

oleaje incidente sobre pilas vecinas, los cálculos de fuerza máxima debe considerar la superposición de las fuerzas armónicas sobre todas las pilas. El origen del sistema coordenado puede ajustarse para coincidir con el eje de una sola de las pilas del sistema. En estos casos, aún con pilas circulares, la dirección de incidencia con respecto a la distribución espacial de pilas es importante.

- e) En cierto sentido, solo se trataron pilas verticales. En algunos casos existen pilas con inclinaciones apreciables (en muelles). Aunque la herramienta para su análisis es similar, se refiere el lector al Shore Protection Manual (1984) y a textos mas avanzados.
- f) En cálculos de condiciones de diseño debe considerarse la posible socavación máxima bajo el nivel original del fondo por el oleaje de diseño. Esto es especialmente importante en cálculos de momento máximo de volteo, ya que, aún una pequeña socavación puede aumentar apreciablemente el *brazo de palanca* de las fuerzas resultantes.
- g) Debido a que las pilas no presentan grandes superficies planas, las fuerzas por olas rompientes pueden calcularse de manera similar a las de olas no rompientes, a través de la distribución de presiones (ver Shore Protection Manual 1984). En pilas, las fuerzas impulsivas y el efecto de compresibilidad de bolsas de aire atrapado no son en general de consideración en su diseño.

Como puede observarse, sólo se trató explícitamente lo fundamental del tema de fuerzas sobre pilas. Sin embargo con estos fundamentos el lector interesado puede proseguir su estudio en textos o manuales de diseño de obras marítimas o de hidrodinámica de oleaje más avanzados. El autor se permite recomendar al respecto el Shore Protection Manual (1984), Mei (1983), Sarpakaya e Issacson (1981) y para generalidades sobre estructuras en alta mar, como plataformas marinas de explotación petrolera, Graff (1981).

### IX.3 FUERZAS SOBRE MUROS RIGIDOS.

Para muros que se interponen al paso del oleaje y que estan fabricados de material rígido (no de elementos sobrepuestos y mantenidos por su propio peso) se tratan de manera distinta las fuerzas por oleaje no rompiente y aquellas por olas rompientes puesto que tienen marcadas diferencias. El diseño de un muro de este tipo puede requerir el estudio de ambos casos dependiendo de su localización. Es común que oleaje de una cierta frecuencia pueda descartarse como rompiendo sobre la estructura, mientras que otra frecuencia pueda hacerlo. Cuando la estructura se encuentra situada fuera del litoral, puede estar sujeta simultaneamente a oleaje significativo por ambos lados. En este caso, la condición de diseño debe ser la condición factible mas desfavorable.

### IX.3.1 Fuerzas por oleaje no rompiente.

En este caso, donde las fuerzas impulsivas y el efecto de bolsas de aire atrapado estan ausentes, la evaluación de fuerzas se hace a través de la integración de la distribución de presiones sobre la estructura. Las teorías de orden superior (no lineales) de Miche (1944) y Rundgren (1958) proporcionan la mejor coincidencia con valores experimentales y serán las descritas aquí siguiendo el Shore Protection Manual (1984).

En estructuras de este tipo, con altos coeficientes de reflexión, es necesario considerar no solo la ola incidente, sino también la reflejada para la distribución de presiones sobre la estructura; o sea se calculan las fuerzas de presión debido a la ola parcial o totalmente estacionaria.

Apoyandonos en la fig. IX.8, las alturas de la cresta y del valle sobre el fondo el pie de la estructura son

$$y_c = h + h_o + \frac{1+R}{2} H_1 \quad (IX-42)$$

$$y_v = h + h_o - \frac{1+R}{2} H_1 \quad (IX-43)$$

donde la inclusión de  $h_o$  es necesaria pues en una teoría no lineal el nivel medio entre cresta y valle no coincide con el nivel medio del mar (o nivel del mar en calma)  $y = h$ .

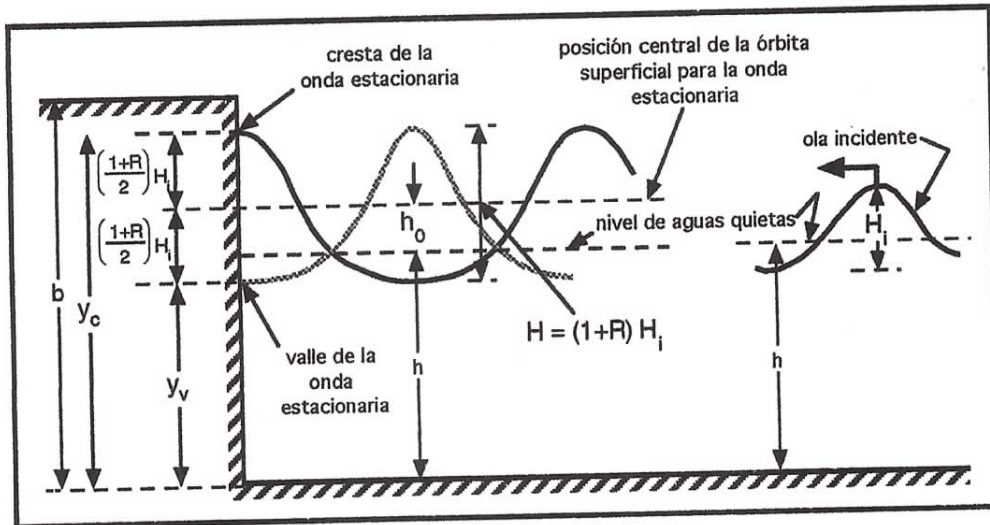


Fig.IX.8. Diagrama y nomenclatura de onda (parcialmente) estacionaria sobre un muro vertical. Fuente: Shore Protection Manual (1984).

El coeficiente de reflexión depende de la geometría y rugosidad del muro así como de la pendiente de la ola incidente. Sin embargo para este tipo de estructuras no se recomienda usar coeficientes de reflexión menores a 0.9.

La distribución de presión debido a oleaje (por sobre o debajo de la distribución hidrostática del mar en calma) se muestra en la fig. IX.9 para los casos extremos de cresta y valle. La presión  $p_1$  en el fondo debido al oleaje es

$$p_1 = \left( \frac{1+R}{2} \right) \frac{\gamma H_1}{\cosh kh} \quad (\text{IX-44})$$

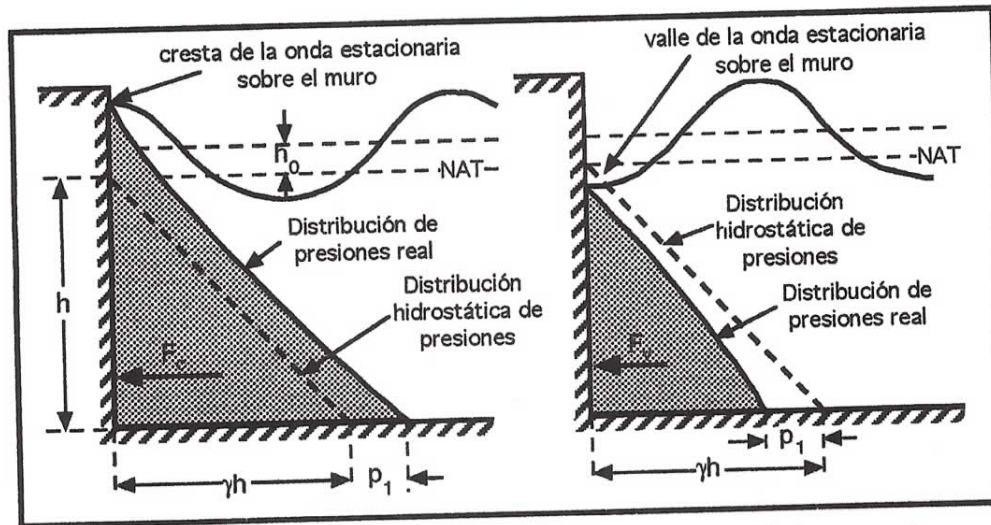


Fig.IX.9. Distribución de presiones bajo una cresta y bajo un valle para oleaje incidente sobre un muro vertical. Fuente: Shore Protection Manual (1984).

Las fuerzas y momentos se pueden calcular aproximando esta distribución por una recta desde  $y_c$  o  $y_v$  con presión cero hasta  $y=0$  con presión =  $p_1$ , e integrando. Mas estrictamente se pueden utilizar las figs. IX.10 a IX.15 con las cuales se pueden calcular  $h_0$ , la fuerza y el momento. Es importante notar en estas figuras los límites fuera de los cuales las olas son rompientes y por lo tanto esta teoría es inválida. Las figuras permiten calcular fuerza máxima (cresta en la estructura) y fuerza mínima (valle en la estructura).

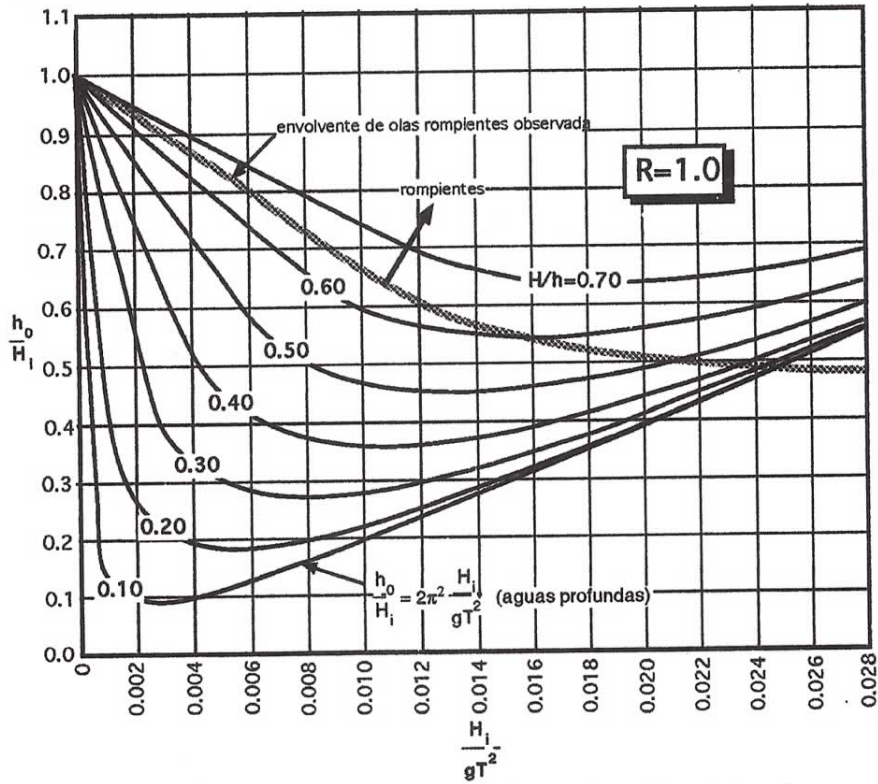


Fig.IX.10. Diagrama de cálculo de  $h_0$  en función de la ola incidente para un coeficiente de reflexión  $R=1$ .  
Fuente: Shore Protection Manual (1984).

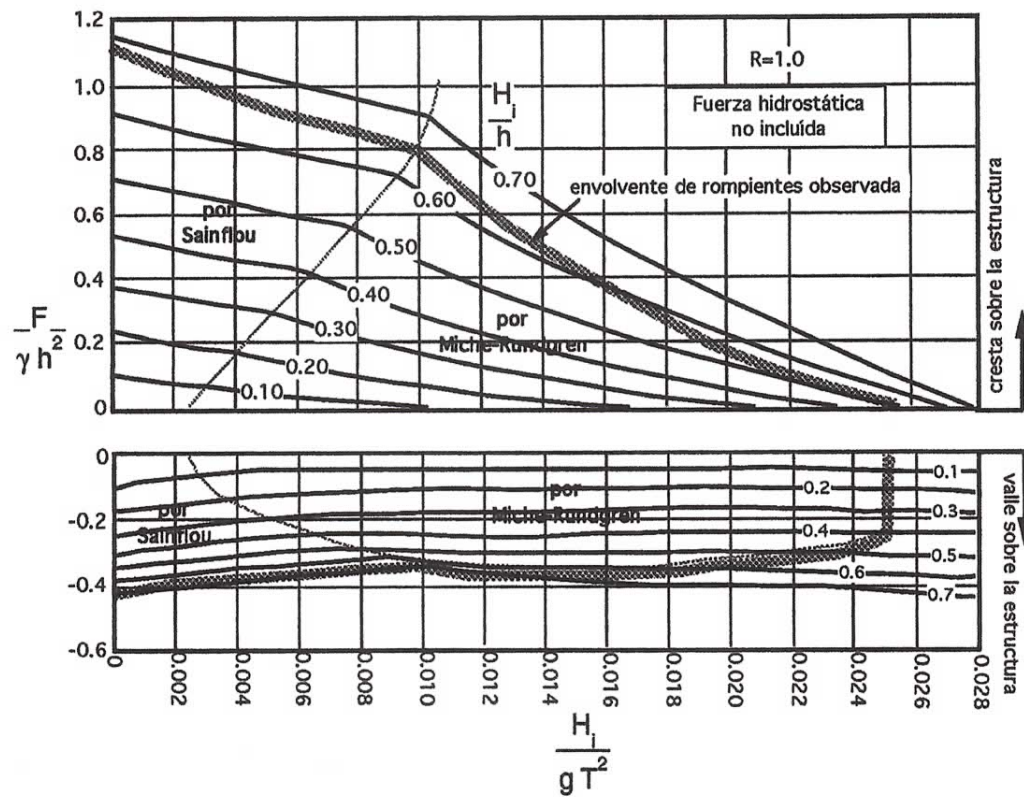


Fig. IX.11. Diagrama de cálculo de fuerzas de oleaje no rompiente sobre un muro para  $R=1.0$ . Fuente: Shore Protection Manual (1984).

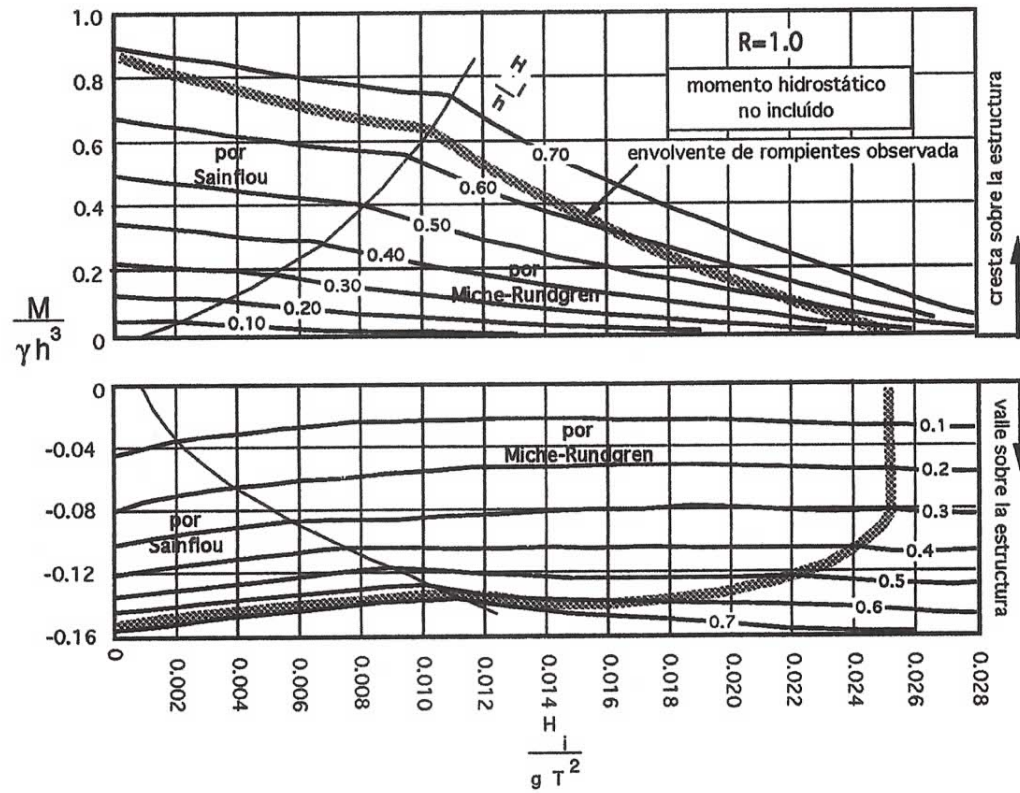
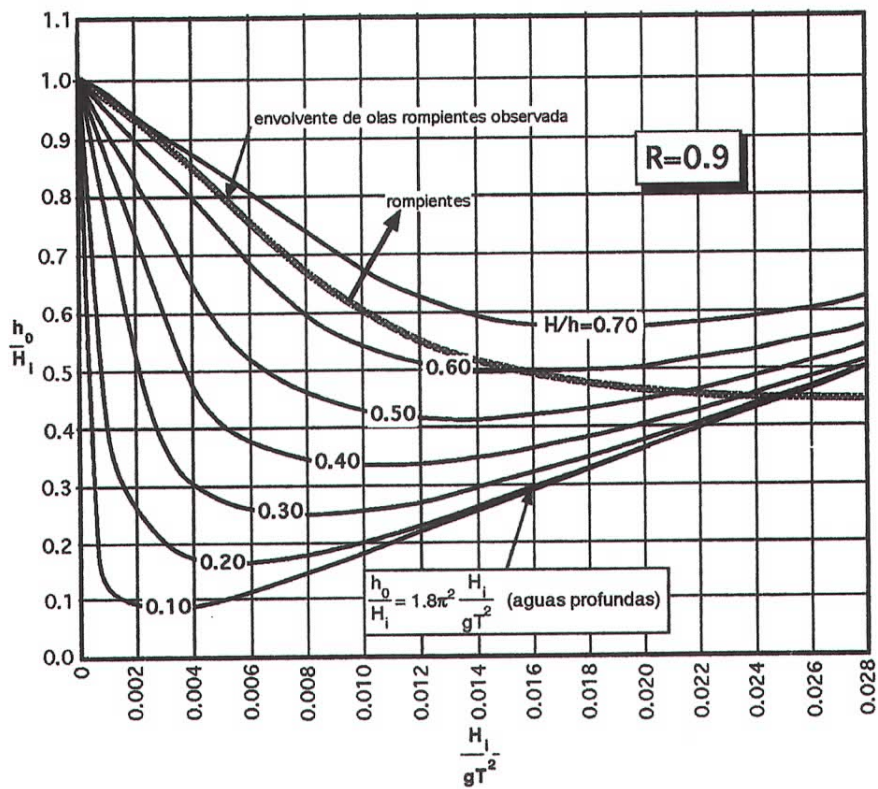


Fig. IX.12. Diagrama de cálculo de momentos de oleaje no rompiente sobre un muro para  $R=1.0$ . Fuente: Shore Protection Manual (1984).



**Fig.IX.13.** Diagrama de cálculo de  $h_0$  en función de la ola incidente para un coeficiente de reflexión  $R=0.9$ .  
Fuente: Shore Protection Manual (1984).



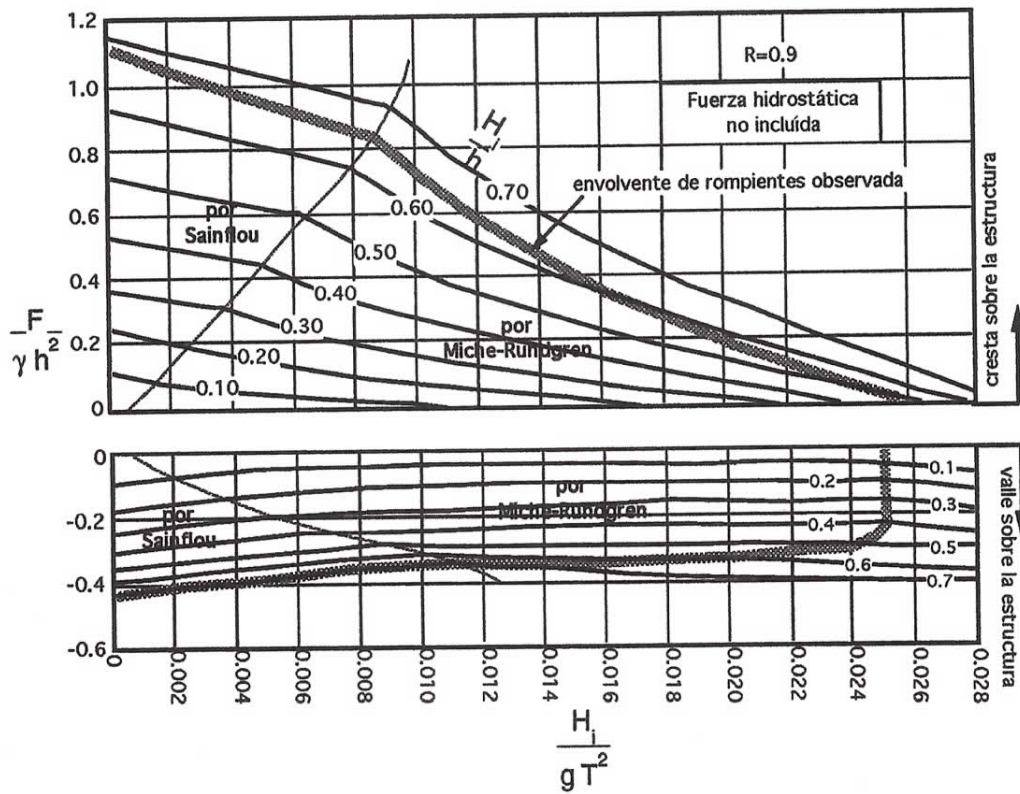


Fig. IX.14. Diagrama de cálculo de fuerzas de oleaje no rompiente sobre un muro para  $R=0.9$ . Fuente: Shore Protection Manual (1984).

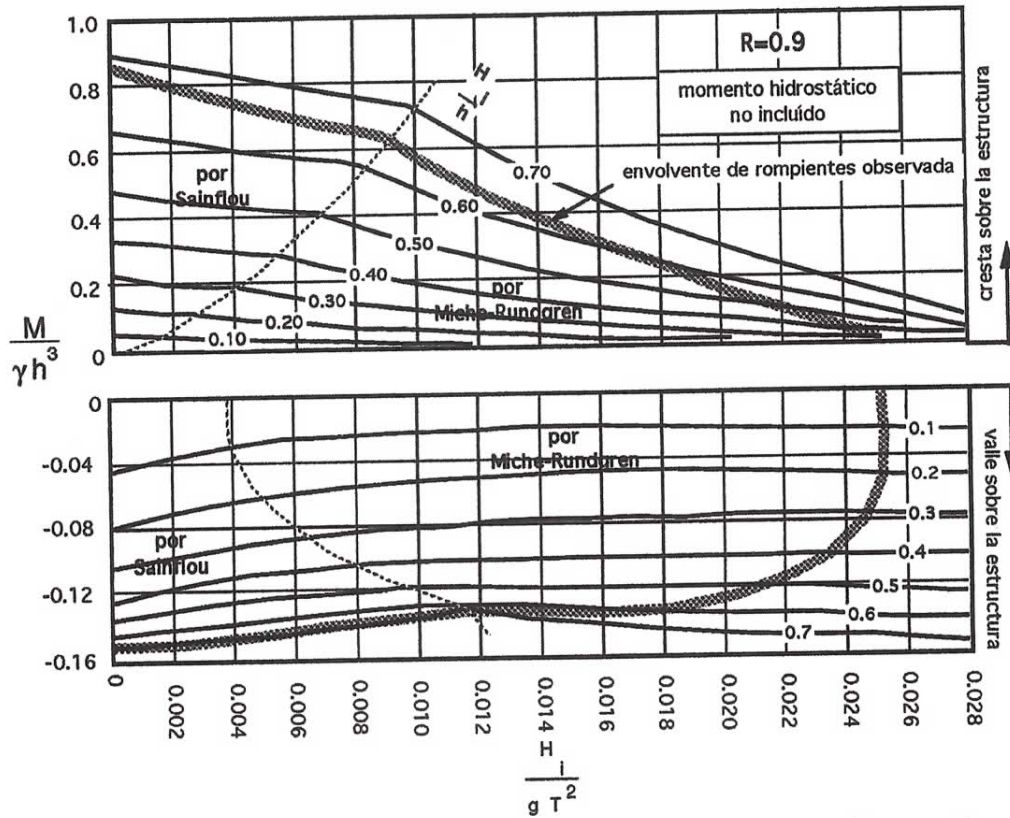


Fig. IX.15. Diagrama de cálculo de momentos de oleaje no rompiente sobre un muro para  $R=0.9$ . Fuente: Shore Protection Manual (1984).

Para diseño, las condiciones mas desfavorables son en general con cresta del lado desprotegido en forma simultánea a valle del lado protegido, como se muestra en la fig. IX-16.