

IV. GENERACION Y MEDICION DE OLEAJE EN LABORATORIO

Aunque el tema de generación y medición de oleaje en laboratorio pudiera parecer más adecuado para una etapa más avanzada de este texto, el tratarlo a continuación proporciona varias ventajas. Por un lado es una aplicación de los conceptos y desarrollos del capítulo anterior (si nos limitamos a tratar la teoría lineal) y por otro proporciona la oportunidad de comprobar la bondad de la teoría de inmediato en aquellos casos donde un laboratorio adecuado se encuentre disponible. De esta manera el lector puede aprovechar mejor el resto del texto al tener un medio controlado donde observar las ideas que en él se tratan. Para esto requeriremos de un canal de oleaje disponible, ya sea en el ámbito real o en el de la imaginación.

IV.1 CONDICIONES MINIMAS DE MEDICION.

Examinemos las condiciones mínimas de medición que se requieren aún en los casos más simples. Puesto que estamos midiendo, suponemos que no conocemos, al menos en detalle, el oleaje presente en el canal. Puesto que dicho oleaje, aún siendo monocromático, puede estar modulado en su amplitud (ver por ejemplo la sección III.7.3), para conocer las condiciones de oleaje reinantes se necesita medir al menos durante un lapso igual a varios períodos del mismo. Sin este tipo de medición no es factible el identificar estas posibles variaciones en la amplitud, ver fig.IV.1.

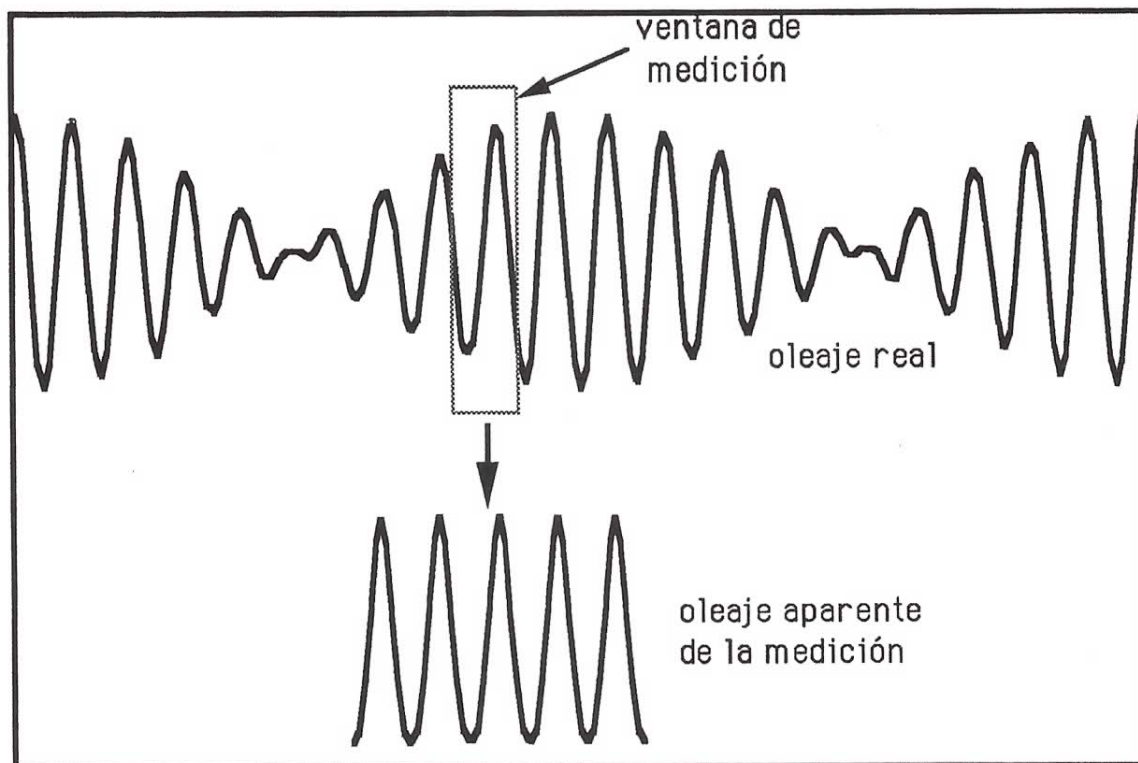


Fig.IV.1. Efecto de una *ventana* de medición demasiado corta (la modulación en amplitud no es evidente del registro).

Por otro lado, la posible presencia de reflexión requiere que se mida en al menos 2 puntos (un nodo y un antinodo) a lo largo del canal para identificar dicha reflexión. Una medición puntual, por mas larga que esta sea, no podrá identificar oleaje avanzando en direcciones opuestas, ver fig.IV.2.

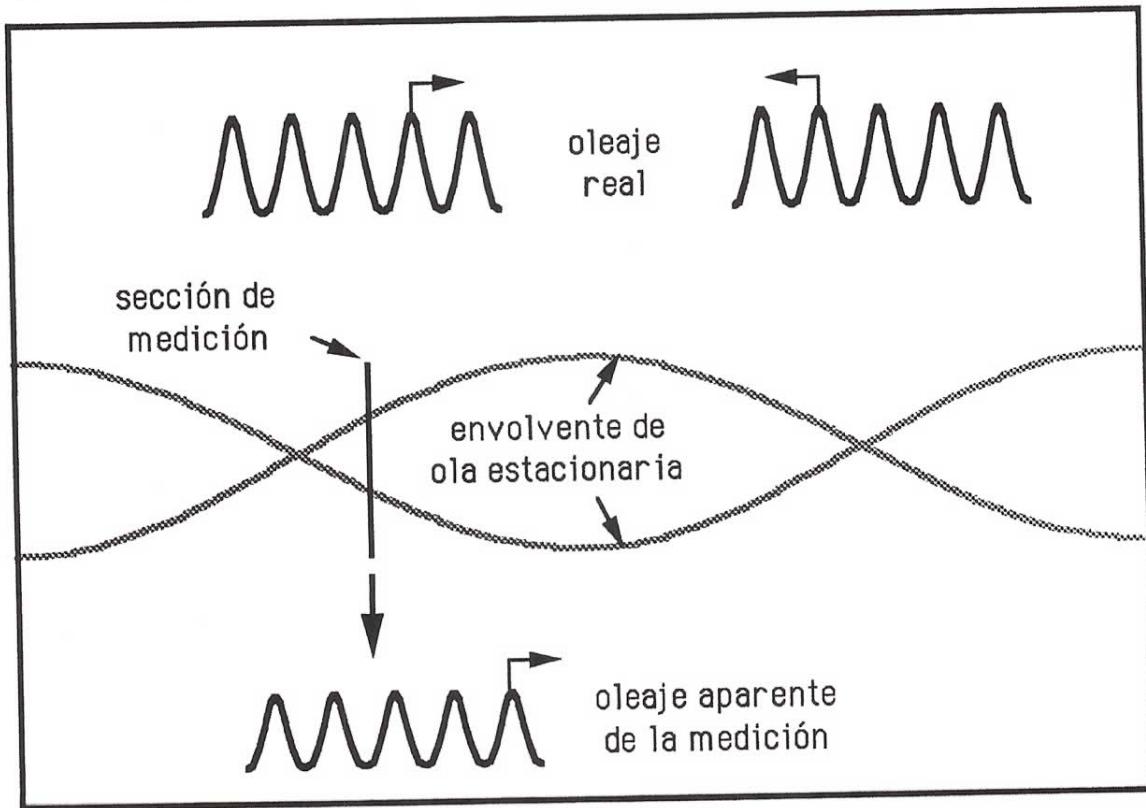


Fig.IV.2. Efecto de medición en solo un punto (la presencia de oleaje en ambos sentidos no es evidente del registro).

Por lo tanto, las condiciones mínimas son medición durante varios periodos y al menos en dos puntos, inclusive para oleaje aparentemente monocromático.

Si se pueden identificar los nodos y antinodos el oleaje se puede calcular solo con mediciones en dos puntos, puesto que de la medición en el nodo nos proporciona la amplitud mínima de oscilación en el tiempo, $|\eta|_{\min}$, mientras la medición en el antinodo nos proporciona la amplitud máxima de oscilación en el tiempo, $|\eta|_{\max}$, y puesto que

$$|\eta|_{\min} = a_1 - a_r \quad (IV-1)$$

$$|\eta|_{\max} = a_1 + a_r$$

se concluye que

$$a_i = \frac{|\eta|_{\max} + |\eta|_{\min}}{2}$$

$$a_r = \frac{|\eta|_{\max} - |\eta|_{\min}}{2}$$
(IV-2)

lo que define el oleaje incidente y reflejado (la separación entre el nodo y el antinodo define la longitud de onda, ver sección III.7.4).

IV.2 REFLEXION EN UN CANAL DE OLAJE Y SUS EFECTOS.

En canales de oleaje de laboratorio las olas son generadas usualmente por el movimiento forzado de una paleta en uno de sus extremos. Estos canales son necesariamente finitos en cuanto a su longitud y el final del mismo produce que las olas incidentes sobre él de alguna manera se reflejen parcialmente, existiendo invariablemente oleaje avanzando también en dirección opuesta a las olas generadas por la paleta. En los casos en los que se desea simular condiciones en la naturaleza que incluyen oleaje solo en un sentido, se utilizan *playas* de pendiente tendida o materiales fibrosos en el extremo final para minimizar la reflexión a través de provocar rompientes o por amortiguamiento respectivamente. Medir la reflexión producida por una estructura o por el final de un canal cerrado puede ser importante como fin en sí de un estudio o como paso intermedio para conocer las condiciones reales bajo las que se esta probando una estructura. La reflexión del oleaje sobre una estructura conserva la frecuencia del oleaje incidente modificando tan solo la amplitud. Se acostumbra caracterizar la *reflectividad* de una estructura con su coeficiente de reflexión, R , definido como la relación de la amplitud reflejada a la amplitud incidente, $R = a_r/a_i$. En el resto de esta sección, nos limitaremos a condiciones quasi-permanentes, es decir, cuando se genera oleaje en forma continua o en otras palabras, cuando ha pasado suficiente tiempo después del comienzo del movimiento del generador para que las condiciones de oleaje en el canal ya se hayan establecido y sus características (frecuencia, amplitud, etc.) se mantengan constantes

en el tiempo.

Como ejemplo de estudios en los cuales el fin en sí es medir la reflexión se pueden citar aquellos donde se prueban las condiciones de reflexión y transmisión (o sea el porcentaje de la ola incidente que sobrevive tras la estructura) de rompeolas. Este caso se esquematiza en la fig.IV.3.

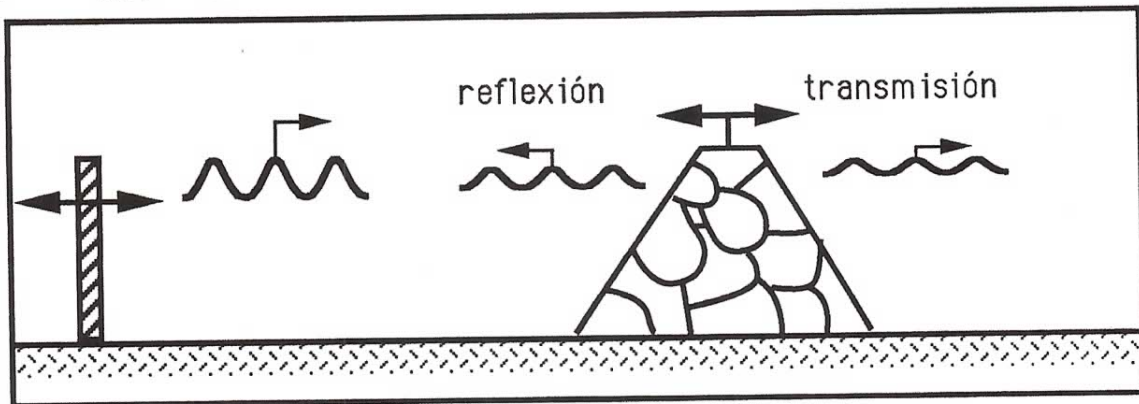


Fig.IV.3. Ejemplo de un estudio donde la reflectividad de la estructura está en estudio directo.

Como ejemplo del segundo caso, donde la evaluación de la reflexión es un paso intermedio para evaluar las verdaderas condiciones de oleaje incidente sobre una estructura en estudio, se presenta el esquema en la fig.IV.4.

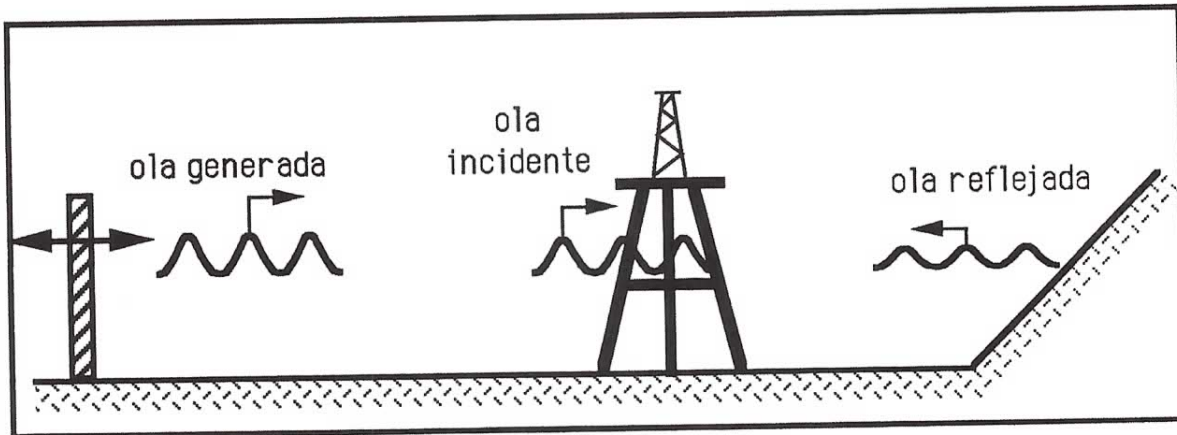


Fig. IV.4. Ejemplo de un estudio donde es necesario conocer la reflexión para conocer las verdaderas características de la ola incidente.

Observe que la ola incidente no es precisamente igual a la ola generada (definida como aquella que se presenta teóricamente para un movimiento dado de la paleta del generador de olas), puesto que al existir reflexión al final del canal, se produce una onda reflejada (que avanza en dirección opuesta a la incidente), misma que al alcanzar de nuevo la paleta del generador se *re-refleja*, sobreponiéndose a la ola generada. Pero ahora esta nueva ola incidente (la re-reflejada) avanza hacia el final del canal volviéndose a reflejar al alcanzarlo y repitiéndose el ciclo en forma sucesiva. Supongámonos como ejemplo una playa al final de un canal con un coeficiente de reflexión pequeño, de 10%, y supongamos que la re-reflexión en la paleta es total (100%) y que cada reflexión en algún extremo del canal (paleta o playa) introduce un cierto defasamiento δ . Identificando cada reflexión en la playa con un subíndice r y cada reflexión en la paleta con un subíndice R , y a la onda generada con un subíndice g , la situación reinante en el canal se esquematiza en la fig.IV.5.

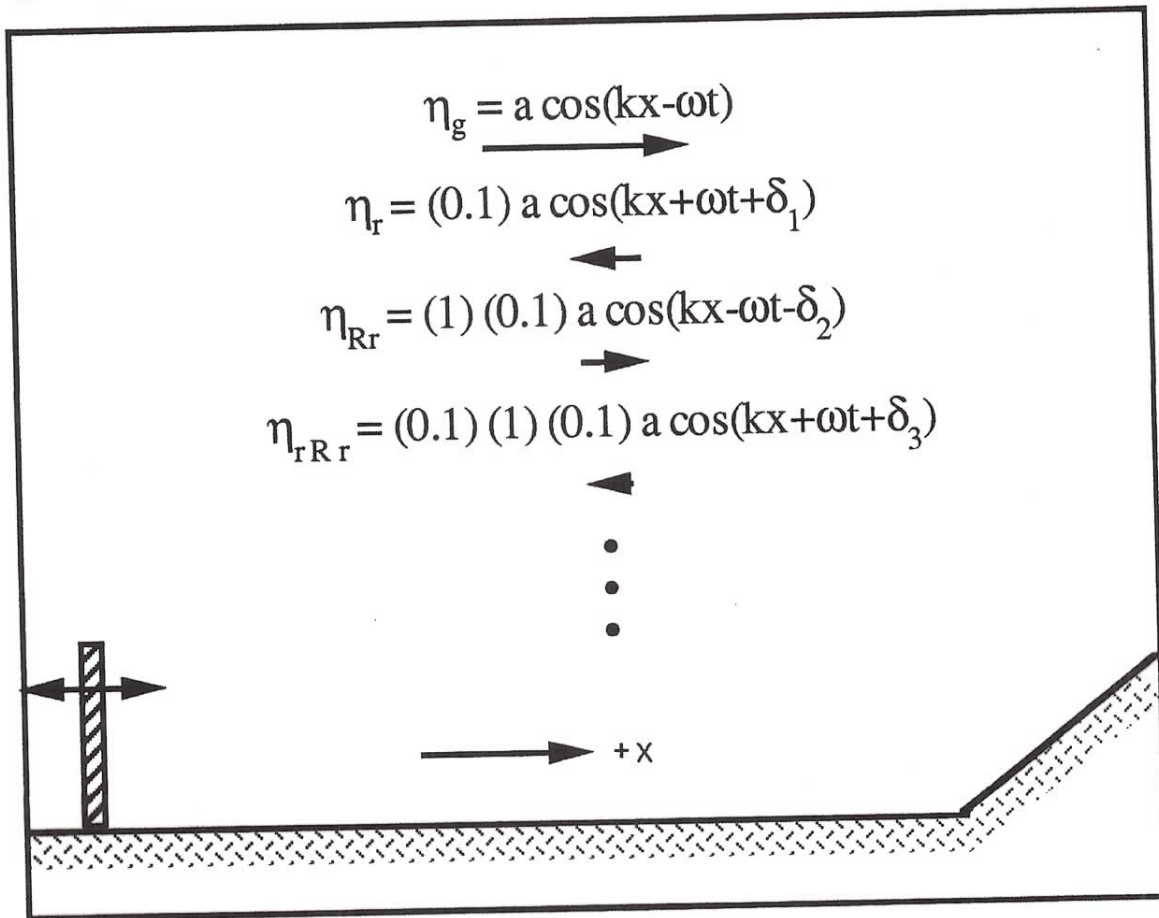


Fig.IV.5. Esquema de las olas presentes en un canal de oleaje cerrado para una reflexión de 10% en la playa y de 100% en la paleta del generador.

o sea, la ola incidente (en dirección + x) es

$$\eta_i = \eta_g + \eta_{Rr} + \eta_{rRr} + \dots \neq \eta_g \quad (\text{IV-3})$$

y puede tener una amplitud mayor o menor que la ola generada dependiendo de los valores de δ_2 , δ_4 , etc. Esto indica claramente que el coeficiente de reflexión debe ser evaluado para poder deducir las condiciones de oleaje incidente a partir de las condiciones de oleaje generado.

El rango de valores posibles de la amplitud de η_i esta limitado por

$$\text{cota superior } \{a_1\} = a + Ra + R^2a + \dots = a \frac{1}{1-R} \quad (\text{IV-4})$$

suponiendo todas las olas en dirección +x en fase perfecta (crestas coincidiendo con crestas), y

$$\text{cota inferior } \{a_1\} = a - Ra + R^2a - \dots = a \frac{1}{1+R} \quad (\text{IV-5})$$

suponiendo olas sucesivas *defasadas* 90° (crestas coincidiendo con valles). Las ecs. IV-4 y IV-5, se obtienen directamente al sumar (o sumar y restar alternativamente) las amplitudes de las olas en cada término de la ec. IV-3. Los miembros derechos de las ecs. IV-4 y IV-5 son los límites de las series infinitas indicadas.

O sea teniendo un estimado del coeficiente de reflexión R y la ola generada lo único que podemos decir sobre la amplitud de la ola incidente, a_1 , es

$$a_g \frac{1}{1+R} \leq a_1 \leq a_g \frac{1}{1-R} \quad (\text{IV-6})$$

Por ejemplo para un coeficiente de reflexión R = 10%

$$0.91 a_g \leq a_1 \leq 1.11 a_g$$

El valor estimado de R se puede obtener de la variación característica de olas de igual frecuencia avanzando en sentido opuesto, ver secc. III.7.4,

$$\left. \begin{aligned} a_1 &= \frac{|\eta|_{\max} + |\eta|_{\min}}{2} \\ a_r &= \frac{|\eta|_{\max} - |\eta|_{\min}}{2} \end{aligned} \right\} \rightarrow R = \frac{a_r}{a_1} = \frac{|\eta|_{\max} - |\eta|_{\min}}{|\eta|_{\max} + |\eta|_{\min}} \quad (\text{IV-7})$$

Para obtener exactamente η_i (inclusive fase) es necesario medir la fase de las olas reflejadas. Para R pequeño puede ser muy difícil

identificar la localización exacta de nodos y antinodos para medir $|\eta|_{\max}$ y $|\eta|_{\min}$.

Una importante lección de los párrafos anteriores es que *"la ola incidente real tiene que ser medida, puesto que en un canal cerrado no es igual a la teóricamente generada"*.

Precisamente por la re-reflexión repetida, estrictamente, el coeficiente de reflexión R de una estructura que se prueba en un canal de oleaje no es $R = a_r/a_g$, sino $R = a_r/a_i$, donde a_r y a_i son las amplitudes de las ondas producidas por la superposición de todas las ondas viajando en las direcciones -x y +x respectivamente.

IV.3 RESOLUCION DE ONDAS INCIDENTES Y REFLEJADAS.

La forma ya sugerida de resolver (o sea identificar en forma separada) el oleaje incidente del reflejado, ver ec.IV-7, requiere medir exactamente en las localizaciones de nodos y antinodos. Sin embargo, localizar los nodos y antinodos es una labor difícil y a veces imposible (por ejemplo en oleaje multicromático). Es por ello que a continuación se presentan 2 métodos para lograr dicha resolución.

IV.3.1 Método lento y preciso.

Este método consta de los siguientes pasos:

- a) Medición de registros de oleaje en el tiempo en muchos puntos del canal bastante cercanos entre sí (no necesariamente en forma simultánea).
- b) Obtención de la amplitud de cada registro para la frecuencia deseada (con una transformada de Fourier por ejemplo).

c) Ajuste (por ejemplo por mínimos cuadrados) de una curva que represente funcionalmente la variación esperada de amplitud en el espacio.

d) Cálculo de a_i y a_r de los parámetros de ajuste

En el capítulo III se vió que olas de igual frecuencia avanzando en dirección opuesta producen una variación espacial de amplitud.

$$a_T(x) = \left[a_i^2 + a_r^2 + 2a_i a_r \cos(2kx - (\theta_i - \theta_r)) \right]^{1/2} \quad (IV-8)$$

por lo tanto un ajuste de una curva del tipo

$$a_T(x) = \left[A_1^2 + A_2^2 + 2 A_1 A_2 \cos(2kx - \delta) \right]^{1/2} \quad (IV-9)$$

donde A_1 , A_2 y δ son los parámetros de ajuste, k es conocido (puesto que se conoce ω , la frecuencia del oleaje generado, misma que la del movimiento del generador) y a_T representa la amplitud del registro temporal tomado en la localización x . Del ajuste por mínimos cuadrados se obtendrían los valores de A_1 , A_2 y δ , que obviamente tienen una relación directa con a_i , a_r y $(\theta_i - \theta_r)$.

Sin embargo, para R pequeños la ec.IV-8 se puede simplificar a

$$a_T(x) = a_i + a_r \cos(2kx - (\theta_i - \theta_r)) \quad (IV-10)$$

y el ajuste de una curva del tipo

$$a_T(x) = A_1 + A_2 \cos(2kx - \delta) \quad (IV-11)$$

resuelve las amplitudes de oleaje incidente y reflejado como $a_i = A_1$, $a_r = A_2$, $\theta_i - \theta_r = \delta$. La aplicación de este método se ejemplifica en la figura IV.6, tomada de un caso real (Rosengaus,1987). Para el caso de esta figura se incluyó además en el ajuste la posibilidad de una variación lineal de la amplitud de la ola incidente a lo largo del

canal para considerar una posible atenuación por fricción. Mayores detalles pueden consultarse en la fuente original. En la figura IV.6 cada punto experimental se obtiene como la amplitud del oleaje registrado en un punto sobre el eje de canal y de la ecuación de la curva ajustada (línea continua) se concluye que $a_1(x) = (5.411 - 4.5 \times 10^{-5} x)$ cm y $a_r = 0.476$ cm.

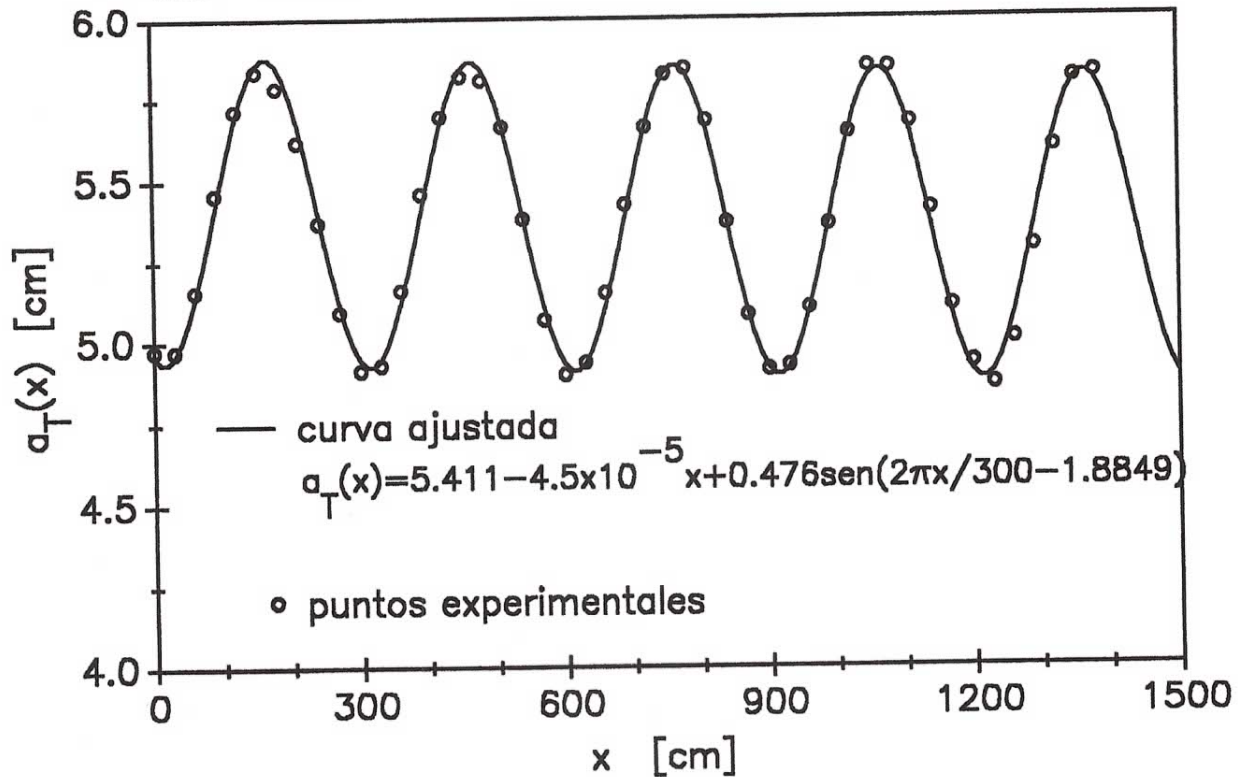


Fig.IV.6. Esquema que muestra la resolución de oleaje incidente y reflejado a través del método lento y preciso.

Fuente: Rosengaus (1987).

Este método no está limitado a oleaje monocromático puesto que un análisis de Fourier separa cada uno de los registros de oleaje en el tiempo en las componentes de sus diferentes frecuencias (paso (b) del método). En este caso la frecuencia ω no se conoce del movimiento que se imprime al generador de olas, sino que representa la frecuencia de la componente que se analiza en ese momento.

Observe que las fases del oleaje incidente y reflejado no pueden ser obtenidas en forma separada con este método (salvo que se mida