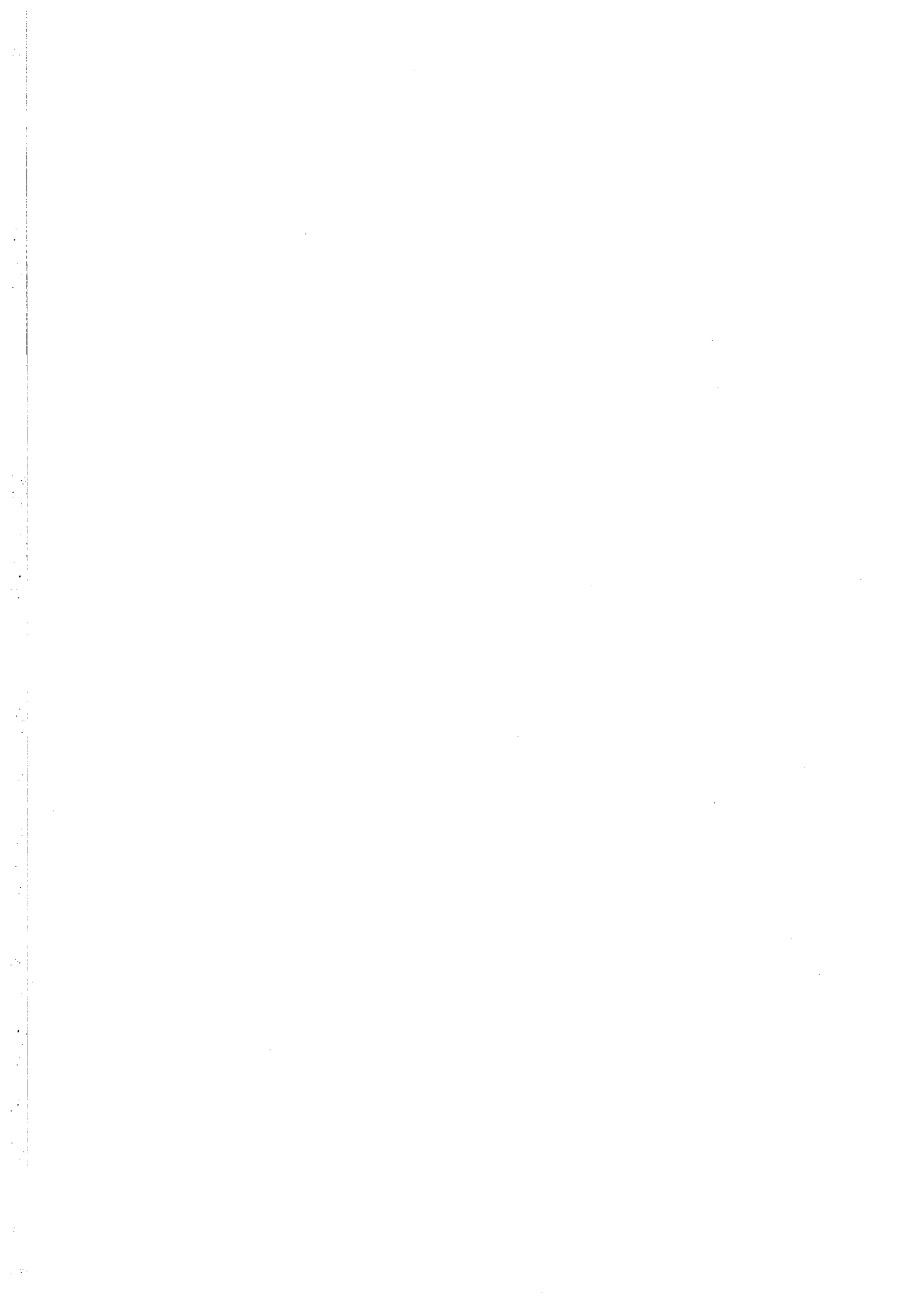


**METODO SIMPLIFICADO
PARAMETRICO DE
PREVISION DE OLAJE
DE VIENTO**

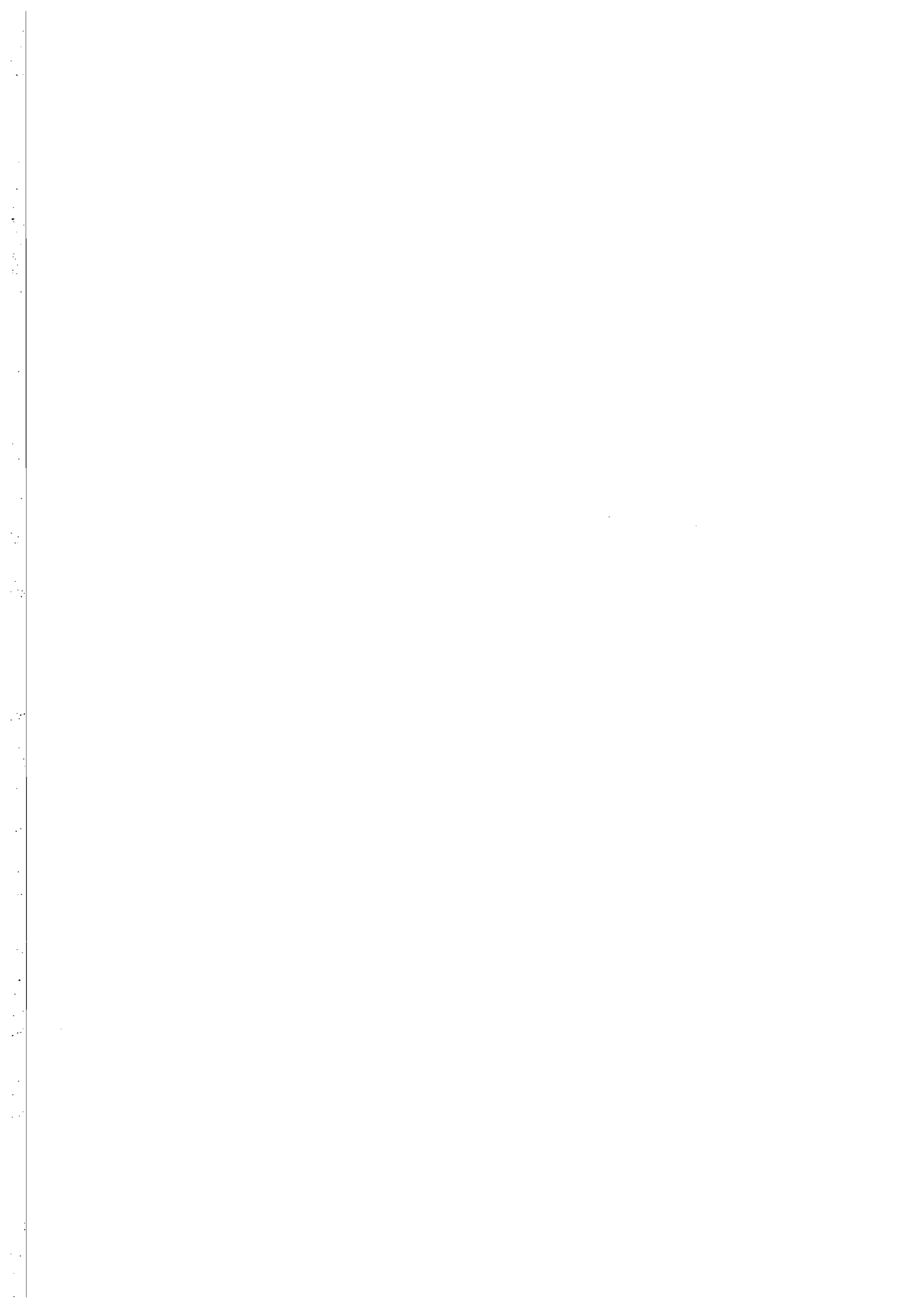
ANEJO II



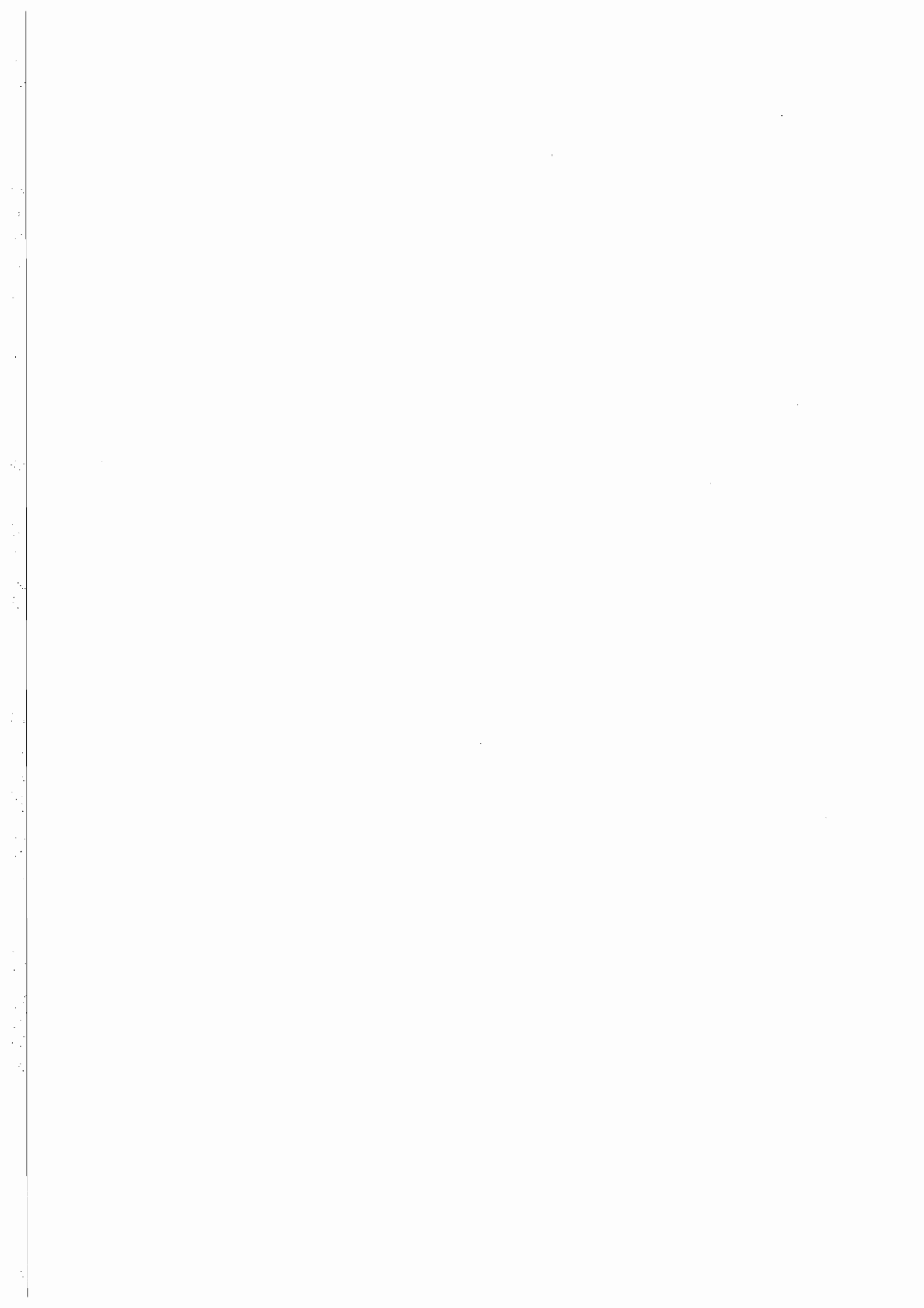
**METODO SIMPLIFICADO PARAMETRICO
ANEJO II DE PREVISION DE OLEAJE DE VIENTO**

Indice

II.1. INTRODUCCION	241
II.2. DATOS DE PARTIDA	242
II.2.1. LONGITUD DEL FETCH	242
II.2.2. CARACTERISTICAS DEL VIENTO GENERADOR.....	243
II.2.3. PROFUNDIDAD DEL AGUA	243
II.3. PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN AGUAS PROFUNDAS	244
II.4. PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS	246



II.2.1.1.	Procedimiento para el cálculo de la longitud del fetch en zonas costeras o interiores irregulares	242
-----------	--	-----



ANEJO II

TABLAS

Indice

II.3.1.	Abaco para la previsión del oleaje de viento en aguas profundas (<i>Método SPM/1984</i>)	245
II.4.1.	Abacos para la previsión del oleaje de viento en profundidades reducidas ($\leq 15 m$) de profundidad constante (<i>Método SPM/1984</i>)	247



ANEJO II METODO SIMPLIFICADO PARAMETRICO DE PREVISION DE OLAJE DE VIENTO

II.1. INTRODUCCION

Los métodos y modelos teórico-empíricos de previsión de oleaje a partir de datos de viento están en el origen de la tecnología de análisis, caracterización y previsión del oleaje asociado a unas condiciones climáticas determinadas. Estos métodos constituyen aún en la actualidad una herramienta de extraordinario interés para caracterizar el oleaje en zonas donde no existe ningún tipo de información sobre el mismo; así como para estimar el oleaje local de dársenas, rías y, en general, de zonas confinadas donde el oleaje es fundamentalmente generado por la acción de vientos de carácter local. A su vez, estos métodos son muy útiles para completar y contrastar la información instrumental y visual de oleaje disponible.

La aproximación puramente determinista debida a Iribarren, empleada en la práctica hasta finales de la década de los 60, donde las variables altura de ola, periodo, y longitud de onda son función únicamente del fetch ⁸⁹⁾, representa una de las primeras modelizaciones o aproximaciones teóricas a la previsión del oleaje. Desde entonces, otros métodos o modelos de previsión de oleaje más realistas han sido desarrollados a partir de un mejor conocimiento de los mecanismos de generación del oleaje por la acción del viento, y de desarrollo y atenuación del mismo; así como por los grandes avances en la informática.

Los métodos de previsión de oleaje a partir de datos de viento se pueden clasificar en métodos o modelos numéricos y en métodos simplificados paramétricos.

Los inconvenientes principales de los métodos numéricos son el elevado coste que supone su aplicación y la necesidad de disponer como información de partida de datos de viento fiables en forma de cartas meteorológicas de superficie. Además, el reciente desarrollo de estos modelos hace imprescindible contrastar los resultados obtenidos con algún tipo de medida instrumental con el objeto de calibrar el modelo para la zona de aplicación, lo que supone una limitación adicional. Por el contrario, si la información de partida es fiable y el modelo ha sido correctamente calibrado, los resultados obtenidos son más realistas que los estimados a partir de los métodos simplificados al tomar en consideración todos los fenómenos que intervienen en la evolución de los campos de oleaje en superficie en el espacio y en el tiempo. Los modelos numéricos suelen permitir la previsión tanto de oleajes de viento (*Sea*) como de oleajes de fondo (*Swell*), así como de oleajes compuestos *Sea+Swell*.

Los métodos simplificados de previsión de oleaje pueden utilizarse cuando ni el tiempo disponible ni la magnitud del proyecto o la incidencia del oleaje en el mismo justifiquen el uso de complejos métodos numéricos potencialmente mucho más precisos. Estos métodos suelen permitir únicamente la estimación aproximada de oleajes de viento (*Sea*) sin tener en cuenta la posibilidad de un oleaje de fondo (*Swell*) con otro origen propagándose simultáneamente en el interior del área de generación, ni su evolución fuera de la misma. Los resultados obtenidos mediante la aplicación de estos métodos son más fiables en los casos de alta velocidad del viento y fetch corto (*hasta 120 km aproximadamente*) y de geometría simple, en los cuales puede asumirse que el viento se mantiene con intensidad y dirección relativamente constantes a lo largo de toda la longitud del fetch durante un tiempo determinado. La precisión de estos métodos está limitada fundamentalmente por la inexistencia en la realidad de campos de vientos totalmente homogéneos y estacionarios, y por la propia simplicidad de los mismos.

Los métodos simplificados de previsión de oleaje de viento precisan la previa estimación de las condiciones del campo de viento generador y de las características espaciales del área de generación (*fetch*), definidos por los siguientes parámetros característicos:

(89) $H=1.2(L_F)^{1/4}$; $T=(62 \cdot \pi/g)^{1/2} \cdot (L_F)^{1/6}$; $L=31 \cdot (L_F)^{1/3}$, para H y L en m, L_F en km, T en s y $g=9.8$ m/s². Para la definición de la longitud del fetch (L_F) ver apartado II.2.1.

- Longitud del fetch.
- Velocidad del viento.
- Dirección del viento.
- Duración del viento.
- Profundidad del agua.

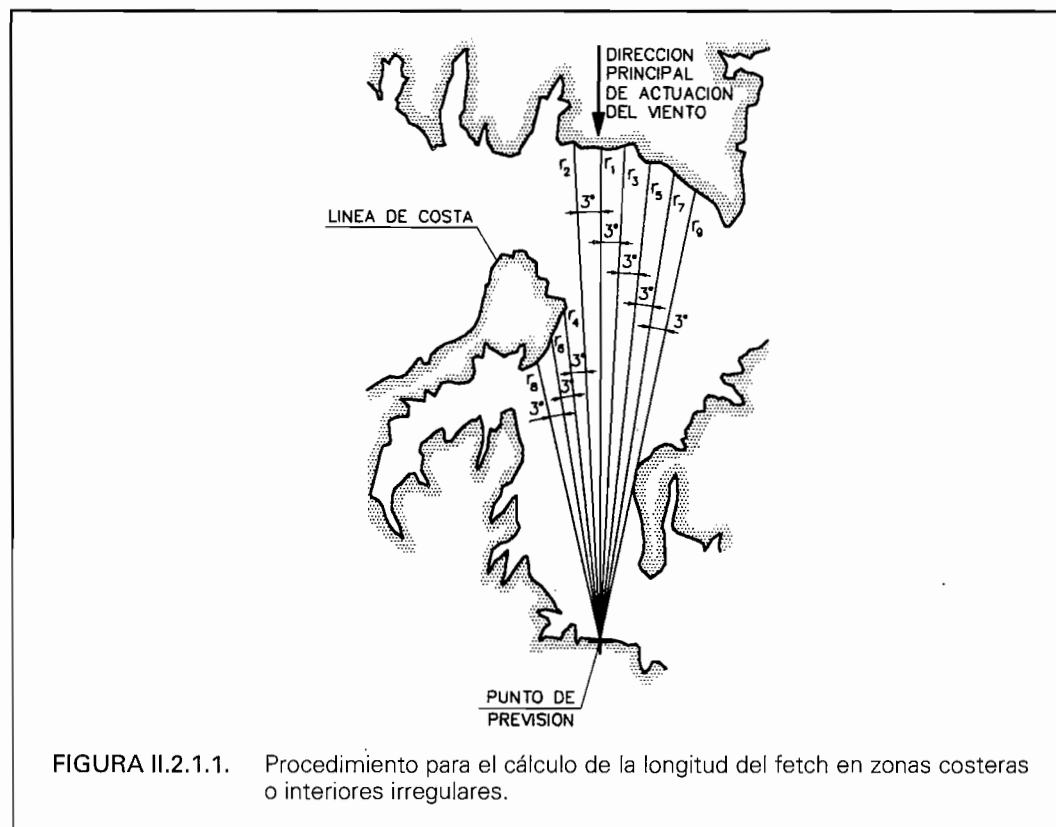
II.2. DATOS DE PARTIDA

II.2.1. LONGITUD DEL FETCH

En principio se denominará fetch asociado a un punto de previsión a la superficie de agua en la que actúa un viento homogéneo y estacionario, generador de un oleaje capaz de propagarse hasta el punto de previsión considerado. Por extensión se denomina fetch a la superficie de agua donde actúa viento capaz de generar oleaje.

No obstante, el término fetch se usa simplificadaamente para definir la longitud del área de generación en la dirección del viento (L_F), lo cual es correcto en áreas oceánicas donde el efecto de la anchura del fetch en la generación y desarrollo del oleaje es despreciable al ser del mismo orden de magnitud que la longitud correspondiente. Por el contrario, en aguas costeras o interiores (*dársenas, bahías, rías, estuarios, embalses,...*) la anchura suele estar limitada, pudiendo esta circunstancia tener influencia en el mecanismo de generación del oleaje. Para tener en cuenta este efecto algunos modelos de previsión recomiendan sustituir en los cálculos la longitud del fetch (L_F) por una longitud del fetch efectiva ($L_{F,efec}$), equivalente a la longitud del fetch no limitado que produce los mismos efectos en el punto de previsión ⁽⁹⁰⁾.

En zonas costeras o interiores irregulares, la longitud del fetch (L_F) puede estimarse mediante el siguiente procedimiento: se trazarán, con origen en el punto de previsión y final en la primera intersección con la línea de costa, nueve rectas radiales a intervalos de 3



(90) P.e Abaco de Saville, 1954 para superficies de generación aproximadamente rectangulares. Para más comentarios al respecto ver ROM 0.3. Oleaje.

grados a partir de la dirección media de actuación del viento generador y a ambos lados de la misma. La longitud del fetch (L_F) será la media aritmética de la longitud de las citadas rectas radiales (Ver figura II.2.1.1). Es decir:

$$L_F = \frac{\sum_1^9 r_i}{9} \quad \text{III.2.1}$$

Puede utilizarse cualquier otro intervalo angular entre rectas radiales siempre que sea pequeño.

II.2.2. CARACTERISTICAS DEL VIENTO GENERADOR

El/los Estado/s de Viento generador/es queda/n definidos por los parámetros velocidad, dirección y duración.

La velocidad del viento que se utiliza generalmente como dato de partida en los métodos simplificados de previsión de oleaje es la velocidad media del viento en un intervalo de medición de 10 minutos, correspondiente a 10 metros de altura sobre la superficie en mar abierto (*Categoría I de rugosidad superficial*). Dicha velocidad coincide con el parámetro Velocidad Básica del Viento, salvo en aquellos casos en los que las condiciones topográficas locales tengan influencia en el perfil de velocidades medias (*p.e. rías o estuarios muy encajonados*). En estos casos la velocidad media a considerar será la Velocidad Básica del Viento multiplicada por el correspondiente factor topográfico F_T (Ver apartado 2.1.3). Es decir:

$$\overline{V_v(10)}_I = V_{v,10min(10)}_I = V_b \quad \text{III.2.2}$$

o en caso necesario:

$$V_b \cdot F_T \quad \text{III.2.3}$$

Si el parámetro de velocidad de viento del que se dispone como representativo del Estado/s de Viento generador/es se corresponde con la velocidad de ráfaga máxima asociada a un intervalo de medición t o con la velocidad media en otras condiciones de altura o rugosidad superficial, podrá obtenerse el parámetro de partida $V_{v,10min(10)}_I$ por medio de los factores de velocidad de viento F (Ver apartado 2.1.3).

La definición de la duración asignada a los Estados de Viento generadores de oleaje, o duración de la persistencia de la velocidad media del viento adoptada como dato de partida por encima de dicho nivel, es muy importante para la estimación de los oleajes generados. Así, para una velocidad de viento y longitud del fetch determinados, el oleaje de viento irá incrementando su altura de ola y periodo con la duración hasta alcanzar una situación de equilibrio. En el límite ($L_F \geq L_{Flim}$), y para cada velocidad de viento, a esta situación se le denomina Oleaje Sea totalmente desarrollado. Desde estas situaciones, aumentos en la duración del viento no darán lugar a aumentos de la altura de ola o el periodo.

Es muy importante, por tanto, el binomio velocidad media del viento/duración ya que la adopción de velocidades medias menores asociadas a mayores persistencias puede dar lugar a oleajes mayores.

II.2.3. PROFUNDIDAD DEL AGUA

En profundidades de agua superiores a aproximadamente 90 metros los mecanismos de generación de oleaje no están sustancialmente afectados por las variaciones de profundidad, ni por las transformaciones del oleaje asociadas a fenómenos como la fricción de fondo, la percolación, el shoaling, la refracción o la rotura ⁹¹⁾.

Para idénticas características de longitud del fetch y del viento, el oleaje de viento generado en aguas de profundidades reducidas o intermedias presentará menor altura de ola y más corto periodo que aquél generado en aguas profundas. En cualquier caso, en profundidades reducidas los mecanismos de generación de oleaje suelen tener menor importancia que los efectos asociados a las transformaciones de oleaje en dichas aguas por refracción, difracción, rotura, etc.

(91) Para conocer más detalles sobre estos fenómenos ver ROM 0.3. Oleaje.

II.3. PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN AGUAS PROFUNDAS

Uno de los más simples, y ampliamente utilizado método simplificado paramétrico de previsión de oleaje de viento, es el denominado SMB, desarrollado en 1947 por Sverdrup y Munk, y modificado por Bretschneider (1952, 1958). Dicho método fue posteriormente revisado por Mitsuyasu (1968), y últimamente por Hasselman (1973), dando lugar al método denominado SPM (*Shore Protection Manual/1984*).

El método SPM permite obtener las variables características del oleaje [*Altura de ola significativa (H_s) y periodo de pico (T_p)*] en función de las características del viento y del área de generación por medio de la formulación [II.3.1] a [II.3.8], considerando que las características de los oleajes de viento están limitadas por:

- *La Longitud del Fetch*: El viento actúa durante el tiempo mínimo (t_{min}) para permitir que la altura de ola y el periodo alcancen una situación de equilibrio en el extremo del fetch, no siendo afectadas por duraciones superiores del mismo. En el límite ($L_F \geq L_{F,lim}$), para una velocidad de viento dada, las características del oleaje no superarán las condiciones máximas denominadas Oleaje de Viento Totalmente Desarrollado.
- *La Duración del Viento*: Las características del oleaje generado dependen de la duración del viento si ésta es menor que la mínima necesaria para que se alcance el equilibrio en el extremo del fetch.

En el caso de oleajes limitados por la longitud del fetch ($t > t_{min}$), las características del oleaje de viento generado se obtienen mediante la formulación siguiente ^{92), 93)}:

$$H_s = 5.112 \cdot 10^{-4} \cdot U_A \cdot (L_F)^{1/2} \quad \text{[II.3.1]}$$

$$T_p = 6.238 \cdot 10^{-2} \cdot (U_A \cdot L_F)^{1/3} \quad \text{[II.3.2]}$$

$$t_{min} = 3.215 \cdot 10 \cdot \left[\frac{L_F^2}{U_A} \right]^{1/3} \quad \text{[II.3.3]}$$

siendo $U_A = 0.71 \cdot [V_{v,10 \text{ min}}(10)]^{1.23}$ (U_A y V_v en m/s) la velocidad del viento corregida con objeto de tener en cuenta la relación no lineal entre la velocidad del viento y su capacidad de arrastre. A esta velocidad se le denominará a estos efectos como Velocidad Eficaz del Viento.

Dicha formulación tendrá validez hasta alcanzarse las condiciones de Oleaje Totalmente Desarrollado, definidas por las ecuaciones siguientes ^{92), 93)}:

$$H_s = 2.482 \cdot 10^{-2} \cdot (U_A)^2 \quad \text{[II.3.4]}$$

$$T_p = 8.30 \cdot 10^{-1} \cdot U_A \quad \text{[II.3.5]}$$

$$t_{min} = 7.296 \cdot 10^3 \cdot U_A \quad \text{[II.3.6]}$$

En el caso de oleajes limitados por la duración ($t < t_{min}$), las características del oleaje de viento generado se obtienen mediante la formulación siguiente ^{92), 93)}:

$$H_s = 4.433 \cdot 10^{-5} \cdot (U_A)^2 \cdot (t/U_A)^{5/7} \quad \text{[II.3.7]}$$

$$T_p = 1.830 \cdot 10^{-2} \cdot U_A \cdot (t/U_A)^{0.411} \quad \text{[II.3.8]}$$

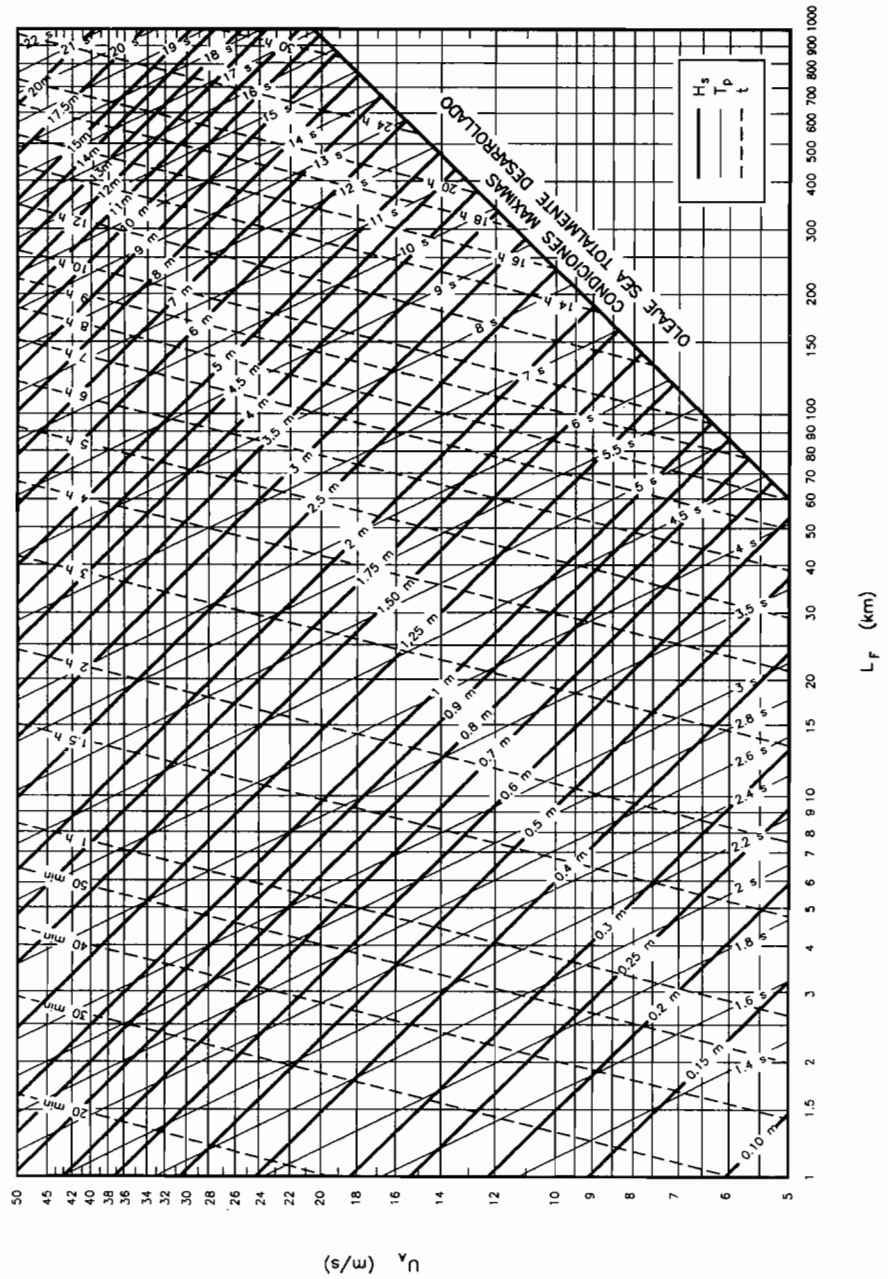
Para la aplicación práctica del método SPM/1984 en aguas profundas ($\geq 90 \text{ m}$) podrá utilizarse el ábaco de la tabla II.3.1., obtenido a partir de la formulación anteriormente expuesta. Este ábaco tiene en abscisas la longitud del fetch (L_F) en km y en ordenadas la velocidad eficaz del viento (U_A) en m/s, con isolíneas de duración (t) en horas y minutos, altura de ola significativa (H_s) en m y periodo de pico (T_p) en s. A partir de este ábaco, las características del oleaje de viento generado podrán estimarse como los menores valores de altura de ola significativa y periodo de pico obtenidos a partir de las siguientes combinaciones:

- U_A/t (limitación por la duración de actuación del viento).
- U_A/L_F (limitación por la longitud del fetch).

(92) Las unidades en que se introducen los distintos parámetros que intervienen en las ecuaciones [II.3.1] a [II.3.8] son las siguientes: H_s y L_F en m; T_p y t en s; U_A en m/s.

(93) Este método se aplica introduciendo el parámetro longitud del fetch (L_F), no debiéndose utilizar aplicando la longitud del fetch efectiva ($L_{F,efec}$).

TABLA II.3.1. ABACO PARA LA PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN AGUAS PROFUNDAS (METODO SPM/1984)



En general, los oleajes de viento presentan dispersiones direccionales importantes. No obstante, simplificadaamente podrá considerarse que la dirección principal de propagación del oleaje de viento generado coincide con la dirección de actuación del viento generador.

II.4. PREVISION DEL OLEAJE DE VIENTO EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS

Para la previsión de oleajes de viento en aguas poco profundas (*en general* ≤ 15 m) o intermedias (*en general entre* 15 y 90 m) podrá aplicarse el método simplificado paramétrico desarrollado por Bretschneider y Reid (1953) y modificado por Iijima y Tang (1966), basado en el balance entre la energía cedida por el viento al oleaje y la sustraída por fricción de fondo y percolación, suponiendo que la profundidad se mantiene constante en toda el área de generación y no teniendo en cuenta la limitación del oleaje por duración de actuación del viento. Este método representa una primera aproximación al problema, estando pendiente de desarrollo en función de los resultados obtenidos en futuras investigaciones.

Este método utiliza la siguiente formulación ⁹³⁾:

$$H_s = 0.283 \cdot \frac{U_A^2}{g} \cdot \operatorname{tgh} \left[0.530 \left(\frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/4} \right] \cdot \operatorname{tgh} \left[\frac{0.00565 \cdot \left(\frac{g \cdot L_F}{U_A^2} \right)^{1/2}}{\operatorname{tgh} \left[0.530 \cdot \left(\frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/4} \right]} \right] \quad \text{[II.4.1]}$$

$$T_p = 7.54 \cdot \frac{U_A}{g} \cdot \operatorname{tgh} \left[0.833 \left(\frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/8} \right] \cdot \operatorname{tgh} \left[\frac{0.0379 \cdot \left(\frac{g \cdot L_F}{U_A^2} \right)^{1/3}}{\operatorname{tgh} \left[0.833 \cdot \left(\frac{g \cdot d}{U_A^2} \right)^{3/8} \right]} \right] \quad \text{[II.4.2]}$$

$$t_{\min} = 5.37 \cdot 10^2 \cdot \left[\frac{g}{U_A} \right]^{4/3} \cdot (T_p)^{7/3} \quad \text{[II.4.3]}$$

siendo d la profundidad del agua y g la aceleración de la gravedad.

Para facilitar la aplicación práctica de este método en profundidades menores o iguales a 15 metros podrán utilizarse los ábacos de la tabla II.4.1., obtenidos a partir de la formulación anterior para profundidades constantes (d) de 1.5 m, 3 m, 4.5 m, 6 m, 7.5 m, 9 m, 10.5 m, 12 m, 13.5 m y 15 m respectivamente. Para profundidades intermedias a los valores dados, las alturas de ola y los periodos podrán estimarse interpolando linealmente.

Estos ábacos tienen estructura y metodología de utilización similar que las definidas para el ábaco aplicable a aguas profundas (*Tabla II.3.1*). Estos ábacos también permiten estimar las características de oleajes limitados por la duración de actuación del viento, incorporando las isóneas de duración correspondientes. Dichas isóneas han sido obtenidas aceptando como primera aproximación para profundidades reducidas la formulación desarrollada para aguas profundas.

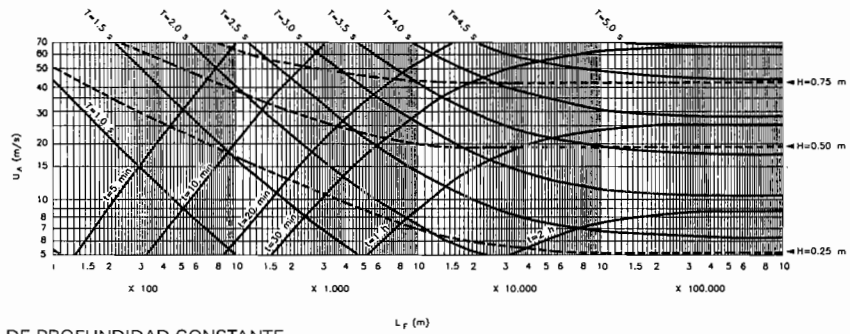
Este método es aplicable estrictamente a áreas de profundidad aproximadamente constante, no tomando por tanto en consideración los efectos asociados a las transformaciones del oleaje en profundidades reducidas variables. Únicamente como aproximación grosera, y a falta de elementos de análisis más precisos, podrá aplicarse a zonas de profundidad variable, adoptando una profundidad constante equivalente coincidente con la profundidad media.

Al igual que para el caso de oleajes en aguas profundas, en general los oleajes de viento generados en profundidades reducidas presentan dispersiones direccionales importantes. No obstante, simplificadaamente podrá considerarse que la dirección principal de propagación de dichos oleajes en zonas de profundidad constante coincide con la dirección de actuación del viento generador.

TABLA II.4.1. ABACOS PARA LA PREVISION DEL OLAJE DE VIENTO EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS (≤ 15 m) DE PROFUNDIDAD CONSTANTE. (METODO SPM/1984)

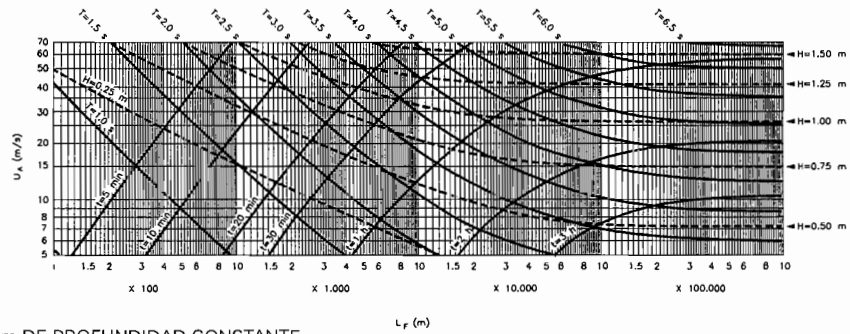
PARA 1,5 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 1,5 m con periodos menores de 1,4 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse $d/T^2 > 0,78$ para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



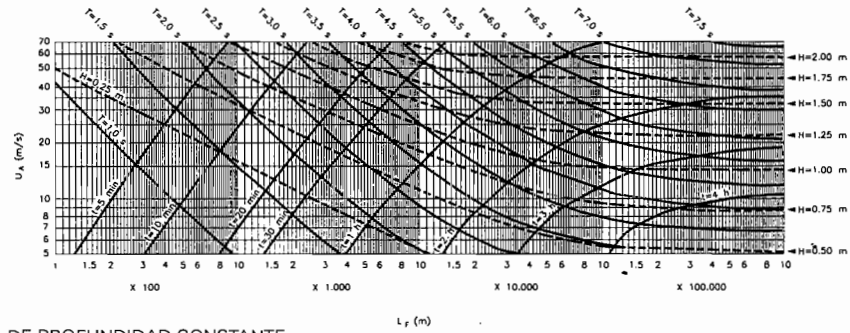
PARA 3 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 3 m con periodos menores de 2 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse $d/T^2 > 0,78$ para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



PARA 4,5 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 4,5 m con periodos menores de 2,4 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse $d/T^2 > 0,78$ para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



PARA 6 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 6 m con periodos menores de 2,8 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse $d/T^2 > 0,78$ para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.

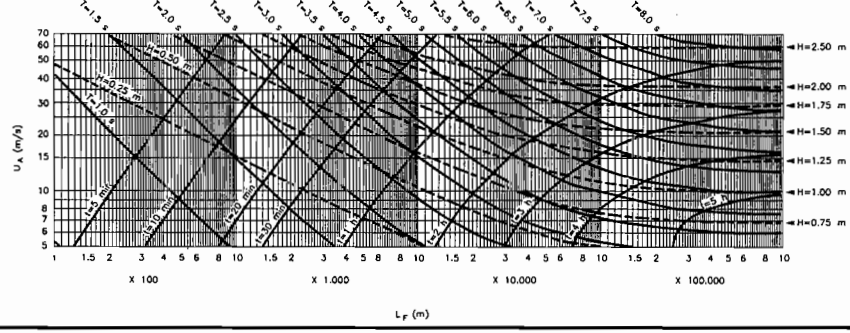
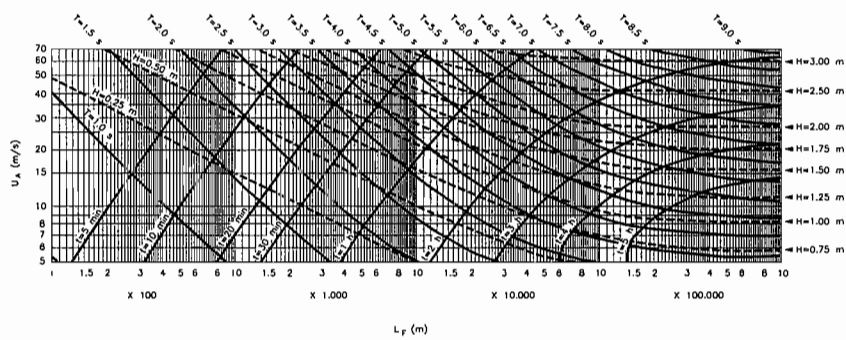


TABLA II.4.1. (Continuación)

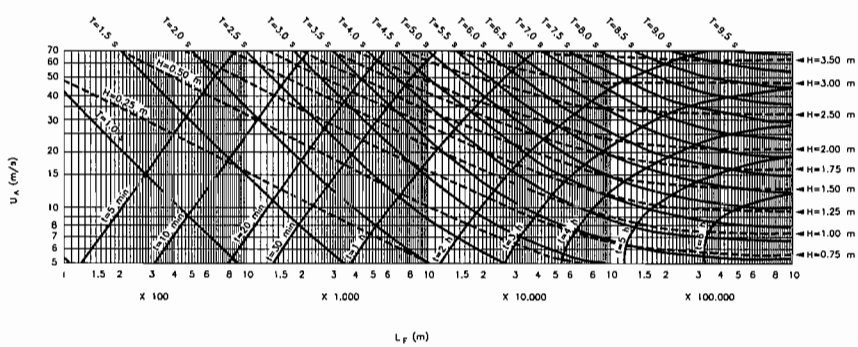
PARA 7,5 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 7,5 m con periodos menores de 3,1 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse $d/T^2 > 0,78$ para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



PARA 9 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 9 m con periodos menores de 3,4 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse $d/T^2 > 0,78$ para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



PARA 10,5 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 10,5 m con periodos menores de 3,7 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse $d/T^2 > 0,78$ para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.

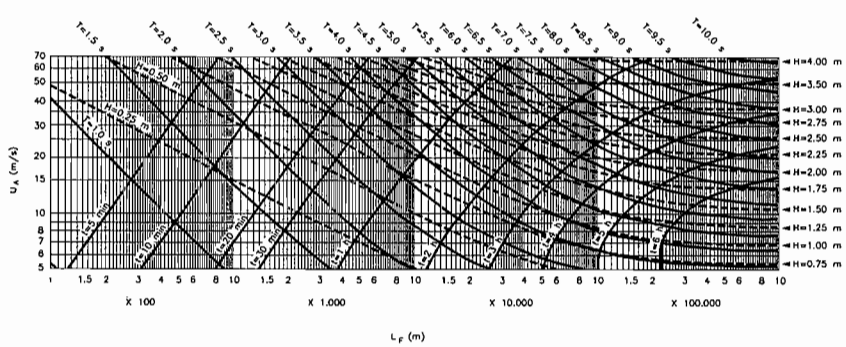
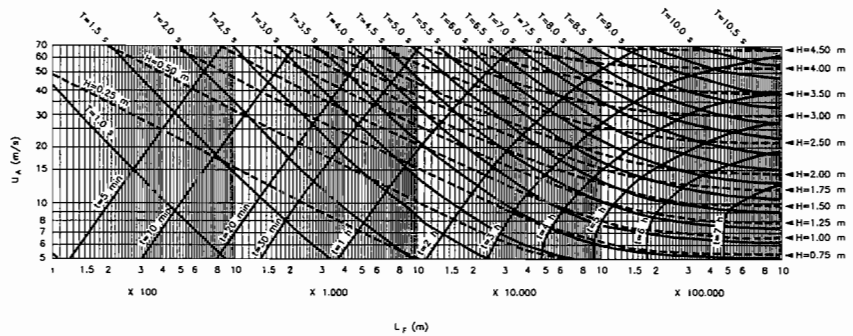


TABLA II.4.1. (Continuación)

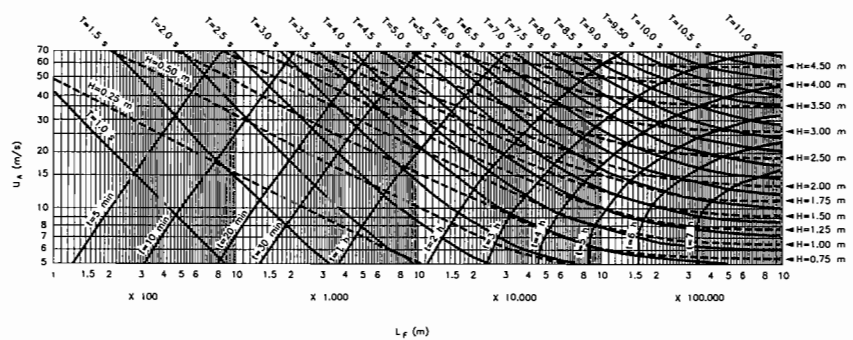
PARA 12 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 12 m con periodos menores de 3,9 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse $d/T^2 > 0,78$ para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



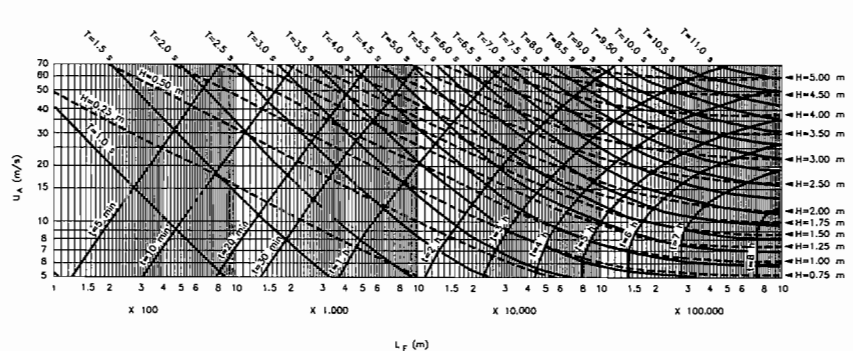
PARA 13.5 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 13,5 m con periodos menores de 4,2 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse $d/T^2 > 0,78$ para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



PARA 15 m DE PROFUNDIDAD CONSTANTE

NOTA: Oleajes en profundidades de 15 m con periodos menores de 4,4 s serán considerados como oleajes en aguas profundas al cumplirse $d/T^2 > 0,78$ para d en m y T en s, según la formulación de la onda de Airy.



NOTA: Se considera que un oleaje está en aguas profundas cuando la razón entre la profundidad del agua (d) y la longitud de onda (L) es mayor que 1/2. Es decir, aplicando el modelo de onda de Airy, cuando:

$$d/L > 1/2 \Rightarrow \frac{d}{gT^2/2\pi} > 1/2 \Rightarrow \frac{d}{T^2} > 0.78$$

, para d en m y T en s.

