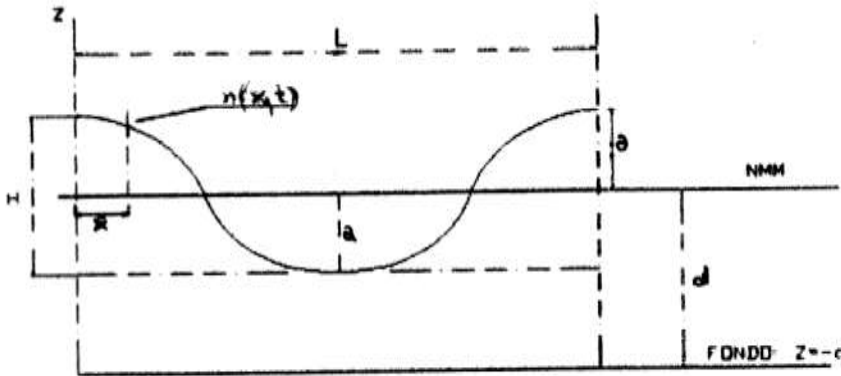


Fig. 6 Ola de pequeña magnitud

- | | |
|---------------------------------------|---|
| NMM = nivel medio del mar | $n(x,t)$ = Variación instantánea de la superficie |
| d = profundidad del mar | a = amplitud de la ola |
| $H = 2a$ = altura de la ola | L = longitud de la ola |
| $n(x,t) = a \cos(Kx - St)$ | K = número de la ola = $2\pi / L$ |
| S = frecuencia angular = $2\pi / T$ | T = período de la ola |

*¿En lo cotidiano cuando se habla de 4 mts. de la ola es la altura total de los 2 senos ?
 Si, se habla del H, $H = 2a$

Para el análisis de **olas finitas**, Stokes agrega los términos de orden superior de la ecuación de Navier-Stokes, en este caso los términos de segundo grado.

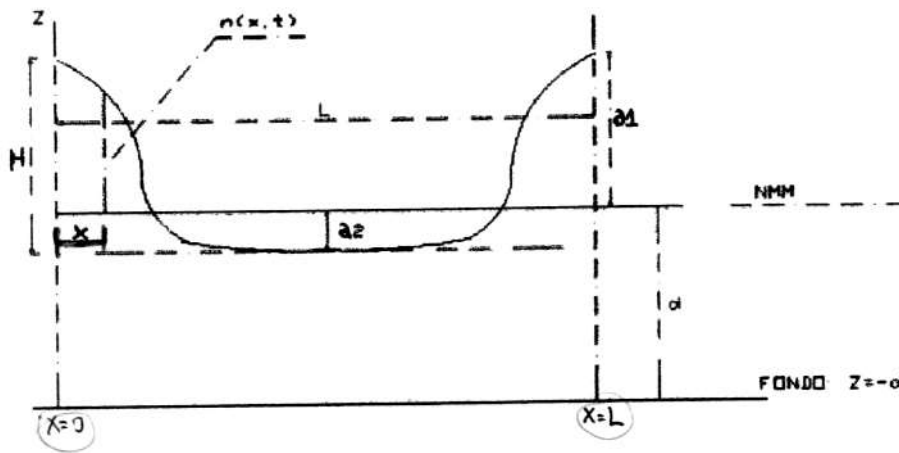


Fig. 7 Ola finita.

NMM = nivel medio del mar
 d = profundidad del mar
 a_2 = amplitud inferior de la ola
 L = longitud de la ola
 $n_1 = 0,5 H \cos(k x - S t)$
 $k_2 = H (1+3/(2\text{senh } K d)$
 $K = \text{número de la ola} = 2 \pi / L$
 $T = \text{período de la ola}$

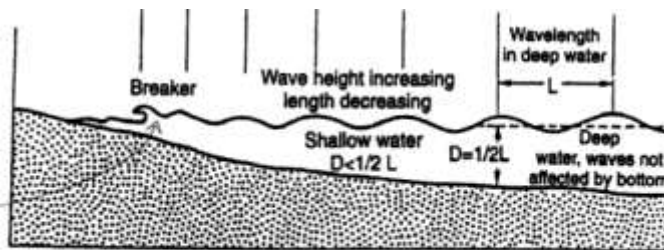
$n(x,t) = \text{Variación instantánea de la superficie}$
 $a_1 = \text{amplitud superior de la ola}$
 $H = a_1 + a_2 = \text{altura de la ola}$
 $n(x,t) = n_1 + k_1 k_2 k_3$
 $k_1 = \pi H / 4 L$
 $k_3 = \text{Ctgh}(K d)\cos 2(K x-S t)$
 $S = \text{frecuencia angular} = 2 \pi / T$

Siempre la altura va a ser la suma de las dos, pero la anterior tenía la facilidad que a_1 y a_2 eran iguales. Ahora son distintas.

El X es el punto que estoy analizando, cuando saco punto a punto el X es la distancia así que aquí estaría X_0 justo cuando coincido con el eje y podría llegar hasta $X = L$. (ver fig. 7)

Esto ¿para qué nos sirven estas relaciones ?

Para poder trazar la altura, para poder trazar la forma de la ola.



Desarrollo de la ola.

En esta figura superior queremos señalar que:

- tenemos un mar profundo, en que la profundidad le llamaron D mayúscula y es = o mayor a la mitad de L en el mar profundo.
- tenemos un mar menos profundo
- y la parte de la rompiente.

En la parte en que la profundidad disminuye, no nos cambia el período, pero si uno puede cambiar la longitud y la amplitud por la altura de la ola.

Las olas se caracterizan por:

- H , la altura (acá entra la amplitud)
 - L , la longitud
 - T , el período
- El período es el valor constante durante la existencia de la ola
 - La altura y la longitud se modifican con el tiempo.

Mar profundo se considera a aquel en que la relación longitud de ola dividido a la profundidad es mayor a 2. En este caso la rugosidad del fondo no afecta su comportamiento. Al pasar a un mar poco profundo, la fricción del agua con el fondo hace disminuir la longitud de la ola y aumenta su altura.

Fíjense que eso que sea profundo, no es tan profundo, porque L partido por d es mayor que 2, vale decir que la longitud de la ola es dos veces la profundidad.

$L_0/d > 2$, con eso es suficiente para que en el fondo no influya en el tránsito de la ola.

Entonces cuando la designemos L_0 es para mar profundo, la longitud de la ola en mar profundo. H_0 es la altura de la ola en mar profundo y C_0 es la aceleridad. La aceleridad es la velocidad de la ola, donde

$$C_0 = L_0 / T \text{ , T es igual al período, o sea el tiempo(x segundos).}$$

$$C_0 = 1,56 T \text{ m/s}$$

Ahora si tenemos todo podemos comprobar la cosa como está funcionando porque a veces no es fácil medir los tiempos para medir la longitud del agua.

Mar profundo $d/L_0 > 1/2$		
$d =$ profundidad del mar	$L_0 =$ longitud de la ola	$H_0 =$ altura de la ola
$T =$ período	$C_0 =$ celeridad o velocidad de fase $= L_0 / T$	
$C_0 = 1,56 T \text{ [m/s]}$		
Para mares medianamente profundos $1/2 > d/L_0 > 1/10$		
$L = L_0 \operatorname{tgh}(K d)$	$C = C_0 \operatorname{tgh}(K d)$	
Para mares poco profundos $d/L_0 < 1/10$		
$L = T (g d)^{1/2}$	$C = (g d)^{1/2}$	

Para mar medianamente profundo le quitamos el 0 a la longitud de la ola, ahora está dado en función de la longitud de la ola en mar profundo por la tangente hiperbólica de $K d$. $L = L_0 \cdot \operatorname{tgh} \cdot (K d)$
 C , la velocidad, viene a ser un C Sub Cero por la tangente hiperbólica de K por D . $C = C_0 \cdot \operatorname{tgh} \cdot (K d)$

Y para mar poco profundo

Ahí la relación de D a L es menor de 10. $d/L_0 < 1/10$

¿Cómo entre qué distancia varía una ola normal?

- Las olas, los períodos son bien cambiantes. Los períodos varían entre 2 y 20 seg.
- La velocidad de la ola fluctúa entre 300 y 600 km por hora.
- La potencia de la ola es entre 0 y 10.000 kw. Por metro.
- La potencia media de las olas es de 60 a 80 kilowatt x metro lineal de la ola. No es poco, pero lamentablemente es difícil de captar.

¿Las longitudes de onda?

La altura con esos valores, por ejemplo con un período de 10,5seg. Tenemos 8 mt., muy frecuente entre 4 y 8 mts., con un período de 8 segundos. Períodos de 13,5 segundos.
La más frecuencia o la media va en períodos de 8 segundos y alturas de 4 a 8 metros.

¿Influye la diferencia de salinidad, ejemplo en el mar muerto?

Bueno cuando tiene que ver la aceleración de gravedad, ahí está influyendo netamente el peso específico del agua, entonces ahí puede cambiar...

En las construcciones y operaciones de obras costeras se debe conocer cuál es el posible oleaje y los valores máximos y medios:

- Amplitud
- Periodo
- Longitud
- Celeridad

Ahora para determinar esto existen dos métodos:

1° ANÁLISIS ESTADÍSTICO: recopilación histórica del oleaje en la zona del proyecto. Existe un tratamiento especial para estos datos y determinar la ola significativa. Ese tratamiento especial es bastante complejo. No es nada de fácil de hacer para llegar a esa ola significativa o la representativa del lugar.

2° ANÁLISIS EMPÍRICO: se extrapola lo estudiado en otros lugares, pero se necesita :

- el Fetch (el área), en que se generan las olas
- la profundidad del agua en el Fetch
- la magnitud, direcciones y duración de los vientos
- distancia del Fetch a la costa.
- Batimetría en zona de mar poco profundo y en las costas.
- magnitud de *ciclón* (aquí no los tendríamos)

Entonces tomando datos de un lugar y conociendo esta información se puede extrapolar. Naturalmente lo más conveniente ¿Qué sería? El primer método porque esos son medidas reales del lugar, pero no siempre se tiene.

y lo mismo con las condiciones meteorológicas ¿De dónde las obtenemos? A lo mejor del faro de Punta Ángeles, o de allá del aeropuerto de la Base Naval..., pero a veces hay muchas diferencias, pero uno tiene que hacer alguna relación para poder acercarse.

Por ejemplo, uno quiere instalar unas torres para enfriar agua, entonces eso es clave por la humedad del aire, esas torres de enfriamiento funcionan en base a que el aire absorbe parte del agua, la convierte en su humedad y por eso se disminuye la temperatura del agua que uno quiere enfriar para ese propósito, pero claro que uno tiene que conocer cuál es la humedad del lugar y a veces está muy lejos de los sitios en que hay mediciones, entonces uno tiene que tomar esas mediciones y tratar de extrapolar.

Tal vez tomar mediciones en el lugar en que uno va a hacer el proyecto por algunos días y compararlos con los de la base Torquemada o la comparo con la base del Belloto,

El 2do método es más complejo porque está tomando desde el lugar en donde se generan las olas hasta llegar a la costa y cuando hablamos de la batimetría significa que vamos a conocer toda la carta de profundidad, bueno eso en general de lugares como este está bastante claro, tal vez en otro lugar más apartado no hay tanta información.

Este último método determina las características de la ola a la salida del Fetch. Esto significa que desde ahí hasta llegar a la costa hasta el lugar donde nosotros queremos construir algo, la ola se va a modificar por:

- Gasto de energía, no existe viento que la alimente porque salió del Fetch, la incubadora de ola, entonces incluso puede llegar a desaparecer.
- Refracción, la variación de la profundidad entre otras cosas, producen refracción y se modifican las características de las olas.
- Difracción, los obstáculos a la entrada de un puerto pueden generar nuevas olas, incluso de mayor amplitud por los reflejos que se producen,

Entonces no es fácil predecir o poder determinar cómo van a ser las condiciones. Ahora cuando se diseña hay que llegar a algún resultado...son los dos métodos que se utilizan el primero es el mejor, que está basado en mediciones, es el que más se acerca a la realidad.

La energía que puede contener una ola es muy variable, prácticamente 0 para mares en calma, sobre los 10.000 kw por metro lineal para grandes y profundas olas.

Lo más frecuente puede ser una media de 60 a 80 kw por metro lineal (valores para las costas del pacífico en USA, en USA tienen los medios para medir, tienen la infraestructura)

Preguntas:

¿Pueden acoplarse dos olas?

Tendría que llegar a ser la longitud de la ola nula, lo que puede suceder es que sea por rebote.

¿Por interferencia?

Si claro, viene una ola y entra por este lado y la otra por este otro y se encuentran.

Si yo genero una ola acá por viento y desplazo la ola y tengo otro fragmento de viento acá, pero que esta tiene mayor velocidad a la segunda o frente tarde o temprano la va a pillar. La pregunta es ¿Si la pilla la pasa y se forma una ola intermedio de la otra o se tienden a juntar?

Depende del período... las longitudes del período se acoplan de todas maneras, pero puede que en algún momento calce y ahí va a ser una ola mucho más grande.

Pero la pregunta es si yo tengo una ola por un período la otra la pilla digamos la tiende a sobrepasar o sea podría tener tres olas seguidas que en el fondo corresponden a dos olas distintas.

Claro podría suceder.

Y que queden distintos períodos, distintas longitudes, todo. Las masas de aguas no tienden a ir juntándose según las zonas por economía.

No porque no hay un traslado de masa hasta llegar a la costa, hay solo energía que se está moviendo.

O sea en la costa podrían tender a juntarse.

Claro por efecto de un frenado, pero antes no es solamente energía que se está moviendo.

Claro energía podemos tener dos energías que pasen simultáneas, dos olas distintas que pasen simultáneas.

En un sismo por ejemplo ¿Qué pasa con la ola que hay en ese momento?

Bueno ahí podría ser la ola generada por el maremoto con una ola del viento y pueden encontrarse.

Ahora este rebote para la ola sísmica en tierra es muy probable que pase. Dicen que en México la gran destrucción que sufrió el año 85, el rebote sísmico contra el cerro. Aquí podría haber pasado lo mismo, entonces por eso a veces hay destrucciones que son muy localizadas en un sector, porque pasó una onda, llegó a las rocas de por allá atrás de 15 Norte, etc., rebotó y justo se juntó con otra que venía.

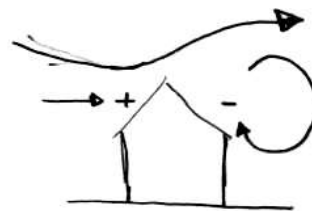
Es un golpe entre dos olas.

Es un golpe en un punto, pero pueden ser dos.

Uds. han oído hablar de la barrera de sonido, es el acoplamiento de ondas, porque la onda se traslada a la velocidad del sonido, según la temperatura, en el medio que hay y resulta que cuando un avión alcanza la velocidad del sonido va generando onda, pero el avance de una onda es a la velocidad del sonido y el avión va a la velocidad del sonido entonces se empiezan a superponer sobre otros y por eso se produce ese estampido o esa onda de presión mayúscula que puede quebrar los vidrios o se sienten muy fuerte, los aviones aquí salían para afuera a romper la barrera del sonido para no causar problemas, pero cuando no estaban tan afuera aquí se sentía muy fuerte y eso es siempre por superposición de ondas que cada una de ellas y produce mayor problema.

Escala de Beaufort internacional

Fuerza del viento				Estado del mar			
Grado	Designación del viento	Velocidad m/seg	Presión viva Kg/m ²	Presión efectiva Kg/m ²	Grado	Designación del mar	Altura de las olas m
0	Calma	1) 0 - 0,5	2) < 0,02	3) < 0,02	0	Calma chicha. . .	0
1	Brisa	0,6 - 1,7	0,02 - 0,2	0,03 - 0,2	1	Muy tranquilo . . .	< 1
2	Flojito	1,8 - 3,3	0,2 - 0,7	0,3 - 0,9	2	Tranquilo	1-2
3	Flojo	3,4 - 5,2	0,7 - 1,7	1,0 - 2,2	3	Marejadilla	2-3
4	Bonancible	5,3 - 7,4	1,8 - 3,5	2,3 - 4,5	4	Marejada	3-4
5	Fresquito	7,5 - 9,8	3,6 - 6,1	4,6 - 7,9	5	Marejada fuerte (mar picada)	4-5
6	Fresco	9,9 - 12,4	6,2 - 9,7	8,1 - 12,6	6	Marejada muy fuerte	6-7
7	Muy fresco	12,5 - 15,2	9,9 - 14,6	12,8 - 19,0	7	Mar gruesa (muy picada)	8-9
8	Frescachón	15,3 - 18,2	14,8 - 20,9	19,2 - 27,2	8	Mar muy gruesa	10-12
9	Duro	18,3 - 21,5	21,2 - 29,2	27,5 - 38,0	9	Mar furiosa	> 12
10	Muy duro	21,6 - 25,1	29,5 - 39,8	38,3 - 51,8			
11	Huracanado	25,2 - 29,0	40,1 - 53,2	52,2 - 69,1			
12	Huracán	> 29	> 53,2	> 69,1			



Esta tablita en la escala de Beaufort, habla del grado de la fuerza del viento de 0 a 12, lo clasifica. La velocidad en mt. por segundo, en huracanes sobre 29mt por segundo. La presión viva y la presión efectiva.

La presión viva es la que se produce sobre la superficie expuesta al viento, considerando su acción solamente por Barlovento.

La presión efectiva tiene que ver con la depresión que se genera detrás, por sotavento. Eso pasa cuando uno calcula una construcción y simplemente piensan en un techo, viene el viento, pasa y atrás genera vacío. Este vacío, esa depresión (-), más la presión (+) puede sacarlo. Muchas veces, uno puede ver, en estas películas de huracanes que el techo no se rompe tanto por adelante sino que primero por atrás, es por ese vacío, lo desbarata, entonces esta presión efectiva, incluye la presión delantera más el vacío que se genera atrás.

En el grado del Estado del mar llegó hasta 9, partiendo por 0 = calma chicha, 5= marejada fuerte, 7= marejada mar gruesa, 9= mar furioso. Y en la clasificación de la altura de la ola llegó hasta más o menos 12 mt.

Uno a veces mira el mar y lo ve relativamente tranquilo, pero al mantener una embarcación ahí uno se va a dar cuenta que la altura de las olas son realmente grandes..... a mí en una ocasión me invitaron a un buque, llegamos el día sábado en la mañana y cuando dio la noche y queríamos volver, el mar estaba fuerte, entonces la lancha que nos iba a buscar de repente estaba por ahí abajo, imposible subirse para alguien que no está acostumbrado y el capitán no nos dejó bajar, tuvimos que quedarnos hasta el día domingo, ahí ya estaba más tranquila la cosa y ahí recién pudimos bajar.

Entonces esta tabla nos da una idea de las velocidades y de las alturas y las designaciones que nosotros escuchamos a veces. Marejada media de olas de 4 metros, marejada fuerte 4 a 5, etc.

ROMPEOLAS

Los rompe olas tienen por objetivo:

- Mejorar el régimen marítimo de la localidad y en lo posible no introducir alteraciones en dicho régimen
- prestar abrigo de marejadas, obteniendo la mayor resistencia al embate de las olas

Bueno son temas que hay que estudiar bien como se colocan y debiera siempre hacerse algún ensayo y no llegar y construir. Por ejemplo lo que pasó aquí abajo, en la marina recreo, que las olas del viento norte llegan, rebotan y les llegan a las embarcaciones de lado, haciéndolas chocar entre ellas, si hubieran estudiado bien como hacer la dársena, no tendrían el problema del choque de las embarcación.

El otro día que salió un artículo en el diario... en *Isla Negra* desapareció la playa porque sacan la arena. Esto no puede ser, es porque algo se construyó que influye en que no llegue arena o que la arrastra hacia afuera. Entonces cuando se construye algo un rompe ola hay que ver bien como se hace.

El año pasado estaban estudiando unos rompe olas que eran flotantes.

- Cualquier obstáculo que se levante en el mar produce detrás de si una calma, que provoca depósitos de los arrastres de las olas y las corrientes, cuya magnitud dependerá de la naturaleza del fondo marino.

... esto es lo que dije recién, si hacemos algo siempre hay consecuencias, siempre o va a producir un depósito o como en el caso de Isla Negra va a sacar la arena de la playa y va a desaparecer la playa.

- Si es roca dura y poco atacable los depósitos serán mínimos, pero si se trata de arena, atacable, los depósitos serán considerados.

Así la misma obra hecha en una zona rocosa da un efecto y en zona de arena otro.

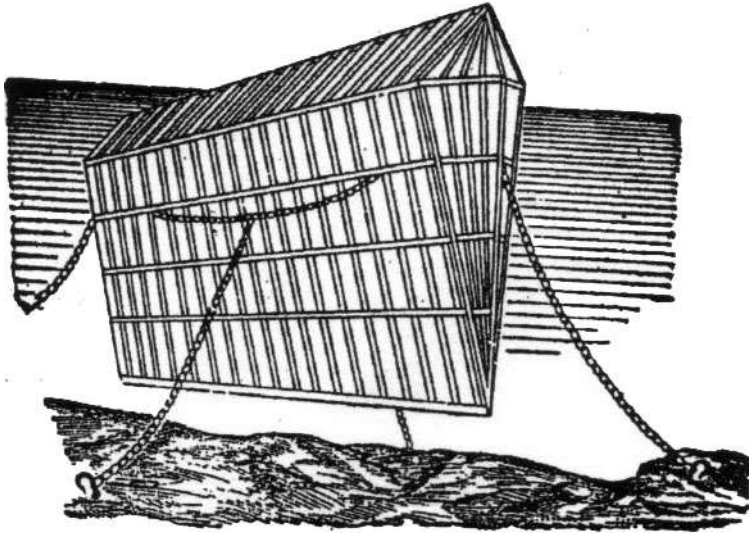
- Se justifican, entonces, en lugares abiertos en que el oleaje choca con ímpetu contra la costa que se quiere defender.

.... Yo creo que lo mejor aquí es el modo de abrigo en Valparaíso, es una obra fantástica.

- la experiencia indica que en un mar agitado se disminuye considerablemente la altura de las olas haciendo flotar objetos, que al parecer no debieran tener ninguna influencia.

..... muchas veces cuando un buque estaba en problemas unían tablas y las dejaban caer detrás del buque y eso quietaba un poco el oleaje, cosas tan simples o a veces esparciendo petróleo. El petróleo como flota en el agua es un elemento extraño hace el efecto de un tranquilizador con el muro formando una especie de reja con el mar y aquí nace la idea de romper olas flotantes, se consideran como un *elemento provisorio*, no como forma permanente que ya difícilmente podrían resistir un embarque en un temporal.

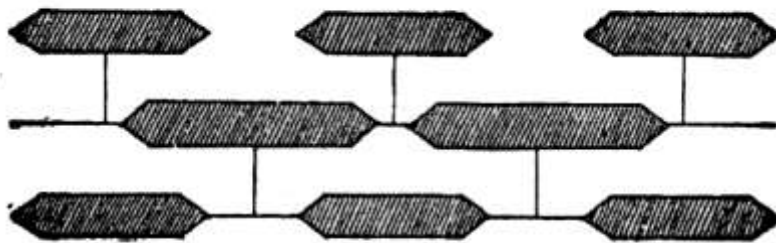
- Los Rompeolas flotantes no debe impedir el paso del agua (el agua tiene que circular) y constan de la parte flotante y de las amarras que lo sujetan al fondo.
- Los rompeolas flotantes no deben ser una construcción continua, sino formada por una serie de cuerpos flotantes, dispuestos apropiadamente, y convenientemente sumergidos para proveer de mayor efectividad y por otra parte, que la parte sobresaliente del agua este menos expuesta a la acción del viento. La parte que sobresale ojala que no sobresalga mucho para que no esté afectada por el viento, porque el viento produce una fuerza que puede ser bastante fuerte.



Rompeolas flotante

Aquí hay un tipo de rompeola que está compuesto por un elemento que no es sólido, son puras rejillas y tiene una parte flotante que es la de arriba todo y lo demás está sumergido y anclado convenientemente en el fondo del lecho marino

Ahora se pueden hacer con otros materiales, de tipo circular, pero que no sean continuos que dejen espacio.



Disposición del rompeolas.

Disponer de esta manera amarrados entre si, pero que queden dos espacios para que el agua circule.

Nosotros allá en el laboratorio tenemos en uno de los ensayos que hacemos y un chorro fuerte de agua que chocaba con una pared y nos salpicaba. Bastó que pusiéramos una malla de esas para las ventanas y se acabó el problema. ¿Qué hizo la malla? Dividió el chorro, el chorro que era compacto, lo dividió en partes y entonces pierde su energía.

Vamos a ver algunas cosas sobre el análisis dimensional con esta materia que estábamos viendo hoy día.
SEMEJANZA DINÁMICA

En cuanto a lambda viene a ser la relación de escala entre prototipo y modelo.

La longitud de la ola del prototipo dividido por la longitud del modelo es lambda

$$\lambda = \frac{L_p}{L_m} \quad \lambda = \frac{H_p}{H_m}$$

La velocidad sub-cero en mar profundo es una constante, era 1,56T y esta relación es lo mismo que la longitud partido por T

$$C_0 = 1,56T = \frac{L}{T}$$

la velocidad de la ola es la longitud de la ola partido por su período, pero también es igual a esto:

$$1,56 T_p^2 = L_p \quad 1,56 T_m^2 = L_m$$

Si tomamos el prototipo por un lado y tomamos el modelo por el otro que tendría que ser así:

$$\frac{T_p^2}{T_m^2} = \frac{L_p}{L_m} = \lambda$$

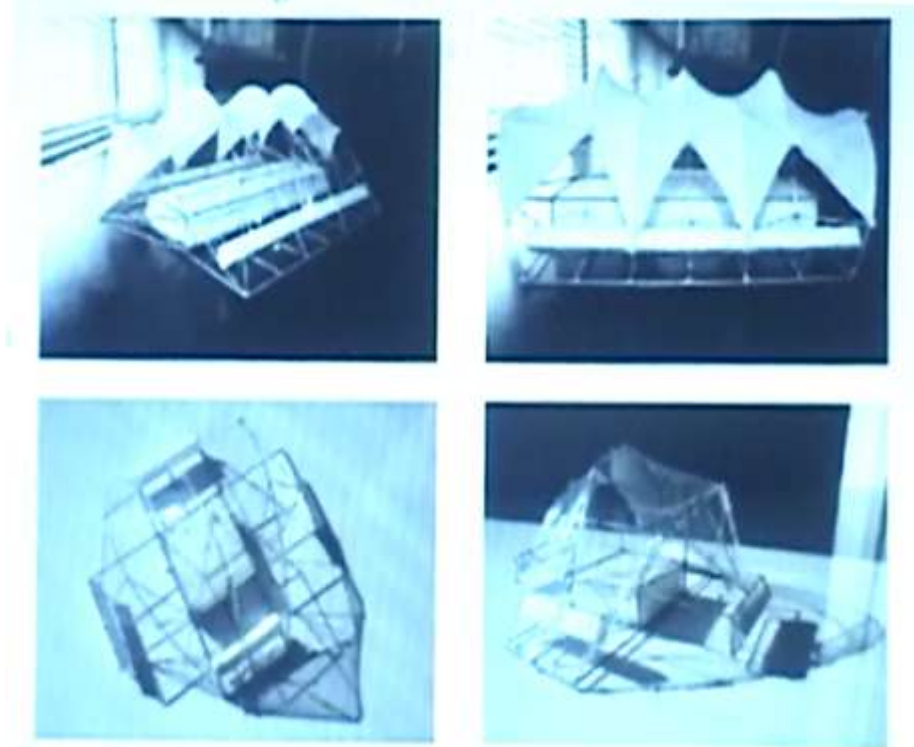
T del prototipo al cuadrado partido por T del modelo al cuadrado es igual a L del prototipo partido por el modelo y eso es Lambda.

$$T_p = T_m \lambda^{1/2}$$

T del prototipo es igual a T del modelo por Lambda elevado a un medio.

Que pasaba con de una embarcación x ejemplo, el área mojada, el área mojada es el producto de dos longitudes, por lo tanto el área del modelo y el área del prototipo tiene que ver con lambda al cuadrado, entonces esas precauciones hay que tener en cuenta cuando se trabaja en la relación modelo prototipo.

Vamos a ver el caso de la capitanía de puerto Lago Ranco (proyecto tesis años anteriores). Aquí hay algunas relaciones que son interesantes que tienen que ver con el oleaje.



Esto estaría anclado en un lago, lago Ranco. (Esto es debido a que los marinos no han podido conseguirse terrenos en la costa para una capitanía en tierra, entonces la opción es hacerla flotante, sobre el lago.).

Para este modelo se estudio el caso de “las olas”, ya que la ola al venir y al estar cerca de la costa produce un desplazamiento que tiende a desplazar a una embarcación o algún otro objeto contra la costa, entonces había que determinar la velocidad que tiene esa ola y cuál es la velocidad que estaría sujeta a ese modelo.

Antecedentes para cálculo de ola para modelo

A. LONGITUD DE ONDA

Como dato anterior tenemos un largo de generación de olas de 15cm

Segun gráfico de Fetch

$$\frac{d}{L_0} = \frac{2\pi d}{gT^2}$$

Despejando

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 19,1182 \text{ [m]}$$

d= Profundidad

L₀= Longitud de onda de la ola

T= periodo de la ola

v= velocidad

B. PERIODO

Despejando lo anterior

$$\frac{gT^2}{2\pi} = 19,1182 \text{ [m]}$$

$$T = 3,5 \text{ [s]}$$

Tenemos entonces

$$v = \frac{L_0}{T} = \frac{19,1182}{3,5} = 5,462 \text{ [m/s]} \text{ velocidad para la ola real}$$

La Longitud que tiene el Fetch es de 15km. Todo el ancho del lago Ranco.

Eso influye sobre la ola generada y se puede obtener de ese gráfico que la longitud de la ola en mar profundo llega a 19,1182 mts.

Como sabemos el largo de la ola podemos determinar el período , despejando la ecuación, siendo el período de la ola de 3,5 seg.

Y si tenemos la longitud y el período podemos calcular la velocidad de la ola, el cual es 5,4 62 mt. por seg.

Entonces cuando se ensaya, el modelo se debe someter a una velocidad que sea semejante a la obtenida para ver que se produce.

Con estos datos se calcula el número de Froude.

Periodo en el modelo/velocidad de la ola

Vamos a Froude

$$Fr = \frac{V^2}{gL} = \frac{(5,462)^2 \text{ [m/s]}^2}{9,806 \text{ [m/s}^2] \cdot 19,1182 \text{ [m]}} = 0,1592$$

Luego el cálculo de velocidad del modelo donde a escala para las pruebas es 1:40

$$V_m = \frac{V_p}{\sqrt{\lambda}}$$

$$V_m = \frac{5,462 \text{ [m/s]}}{\sqrt{40}} = 0,8636 \text{ [m/s]}$$

velocidad de la ola en laboratorio

Cuál es la longitud de las olas del modelo?

$$\frac{V_p^2}{gL_p} = \frac{V_m^2}{gL_m} \quad L_m = \frac{V_m^2 L_p}{V_p^2} = \frac{(0,8636)^2 \cdot 19,1182}{(5,462)^2} \frac{[\text{m/s}]^2 \text{ [m]}}{[\text{m/s}]^2}$$

$$L_m = 0,478 \text{ [m]}$$

Longitud de ola en laboratorio

Ahora que tenemos la velocidad usando la misma ecuación puedo calcular el periodo de ola en laboratorio

$$\frac{d}{L_o} = \frac{2\pi d}{gT^2}$$

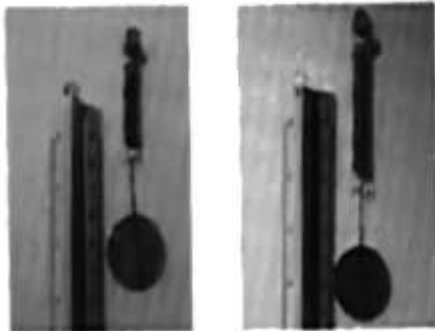
Despejando

$$T = \sqrt{\frac{2\pi L_m}{g}} = \sqrt{\frac{2\pi \cdot 0,478 \text{ [m]}}{9,806 \text{ [m/s}^2]}}$$

$$T = 0,5539 \text{ [s]}$$

4/Calculo de la constante del resorte K

En las pruebas de laboratorio calculamos la resistencia de los resortes utilizados



K = Constante del resorte
 ΔL = Largo de desplazamiento en el modo

El resorte se estira 1,7cm con 1kg (peso de la moneda de \$100)

$$K = \frac{F}{\Delta} = \frac{9 \text{ [g]}}{1,7 \text{ [cm]}} = 5,2941 \text{ [g/cm]}$$

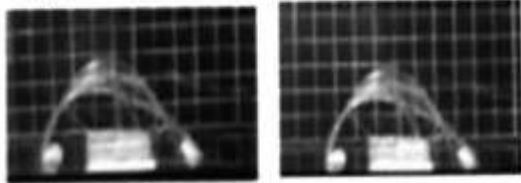
Fuerza en el modo 1 (con resorte en vertical) (fuerza de desplazamiento 5 cm)

$$F_{m1} = K \times L_M \times 2 = 5,2941 \text{ [g/cm]} \times 5 \text{ [cm]} \times 2 = 52,941 \text{ [g]}$$

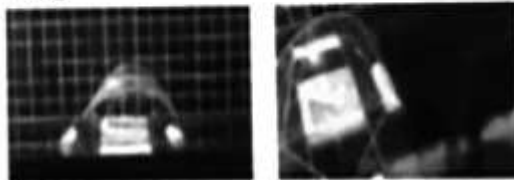
Fuerza en el modo 2 (con resorte en vertical) (fuerza de desplazamiento 6 cm)

$$F_{m2} = K \times L_M \times 2 = 5,2941 \text{ [g/cm]} \times 6 \text{ [cm]} \times 2 = 63,529 \text{ [g]}$$

F_{m1}



F_{m2}



Para medir la fuerza, el arrastre que se genera, se utiliza generalmente un dinamómetro, pero cómo no había dinamómetro, se utilizó un sistema con resorte. La fuerza es igual a una constante del resorte por lo que se desplaza el resorte, llamémoslo X (lo que se mueve, lo que se estira), entonces si yo coloco la constante y mido el desplazamiento puedo conocer la fuerza.

¿Qué se hizo primero? Se sometió el resorte a distintos pesos para determinar el valor K, vale decir conozco la fuerza, el desplazamiento y la constante. Entonces una vez que determinemos la constante K podemos medir cuánto se alarga el resorte y podemos determinar qué fuerza es la que se estaba produciendo.

El asunto es que se determinó la fuerza en el resorte y así se pudo determinar después la resistencia.

Calculo de la velocidad del viento en laboratorio

En las pruebas de laboratorio medimos el viento siendo el mayor valor 7m/s

$$V_m = \frac{V_p}{\sqrt{\lambda}} \Rightarrow V_m \sqrt{\lambda} = V_p$$

Reemplazando

$$V_p = 7 \text{ [m/s]} \sqrt{40} = 44,271 \text{ [m/s]}$$

Llevado a Km/hora

$$44,271 \text{ [m/s]} \times 3,6 = 159,375 \text{ [km/h]}$$

Segun datos obtenidos en terreno, la velocidad media de viento en el Lago ranco es de 26 nudos, que equivalen a 13,333 m/s

Entonces la velocidad del modelo es igual a la velocidad del prototipo partido por la raíz cuadrada de lambda, de tal manera que ahora podríamos descubrir cuál sería la velocidad del viento para el prototipo, y eso sería 7mts. x seg. por la raíz de 40, lo que dá 44,271 mts. x seg., que equivale a 159,375 km/h.

Ahora las velocidades del lago Rango eran de 26 nudos que equivalen a 13,3mts. por seg. ,vale decir que, por la velocidad que tenía estaban más que sobrados, era mucho mayor, tres veces mayor, más de tres veces la velocidad máxima.

Cálculo de Radio Hidráulico

$$R_H = \frac{A}{2H+L}$$

H= altura media 0,125 m
L= Largo medio 0,225 m
A= Area manto 0,2875m²

$$= \frac{0,2875 \text{ [m}^2\text{]}}{2(0,125)+0,225 \text{ [m]}}$$
$$= \frac{0,2875 \text{ [m}^2\text{]}}{0,475 \text{ [m]}}$$
$$= 0,60526 \text{ [m]}$$

Aquí está el cálculo del radio hidráulico que es el área del manto dividido por el perímetro, o sea el área mojada dividido por el perímetro mojado y eso nos permite calcular algunos de los valores que vienen a continuación, que es el cálculo de coeficiente de arrastre.

Cálculo del Coeficiente de Arrastre

$$F_D = C_D A \rho \frac{V^2}{2} \quad \underset{\text{Despejando}}{=} \quad C_D = \frac{2F_D}{A \rho V^2}$$

Convertimos las medidas del resorte en Newton 0,52941 kg = 0,051919 N

$$C_D = \frac{2(0,051919) \text{ [N]}}{(0,2875) \text{ [m}^2\text{]} (1,225) \text{ [Kg/m}^3\text{]} 49 \text{ [m}^2\text{/s}^2\text{]}}$$

$$C_D = 2,858133 \times 10^{-3}$$

Lo que se midió en el laboratorio fue la fuerza de arrastre por el resortito, entonces lo que queríamos sacar era el coeficiente de arrastre y para eso necesitábamos el área, la densidad, la velocidad al cuadrado y despejando se obtuvo el coeficiente de arrastre.

La gracia de los coeficientes, como son adimensionales son generales.

Después los podemos aplicar al prototipo directamente dándole los valores que corresponde al área, a la velocidad y entonces con eso se calcula el número de Reynolds.

Calculo del número de Reynolds para el modelo

$$R_p = \frac{VL\rho}{\mu}$$

V = viscosidad dl viento

L = Radio Hidraulico

ρ = Densidad del aire a 15°C

μ = Viscosidad del aire a 15 °C

Reemplazando

$$R_p = \frac{7[\text{m/s}] \cdot 0,60526[\text{m}] \cdot 1,225[\text{Kg/m}^3]}{0,00017894 [\text{N s/m}^2]}$$

$$R_p = 29.004,71945$$

Entonces, en lo anterior se vio lo que pasaba con el viento en la superestructura y ahora vendría el cálculo de la resistencia total de la parte en que está en el agua y por eso están buscando el número de Reynolds.

¿Consultas?

Con respecto al Proyecto de Mejillones de Pablo Edwards:

Pablo: Quiero ver si el rompe olas es factible o no y después lo tengo que traspasar por similitud al modelo, pero lo del peso todavía no me queda claro.

Ramiro: ¿ es un rompe olas flotante o no?

Pablo: Se va a llevar flotando, se va a ubicar en un sitio y se va a hundir. Se va a prefabricar en la orilla, pero eso es el proceso de construcción.

Boris: Hay una fórmula para el peso, el peso real partido por lambda al cubo = peso modelo

Ramiro: El peso que a ti te interesa ¿por qué te interesa? ¿Por qué lo vas a llevar flotando?

Pablo: para ver si es el equivalente a la escala en el canal de olas.

Ramiro: Lo que pasa es lo siguiente:

Si yo sumerjo algo genera boyantes y tiende a flotar. Ahora si es algo de mayor densidad que el agua se va al fondo.

Pablo: Inicialmente se llena de agua hasta que vaya bajando, se va hundiendo de a poco, lo puedo dejar neutro si no le hecho más agua, quedaría flotando a la mitad, si lo voy llenando de a poco va bajando muy despacio hasta que se asienta.

Ramiro: Después lo rellenas con algo mucho más contundente? Yo creo que si lo dejas relleno solamente con agua va a ser inestable.

¿Qué me impide que eso se vuelque? Cuando yo sumerjo esto afuera pesa X y adentro del agua pesa X- del peso específico del agua. Entonces ahí está la clave del asunto que tú sistema tiene que tener un peso suficiente, entonces relleno con agua no es muy buena idea, tiene que ser más pesado.

¿Esto va a ser redondo?

Pablo: Si va a ser circular. Me ofrece menos resistencia a la ola, vamos a dejar una separación de 5 a 10 cm. y una losa arriba.

¿A lo mejor no convendría separarlos más todavía?

Ramiro: Para disminuir la resistencia generalmente uno busca la forma que al golpear la ola, esta disipe energía, por eso una pared plana es pésima, el ideal sería que fuera como un resfaldín, que pege la ola y se levante y gaste energía en levantarse.

El ideal es que disipe energía, entonces hay que tener cuidado, si la superficie de impacto es plana la ola choca con toda su fuerza ...si es circular golpea la ola, una parte se desvía hacia arriba, una parte hacia abajo.

Pablo: este es un proyecto inicial para Mejillones, normalmente se hace para todos los puertos que están a la orilla de la costa.

Ramiro: ¿Qué altura tiene?

Pablo: 38 mts.

Ramiro: ¿Cuánto sobre sale del agua?

Pablo: 10 mts.

¿Por qué tanto?

Pablo: Eso es lo que están pidiendo, tiene dos metros actual y ahora quieren 2mts. más para los tsunamis y marejadas.

10 mts. sobresale.

¿Pero en esos 10 mts. tiene esta curva invertida digamos?

Si eso la va cubriendo, pero tengo que solucionarlo, pero la loza hacia el lado de mar abierto sobresale un poco más.

Hay esfuerzo también debajo de la ola. Si en la coronación hacemos la curva que tú dices va disminuir mucho el momento.

Claro, pero hay que ver cómo hacerla porque estás pensando en una curva distinta.

Lo primero es probar en el modelo que realmente flote. Bajándole un poco el peso en proporción al agua salada.

Originalmente se pensaron con tapas abajo y arriba. El problema que dilucidamos es que cómo le saco la tapa de abajo, es correr el riesgo de un buzo abajo sacando la tapa, dijimos no hagámoslo hermética abajo. Yo socavo pongo la membrana, relleno con material, asiento. La primera pieza.

Le saco la tapa después ya se llenó de agua, llega una galana y la lleno con *bolón* bajo 6 pulgadas y que el bolón que lo lleno con esto más los bordes también, luego lo dejo lleno hasta acá no más, lo controlo con buzos, se pone, se traslada la segunda pieza con tapa se asienta se va inundando de a poco, se asienta, se le saca la tapa y se rellena con bolón.

Acuérdate los túneles que hicieron en Tokio eran con tapas de bastante más mt2. Y luego la tercera se traslada, se asienta se rellena, se saca la tapa. Esta pieza flota igual que todos, pero esto hay que subirla para poder montar la última ¿Cómo se enganchan entre ellos? Si yo tengo... una grúa en la plataforma flotante, la unión entre ellas en el anillo que son varias y yo tengo un borde que va a ser así, puedo tener otro que va a ser ahí, insertos de acero con platina a cada lado, vaina de fijación, pernos de acero inoxidable de arriba abajo, tuercas.

¿Cómo se fabrica en terreno?

Hay dos posibilidades hay una balsa que la inundo, yo tengo que estar monitoreando permanentemente y lo otro que se nos ocurrió eran los astilleros que tenían para sacar a los mineros, armo acá arriba mi carro con moldaje y todo y lo tiro por un riel al mar 50mtrs. Adentro hasta que flote.

Tengo que llegar al calado de 11mts. 12,03mts. a 200 mts. de la orilla.