Una vez establecidos los factores limitantes, para el cálculo de los elementos de ola se pueden utilizar métodos numéricos de autores reconocidos, como son Breshnaider (1964); Rzheplinsky (1969); Krilov et. al. (1976); Hansselman (citado por CEDEX, 1993), etc. En el presente trabajo, se utiliza la formulación de Krilov, para la cual se cuenta con la mayor cantidad de documentación.

El cálculo de los elementos de ola se comienza obteniendo la altura media (h_m). En función del fetch (X), la relación es la siguiente:

$$h_m = 0{,}16\{ 1.0 - [1.0 / (1.0 + 0.006 (Gv_m . X)^{1/2})]^2 \} / Gv_m) \quad (1.4.4)$$

Donde: $Gv_m = g / V^2$

g - Aceleración de gravedad

La persistencia característica de los eventos meteorológicos que producen los oleajes extremos, oscila entre 12 y 24 horas, suficiente para lograr un buen desarrollo; es por ello que predomina como factor limitante el alcance del viento y los elementos de ola se calculan preferentemente en función del fetch (X).Sobre el fetch complejo, la altura media de la ola se determina como:

$$hm = 0{,}1\{ho+21(h^2_{+1}+h^2_{-1})+13(h^2_{+2}+h^2_{-2})+3{,}5(h^2_{+2}+h^2_{-2})\}^{0.5} \quad (1.4.5)$$

Es sabido que en la naturaleza, de acuerdo con la velocidad del viento existente, las dimensiones de las olas alcanzan un cierto valor crítico, a partir del cual no se desarrollan más. Por tanto, es preciso establecer un umbral en los factores limitantes. Para el método de Krilov, se utiliza el concepto de ***fetch límite*** (X_{lim}), del (SNIP, 1984), en función de la velocidad del viento:

Tabla 1.4.4 Relación del fetch límite con la velocidad del viento

V (m/S)	< 20	20< V<25	25<V<30	30<V<40	40<V< 50
X_{lim} (km)	1600	1200	600	200	100

En el presente trabajo, este criterio se aplicó de la manera siguiente: Con los datos disponibles se calcula la altura media de la ola en el punto de interés. A partir de la misma se determina en operación inversa el fetch equivalente. Se compara con el valor límite, dado en la tabla. Si el resultado es mayor que el límite, se recalcula el valor de la altura de ola, utilizando la velocidad del viento en el punto de interés y el fetch límite correspondiente. Posteriormente se procede al cálculo del período medio (T) y de la longitud de onda (L) por las relaciones clásicas sencillas:

$$T = 6.2 \pi (Gv_m . h)^{0.625} \left(\frac{V}{g}\right) \quad (1.4.6)$$

$$L = T^2 . g (2\pi) \quad (1.4.7)$$

Con estos resultados, es posible calcular las alturas técnicas requeridas por el usuario, ya sea de la ola significativa (hsig) o de la máxima (hmax). A partir de la ola en aguas profundas, se calculan sus elementos de aguas someras y la rompiente, teniendo en cuenta la batimetría local. Se recomienda utilizar la base batimétrica de Salas et. al. (1994).

1.4.5 Determinación de los elementos de ola en aguas someras, con pendientes de fondo suave (m ≤ 0,002)

Para la determinación de los elementos de ola sobre aguas someras, con pendientes de fondo muy suaves, es posible aplicar las mismas técnicas de construcción del fetch en abanico que en aguas profundas, siempre que se incluya la influencia de la batimetría. Se construyen los rayos en dependencia de la complejidad de la línea costera, pudiendo variar desde uno hasta siete. Sobre estos, se distinguen los segmentos de fetch con profundidad constante. Para la inclusión de la batimetría, en el presente algoritmo se emplean las relaciones de Rzheplinsky (1969):

$$hm_{(H)} = \tanh \{ [0{,}07(G v_m \cdot H)^{0,6}] \div h_{(X)} \} \quad (1.4.8)$$

$$hm_{(X)} = 0.0042 (X \cdot G v_m)^{0,333} \quad (1.4.9)$$

Donde: H - Profundidad del acuífero
hm $_{(X)}$ - Altura media de la ola en función del fetch
hm $_{(H)}$ - Altura media de la ola en función de la profundidad

1.4.6 Determinación de los elementos de ola en aguas someras, con pendientes abruptas (m > 0.002)

Este tipo de situación es la más complicada para el cálculo de los elementos de ola. En la actualidad, lo más efectivo es la aplicación de modelos matemáticos que simulen la traslación de la onda sobre un fondo marino irregular, tomando en cuenta además la configuración costera. Para ello, son necesarias las mallas batimétricas de muy alta resolución. Cuando no se dispone de estos datos, es posible acudir a relaciones semiempíricas, mediante las cuales se determinan los coeficientes numéricos que reflejan la transformación del oleaje en dependencia de los rasgos generales del relieve de fondo. Asumiendo que las isobatas son paralelas, la forma más sencilla de representar los cambios en la altura de ola se refleja en la siguiente expresión:

$$h_i = K_i \, K_r \, K_f \, hm \quad (1.4.10)$$

Donde:

h_i -Altura de la ola para una frecuencia dada
K_i -Coeficiente de conversión a una frecuencia dada. (K= 1,59 para ola significativa y K=2,3 para la ola máxima, según recomendaciones de la OMM, 1988)
K_r -Coeficiente de refracción
K_f -Coeficiente de transformación por efecto de fondo

Conocidos los elementos de ola en aguas profundas, se determina la velocidad de traslación de la onda (C) en aguas profundas y la de fase (Cf) en aguas poco profundas:

$$C = \sqrt{\frac{gl}{2\pi}} \quad (1.4.11)$$

$$Cf = \sqrt{gH} \quad (1.4.12)$$

Entonces es posible obtener los ángulos de entrada - salida del frente de ola, partiendo del ángulo de incidencia desde aguas profundas (a_1), definido como el formado entre la normal a la isobata y la dirección del rayo de las olas, que puede coincidir con la dirección del viento.

$$a_2 = \text{arcsen}\,[\text{sen}\, a_1\ (C_1 \div C_2)] \quad (1.4.13)$$

Donde :
El ángulo de salida es a_2 y las velocidades entrada - salida se definen como C_1 y C_2

Al final, se determinan los coeficientes de transformación de la ola:

$$K_r.K_s = [(C_1 \cos a_1) \div (C_2 \cos a_2)]^{0.5} \quad (1.4.14)$$

$$h_i = K_i\,(hm)\,[(C_1 \cos a_1) \div (C_2 \cos a_2)]^{0.5} \quad (1.4.15)$$

Así se procede sucesivamente, hasta alcanzar la zona de rompiente. En este caso, también es posible aplicar un criterio simple: se plantea que la rompiente ocurre cuando la altura de la ola es igual a 0,8 veces la profundidad de aguas tranquilas (Quinn, 1969).

1.4.7 Determinación del régimen de oleaje extremo

En trabajos anteriores, quedó establecido que en los mares cercanos a Cuba, el oleaje peligroso extremo es producido por los ciclones tropicales, los sistemas frontales y bajas extratropicales (Zotov, 1974; Mitrani, 1984). En el análisis de los eventos se procede como sigue: Por las cronologías de archivo del Instituto de Meteorología, se fijan los casos que han afectado el territorio nacional y los mares cercanos a él en el área de estudio (Figura 1.4.1). De cada situación se selecciona la carta sinóptica que refleja las condiciones extremas. Se calcula el campo de viento y se determina el fetch, el cual funciona como factor limitante del desarrollo del oleaje, dado que la persistencia es mayor o igual a 12 horas. Se calculan los elementos de ola por los métodos antes descritos. Por último se organizan los resultados obtenidos en forma descendente y se determina la función de retorno de acuerdo a la ecuación (1.1.29).

Los datos de velocidad del viento y de los elementos de ola (x) con la función de retorno [F(x)], se ajustan a una distribución del tipo Weibull - Frechet, siguiendo las recomendaciones de Davidan et. al. (1978). En alguna medida, los resultados obtenidos han sido confirmados por observaciones visuales de altura de ola en zona costera [h(ZC)], realizadas por especialistas del Departamento de Meteorología Marina del INSMET (Salas et. al. 1992; COSTAL 1993; Mitrani et. al. 1994). A modo de ilustración, en la Tabla 1.4.5 se muestra una comparación entre algunas de estas observaciones visuales y los resultados obtenidos en los cálculo realizados para los siguientes casos:

- Huracán Eloise - 23/11 /75
- Sistema Frontal - 19/1/77 (Frente frío fuerte)
- Sistema Frontal - 19/3/83 (Baja extratropical)
- Huracán Juan - 28/10/85
- Huracán Kate - 19/11/85
- Sistema Frontal - 13/3/93 (Baja extratropical)

Tabla 1.4.5 Valores comparativos de las alturas de ola observadas y las calculadas

Casos	h(ZC) (m)	Vm (m/s)	hm (m)	hsig (m)	himax (m)	T (seg)	L (m)	Xe (km)	Te (horas)
I	3-5	25	2,23	6,73	9,73	9,12	129,60	166,90	6,70
II	4-6	18	3,44	5,47	7,91	8,70	117,97	438,60	17,54
III	5-6	17	3,40	5,41	7,82	8,76	119,63	651,50	24,91
IV	4-6	25	3,36	5,34	7,73	7,89	97,20	86,60	3,93
V	4-5	30	4,85	7,71	11,15	9,49	140,40	125,50	4,74
VI	4-6	20	3,49	5,55	8,03	8,55	113,95	245,70	10,36

Donde:

Xe- Fetch equivalente para la ola calculada

Te- Persistencia equivalente para la ola calculada

1.4.8 Conclusión y recomendaciones

La metodología planteada permite obtener los regímenes de los elementos de ola de viento en aguas profundas, a partir de información meteorológica disponible en el país. Puesto que no se tienen largas series temporales de observaciones instrumentales, esta forma de aprovechar los datos de archivo, compensa en alguna medida la necesidad de caracterizar las situaciones extremas.

Se recomienda:

a) La instalación de equipos idóneos para mediciones continuas de los elementos de ola
b) La caracterización de los oleajes por rumbos en zona costera, mediante la elaboración de las *rosas de oleaje*
c) La determinación del régimen de olas por mar de leva
d) El cálculo del régimen de ola, incluyendo la influencia del fondo marino
e) Modelación de los campos de olas en aguas someras, mediante el uso de batimetrías de alta resolución

1. 5 La componente no periódica del nivel del mar en el dominio de las frecuencias medias

1.5.1 Régimen de la componente no periódica del nivel del mar en el dominio de las frecuencias medias en las costas norte y sur de Cuba

La componente no periódica del nivel del mar en el dominio de las frecuencias medias (en lo adelante CNP), se define como las variaciones del nivel del mar que ocurren en el intervalo de frecuencias comprendido entre 1 y 0,03 ciclos por día (cpd), lo cual en el dominio temporal equivale a las variaciones cuyos períodos fluctuan entre 1 y 30 días. Dentro de este intervalo está incluida la escala de la variabilidad temporal del nivel del mar que algunos autores denominan *sinóptica* (Guerman y Levikov, 1988), que posee períodos comprendidos entre 3 y 15 días (0,33 y 0,07 cpd). Realmente, en nuestro medio geográfico, algunas de las variaciones del nivel del mar de origen meteorológico pueden poseer períodos menores que los señalados por los citados autores y en otras ocasiones la sucesión casi continua de varios eventos meteorológicos provoca que se mantengan durante períodos de tiempo mayores determinadas anomalías en el nivel del mar. Debido a lo antes expuesto concebimos mejor hablar del dominio de las frecuencias medias, tal y como lo definimos, para poder incluir la más amplia gama de posibles variaciones de origen meteorológico y sus perturbaciones residuales.

La variabilidad espacio-temporal de la presión atmosférica y de la velocidad del viento en calidad de fuerzas generadoras dominan en este intervalo de frecuencias de las variaciones del nivel del mar durante la ocurrencia de eventos tales como frentes fríos, ciciones tropicales y bajas extratropicales.

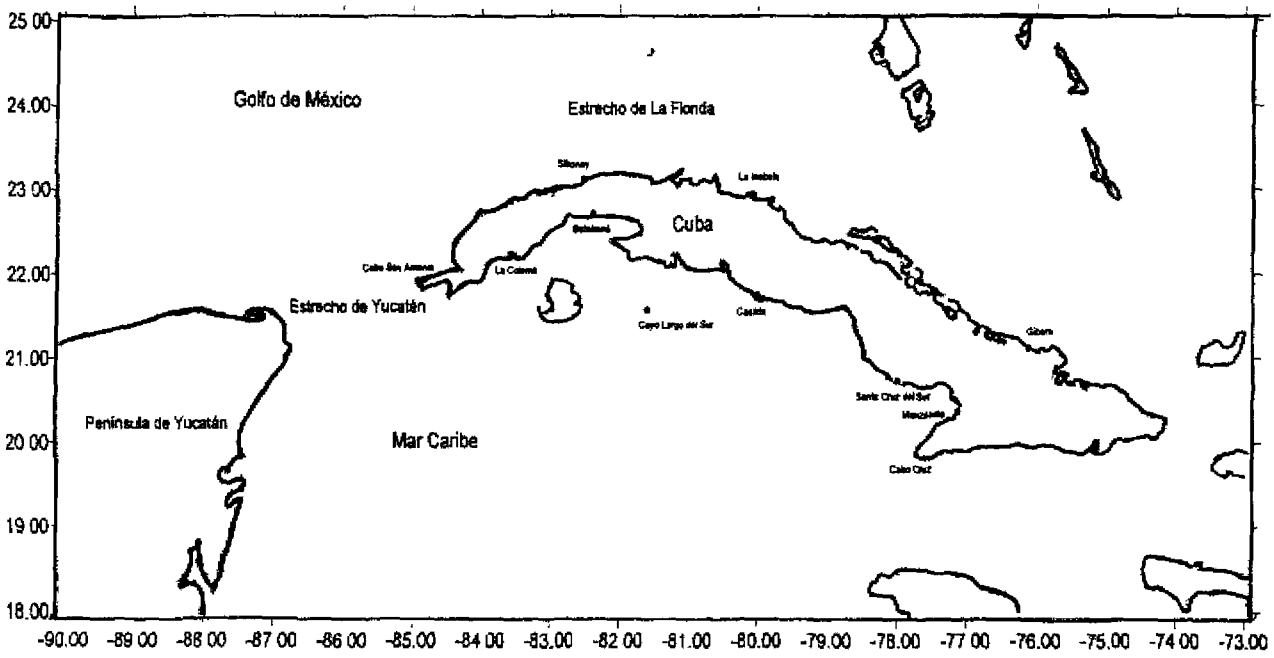
Las variaciones no periódicas de origen meteorológico, con períodos menores que un día no se analizan en el presente trabajo.

El régimen de la CNP se caracterizó mediante el análisis estadístico y espectral de datos horarios del nivel del mar (Bendat y Piersol, 1983; Efimov V. V., 1985; Jenquis y Watts, 1968; Newland E. D., 1983; Otnes y Enochson, 1983), calculándose las funciones espectrales, de coherencia y de corrimiento de fase. En calidad de información primaria se utilizaron series de datos horarios obtenidos en estaciones de la Red Mareográfica Nacional (Mapa 1.5.1), de las cuales se excluyeron previamente las componentes de la marea astronómica correspondientes al intervalo de frecuencias diurno mediante el filtro de Doodson (Matuchevsky y Pribalski, 1968 y Groves G.W., 1955) y las variaciones de baja frecuencia mediante una media móvil con un brazo de suavizamiento de 720 valores (Guerman y Levikov,1988). Este es uno de los enfoques o procedimientos conocidos de cálculo de la CNP, ya que existe otro más sencillo, pero menos selectivo, que consiste en calcular las variaciones astronómicas y sustraérselas al nivel observado de lo cual se obtiene una componente residual, gran parte de la cual es de origen meteorológico.

La variabilidad de la CNP en el Golfo de Batabanó: En esta zona de la plataforma insular cubana no se cuenta con registros largos del nivel del mar.

En la bibliografía consultada se señala que en el Golfo de Batabanó, existe un predominio de la componente de origen meteorológico sobre la componente de origen astronómico a juzgar por el aspecto de los mareogramas y que la amplitud media de la marea es inferior a 25 cm (Rodríguez

y Rodríguez, 1983). A partir de la información disponible en las localidades de Batabanó, La Coloma y Cayo Largo del Sur se llevó a cabo un análisis comparativo de las funciones espectrales de la CNP del cual se desprenden varias conclusiones: La CNP presenta mayor energía en Batabanó (en el interior del golfo) que en las localidades de La Coloma (en su porción occidental) y Cayo Largo del Sur (en su extremo oriental) las cuales se encuentran más cerca de las aguas oceánicas (Figura 1.5.1, en Anexo), a juzgar por el área de los espectros obtenidos. En el caso de Batabanó y La Coloma la comparación se estableció también para el mismo año de observaciones (1991); durante dos años consecutivos, 1991 y 1992, La Coloma presentó espectros de energía semejantes, que fueron siempre menores que el de Batabanó de 1991, en toda la banda de frecuencias analizada, lo cual significa que en la primera, la CNP posee una menor energía. En el intervalo de frecuencias comprendido entre 0,006 y 0,011 h^{-1} (aproximadamente 7 y 4 días respectivamente) pueden observarse picos sinópticos que poseen una mejor definición en Batabanó. Dichos *picos* señalan zonas del espectro energético en las cuales se produce una mayor influencia de las fuerzas generadoras de origen meteorológico, sobre el parámetro analizado (Guerman y Levikov,1988); el gráfico del espectro de Batabanó se extiende más hacia el extremo de las altas frecuencias que los de La Coloma y Cayo Largo del Sur, abarcando mayor área, lo cual puede obedecer a una mayor influencia de la fricción en el fondo por una mayor extensión del área de plataforma somera.



Mapa 1.5.1 Distribución geográfica de las estaciones mareográficas

Durante los meses de octubre a abril la variabilidad de la CNP es notablemente más intensa en Batabanó (Figura 1.5.2, en Anexo) que en La Coloma y en general el espectro del primero alcanza mayores valores que el promedio anual mostrado en la Figura 1.5.1 (en Anexo). Durante la temporada ciclónica (Figura 1.5.3, en Anexo) predomina la variabilidad de la CNP en la estación de Batabanó y en general tiende a ser menor que durante el invierno. A continuación se muestran los resultados del cálculo de la varianza de las series de los datos analizados.

Tabla 1.5.1 Cálculo de la varianza de la CNP del nivel del mar en el Golfo de Batabanó

n/n	Temporada	Localidad	σ^2 CNP	σ^2 Obs	% cnp/obs
1	Año completo	Batabanó	46,81	115,04	40,70
2	Temporada ciclónica	Batabanó	18,42	70,87	26,00
3	10/71-4/72 Invierno	Batabanó	102,79	163,43	62,90
4	1991. Año completo	La Coloma	18,20	118,75	15,30
5	1992. Año completo	La Coloma	18,07	126,64	14,30
6	1991.Temporada ciclónica	La Coloma	11,32	77,32	14,60
7	1992. Temporada ciclónica	La Coloma	16,72	67,91	24,60
8	10/91-4/92. Invierno	La Coloma	18,27	105,53	17,30
9	1983. Año completo	Cayo Largo del Sur	8,38	84,03	10,00
10	1983.Temporada ciclónica	Cayo Largo del Sur	6,99	84,07	8,31

Con la ayuda de esta tabla podemos apreciar mejor la diferencia existente entre distintos segmentos del ciclo anual en cuanto a la variabilidad de la CNP. A los intervalos de tiempo que incluyen los meses de invierno le corresponden los valores más altos de la varianza, que es un indicador de la intensidad del proceso, y a las temporadas ciclónicas los valores más bajos en cada localidad. El valor del porcentaje de la varianza de la CNP con respecto a la varianza del nivel del mar observado, nos da una idea del posible aporte relativo de la primera con respecto a la segunda en las localidades estudiadas.

En la Figura 1.5.4 (en Anexo) se muestra el gráfico de la coherencia de la CNP de La Coloma y Batabanó en 1991, destacándose el alto valor de la misma en el intervalo de frecuencias comprendido entre 0,003 h^{-1} y 0,015 h^{-1} (aproximadamente, 13 y 3 días respectivamente), lo cual significa desde un punto de vista físico que en dicho intervalo de frecuencias, que podemos catalogar como *sinóptico* según la definición anterior, las variaciones de la CNP registradas en ambas estaciones pueden ocurrir a escala del golfo o al menos de su parte occidental.

Golfo de Ana María-Guacanayabo: En esta zona se pudo disponer de un mayor volumen de información. Se procesaron datos horarios de las estaciones de Casilda, Santa Cruz del Sur, Manzanillo y Cabo Cruz.

La amplitud media de la marea de origen astronómico en esta zona de la plataforma insular fluctúa entre 25 y 50 cm en sus áreas interiores y es menor que 25 cm en su periferia (Rodríguez y Rodríguez, 1983), por lo que en suma son mayores que en el Golfo de Batabanó. Al igual que en el Golfo de Batabanó, aparecen picos sinópticos en casi todos los espectros obtenidos para series anuales de la CNP (Figuras 1.5.5, 1.5.6 y 1.5.7, en el Anexo), a veces muy bien definidos como el que se aprecia en el gráfico del año 1993 en Casilda (Figura 1.5.5, en Anexo), en el intervalo de frecuencias comprendido entre 0,006 y 0,011 h^{-1} (aproximadamente 7 y 4 días, respectivamente), de lo cual podemos deducir que este fenómeno tiene lugar en todo el sector de plataforma de la

costa sur. Los espectros obtenidos a partir de los datos de Santa Cruz del Sur y Manzanillo (Figuras 1.5.6 y 1.5.7, en Anexo) se caracterizan por poseer una mayor energía hacia el extremo de las altas frecuencias debido a las mismas causas que en el Golfo de Batabanó. Estas dos estaciones se encuentran ubicadas en el interior del golfo y entre las mismas y el océano media una amplia y somera plataforma, lo cual no sucede con Casilda y Cabo Cruz, que se encuentran en los extremos de esta zona, mucho más cerca de las aguas oceánicas. A juzgar por los espectros obtenidos, dichas variaciones poseen períodos comprendidos entre 1 y 2 días aproximadamente.

Los espectros de los intervalos que comprenden el invierno (Figura 1.5.8, en Anexo) y de las temporadas ciclónicas (Figura 1.5.9, en Anexo), no se diferencian significativamente en esta zona. En la siguiente tabla se muestran los resultados del cálculo de la varianza de la CNP y del nivel del mar observado y el porcentaje de la primera con respecto a la segunda.

Tabla 1.5.2 Cálculo de la varianza de la CNP en el Golfo de Ana María - Guacanayabo

n/n	Temporada	Localidad	σ^2 CNP	σ^2 Obs.	% cnp/obs.
1	Año completo. 1993	Casilda	9,65	371,72	3
2	1993. Temporada ciclónica	Casilda	11,82	121,90	10
3	Año completo 94	Santa Cruz del Sur	12,72	359,70	4
4	Año completo 95	Santa Cruz del Sur	11,75	187,23	6
5	1994.Temporada ciclónica	Santa Cruz del Sur	12,63	201,81	6
6	1995.Temporada ciclónica	Santa Cruz del Sur	20,02	444,88	4
7	10/94 - 6/95. Invierno	Santa Cruz del Sur	15,23	247,71	6
8	Año completo. 1993	Manzanillo	21,45	418,30	5
9	Año completo. 1994	Manzanillo	14,06	437,68	3
10	1993. Temporada ciclónica	Manzanillo	13,53	244,93	5
11	1994. Temporada ciclónica	Manzanillo	12,25	227,41	5
12	10/93 - 7/94. Invierno	Manzanillo	10,93	119,90	9
13	Año completo. 1993	Cabo Cruz	15,43	147,46	10
14	1993. Temporada ciclónica	Cabo Cruz	9,59	112,28	9

En la misma se aprecia la correspondencia entre los valores de la varianza y la energía de los espectros aunque los porcentajes relativos difieren en magnitud con respecto a los obtenidos en el Golfo de Batabanó. Evidentemente, este último parece ser bastante más activo desde el punto de vista de la CNP, que el Golfo de Ana María - Guacanayabo, de acuerdo a los datos analizados.

Tampoco se observa una marcada diferencia entre las temporadas ciclónicas y la que incluye el invierno como ocurre con el Golfo de Batabanó. Incluso el mayor valor de la varianza correspondió a una temporada ciclónica.

Se analizó la función de coherencia entre las diferentes localidades estudiadas (Figura 1.5.10, en Anexo). Como promedio, los mayores valores de coherencia se alcanzan entre Manzanillo y Santa Cruz del Sur y los valores más bajos entre Manzanillo y Casilda. Son coincidentes los incrementos de la coherencia entre todas las estaciones correspondientes a variaciones cuyos períodos están comprendidos entre 1.5 y 2 días aproximadamente y para aquellas que poseen períodos que fluctúan entre 3 y 13 días, estableciéndose en este último caso una analogía con el Golfo de Batabanó, en el intervalo sinóptico de frecuencias.

Costa norte de Cuba: En la caracterización espectral de la costa norte se pudo utilizar mucho más cantidad de información, por cuanto en la misma se cuenta con cuatro series que poseen entre 20

y 30 años, aunque solo una, Siboney, no presenta ninguna interrupción durante dicho período de tiempo.

Con la finalidad de poder contar en el análisis con un mayor intervalo de tiempo, utilizamos los valores medios diarios en calidad de información primaria, los cuales representan con suficiente exactitud las variaciones de la CNP (Guerman y Levikov,1988). Según podemos apreciar, los gráficos de las funciones espectrales (Figura 1.5.11 y 1.5.12, en Anexo) presentan una gran similitud, destacándose picos correspondientes a variaciones con períodos que fluctuan entre 4,5 y 15 días, y que delimitan bastante bien el intervalo sinóptico de frecuencias. al cual hacíamos referencia anteriormente. Esta característica puede asumirse como un rasgo general de nuestras costas norte y sur, someras o no.

El gráfico de la coherencia calculada entre Siboney y las otras tres estaciones (Figura 1.5.13, en Anexo) muestra valores que tienden al incremento hacia los extremos del espectro de frecuencias analizado, lo cual significa que existe una relación lineal mucho más estrecha en las bajas y altas frecuencias.

Como en todos los gráficos hasta ahora analizados, el primer pico de la izquierda junto al eje de coordenadas es falso, ya que es producido por el filtraje de las bajas frecuencias. Entre Siboney y Cabo San Antonio existe mayor coherencia, seguidos de la relación Siboney - Gibara y finalmente Siboney - La Isabela. Esta última estación está ubicada en una zona de aguas someras de la cayería norte lo cual debe influir en su menor coherencia con Siboney a pesar de estar mucho más cerca que Gibara. Con excepción de las diferencias en los valores absolutos, los tres gráficos de la coherencia presentan configuraciones bastante parecidas, lo cual indica, que cualitativamente los procesos que gobiernan la variabilidad de la CNP en la costa norte revisten un carácter regional.

Los gráficos de las funciones del corrimiento de fase expresados en grados (Figuras 1.5.13 y 1.5.15, en Anexo), muestran las diferencias que pueden existir entre los pares Siboney - Cabo San Antonio, ubicados en costas abiertas y Siboney - La Isabela, localizados en condiciones físico-geográficas distintas.

Es también evidente el carácter regional de la variabilidad de la CNP a escala del archipiélago. Comparamos otro segmento de información, consistente en la CNP obtenida de datos horarios comprendidos entre 1990 y 1993, de Siboney y Casilda y pudimos apreciar la gran similitud de los espectros de las costas norte y sur (Figura 1.5.16, en Anexo), observándose algunos picos ubicados en las mismas frecuencias que en las otras tres estaciones de la costa norte. La coherencia entre estas dos estaciones durante el período analizado (Figura 1.5.17, en Anexo) resultó como promedio más alta en el intervalo sinóptico de frecuencias que en las que mostramos en la Figura 1.5.13 (en Anexo).

Los valores extremos del nivel del mar observado, así como los valores máximos de la CNP están asociados a eventos meteorológicos extremos, como se aprecia en la siguiente tabla (INSMET, 1995)

Tabla 1.5.3 Valores extremos (Vcnp) de la componente no periódica en el dominio de las frecuencias medias (CNP) y valores extremos del nivel del mar observado (Vobs) en el puesto mareográfico de Siboney durante trece de los más importantes eventos hidrometeorológicos causantes de fuertes penetraciones del mar

N/N	FECHA	Vcnp (cm)	Hora,Fecha	Evento	Vobs (cm)	Hora ,Fecha	%deVcnp/Vobs
1	oct.29.85	23	01301085	Hur. Juan	144	21291085	24%
2	mar.18.83	31	03180383	BE	124	11180383	41%
3	ene.19.77	18	12190177	FFF	92	21190177	33%
4	sep.23.75	11	21230975	Hur.Eloise	121	22230975	17%
5	mar.13.93	26	22130393	BE	109	13130393	41%
6	feb.06.92	35	22060292	BE	130	11060292	43%
7	oct.12.87	19	19121087	Hur. Floyd	111	00131087	29%
8	ene.05.87	26	13050187	BE	110	01-02/050187	33%
9	nov.19.85	25	12191185	Hur. Kate	122	15191185	35%
10	mar.03.94	16	16030394	BE	88	13030394	18%
11	abr.12.88	24	23120488	BE	104	18-19/120488	45%
12	feb.27.84	13	21270284	FFM	98	19-20/280284	29%
13	mar.03.80	12	01030380	FFM	99	22020380	24%

Donde:
BE - baja extratropical, FFF - frente frío fuerte, FFM - frente frío moderado, Hur.- Huracán.
Para calcular el porcentaje no se tomó el valor extremo Vcnp sino el valor de la CNP en el momento de ocurrencia de Vobs.

En el caso de Siboney, estación mareográfica de La Habana, que puede representar climatológicamente el sector noroccidental de nuestro archipiélago, los porcentajes de la CNP con respecto al valor observado son altos. Los mayores aportes relativos los han dado las bajas extratropicales, alcanzando más de un 40% y el máximo valor de la CNP tuvo lugar durante la baja del 6 de Febrero de 1992, que es la segunda en valor observado.

Como resultado de la comparación de los espectros de la CNP de 1985 de cinco estaciones de todo el archipiélago (Figura 1.5.18, en Anexo) pudimos apreciar la actividad y semejanza del intervalo sinóptico a pesar de las distancias geográficas.
Aunque la información con que se cuenta no es homogénea desde el punto de vista de su distribución geográfica se puede asegurar que el sector noroccidental es el más activo, en cuanto a la variabilidad de la CNP.

La variabilidad estacional de la CNP: La variabilidad estacional de la CNP responde principalmente a la estacionalidad de los fenómenos y procesos meteorológicos que la generan.

El análisis de los datos de las estaciones mareográficas de Siboney, Gibara y Casilda (Figura 1.5.19 A y 1.5.19 B, en Anexo), nos permite asegurar que las variaciones de la CNP del nivel del mar son más intensas como promedio durante los meses comprendidos entre octubre y abril en que tienen lugar el mayor número de frentes fríos, que coincide parcialmente con la temporada del año en que ocurren los *sures*, de septiembre a mayo (Rodríguez y Ballester, 1985), siendo los tres primeros meses del año los que suelen presentar variaciones más intensas de la CNP. Este patrón se observa con mejor definición en la estación Siboney, ubicada en la costa norte, expuesta al mar abierto y a una acción hidrometeorológica más directa de los organismos que se generan en el océano adyacente y con menos fidelidad en las estaciones ubicadas en sectores costeros donde la plataforma insular es amplia y somera, con irregularidades en la

configuración de la línea costera, ya que sus registros deben reflejar la influencia de fenómenos ondulatorios que tienen lugar en esas condiciones y en la escala temporal que analizamos.

1.5.2. Posibilidad de contribuir a los pronósticos del tiempo mediante el seguimiento operativo de la señal de la componente no periódica del nivel del mar en una estación mareográfica

Las estaciones mareográficas pueden ser utilizadas como apoyo a los pronósticos del tiempo ante la ocurrencia de eventos atmosféricos extremos que puedan provocar penetraciones del mar.

Esta afirmación se apoya en los resultados del análisis de las variaciones del nivel del mar observado y de la componente no periódica en el dominio de las frecuencias medias durante la ocurrencia de 20 eventos extremos, que provocaron, en mayor o menor medida, penetraciones del mar en el litoral de Ciudad de La Habana (INSMET, 1995). La elección de la estación Siboney se debe a que no presenta interrupciones en sus datos históricos durante eventos extremos.

Con anterioridad nos habíamos referido al relativo predominio de las bajas extratropicales en su aporte en la CNP del nivel del mar, en términos cuantitativos. Entre las bajas extratropicales analizadas pudimos constatar que en la mayoría de los casos la CNP tiende a un paulatino incremento algunos días antes de la ocurrencia de la mayor amplitud de la CNP, que no siempre coincide exactamente en tiempo con la mayor altura de las aguas (debido a la influencia de la componente de la marea astronómica), obedeciendo su comportamiento en cada caso particular a la evolución de las condiciones meteorológicas del fenómeno. Algo similar ocurre con organismos como el Huracán Juan, que se alojan en el Golfo de México por un período más o menos largo. En ambas situaciones el aspecto o configuración de la onda de la CNP es menos pronunciado en altura y más extenso en el tiempo (Figuras 1.5.20 y 1.5.21, en Anexo).

En el caso de los frentes fríos (Figura 1.5.22, en Anexo), se considera que es más difícil seguir esta señal, por cuanto la onda que constituye la CNP, es más pronunciada en altura y se extiende menos días, antecediendo un menor intervalo de tiempo a la máxima altura de la CNP. Las tres figuras mencionadas anteriormente corresponden a las tres penetraciones del mar que mayor alcance han tenido en La Habana (INSMET, 1995).

En casos extremos la altura de la CNP puede ser ya de 10 cm, dos días antes de producirse su máximo valor durante una penetración del mar, como sucedió durante la baja extratropical del 6 de Febrero de 1992 (Figura 1.5.23, en Anexo).

La altura de 10 cm podemos considerarla como orientativa, ya que es aproximadamente la tercera parte del máximo valor alcanzado por la CNP durante la ocurrencia de los eventos atmosféricos más fuertes en la costa noroccidental de Cuba.

Como se explicó al inicio, el cálculo de la CNP se lleva a cabo mediante dos enfoques. Ambos procedimientos exigen que en calidad de información primaria sean suministradas series ininterrumpidas de datos horarios de nivel del mar, que en el caso de los mareógrafos existentes en nuestro país, se obtienen a partir de mareogramas graficados en papel.

En la práctica, no sería absolutamente necesario el tratamiento de las series para poder determinar el incremento gradual del nivel del mar. Como se observa en las figuras anteriores, es relativamente fácil apreciar a simple vista la cuantía del aumento, ya que el plano medio con respecto al cual fluctúa la marea de origen astronómico se eleva, pudiendo el observador determinar con un margen pequeño de error la diferencia en altura entre las pleas sucesivas de igual naturaleza, que equivaldría aproximadamente a la elevación que se pretende estimar. Un observador con la práctica adquirida en el transcurso del tiempo, podría brindar la información necesaria al grupo elaborador de los pronósticos, contando con medios de comunicación. A los efectos prácticos esto sería suficiente.

Desde algunos días antes es posible juzgar la magnitud de la penetración del mar conjugando el conocimiento predictivo de los factores y organismos meteorológicos con el conocimiento de la altura que va cobrando el mar paulatinamente, en un sector costero determinado.

1.5.3 Conclusiones

En las costas norte y sur del archipiélago cubano, se observan variaciones de la CNP que corresponden al intervalo sinóptico de frecuencias, que poseen períodos comprendidos entre 3 y 15 días, lo cual puede considerarse un rango amplio de variaciones para este intervalo.

En las áreas interiores de las zonas de la plataforma insular de mayor amplitud, el Golfo de Batabanó y el Golfo de Ana María Guacanayabo, se observan variaciones con períodos comprendidos entre 1 y 3 días, lo cual constituye una información valiosa para la elaboración de modelos locales de pronóstico del nivel del mar y de la dinámica en la zona costera.

La variabilidad de la componente no periódica del nivel del mar en el dominio de las frecuencias medias es más intensa durante los meses de octubre a abril, que comprenden el invierno y en el transcurso de los cuales se ha reportado el mayor número de frentes fríos dentro del ciclo anual.

Las bajas extratropicales son responsables de los valores más altos que alcanza la componente no periódica con respecto al nivel del mar observado, y han superado el 40% de la altura total durante algunos eventos de esta naturaleza en la zona noroccidental del archipiélago cubano. Ante la eventualidad de una baja extratropical es posible utilizar de forma operativa la observación del puesto mareográfico de Siboney, como apoyo a la elaboración de pronósticos y la adopción de medidas de alerta temprana, gracias a que es posible apreciar en el mareograma un incremento paulatino de la altura media del nivel del mar, en algunos casos, más de dos días antes, de la máxima altura alcanzada por las aguas durante la penetración del mar. En este sentido puede tomarse en consideración la altura de 10 cm, como cota a partir de la cual, se deben ir adoptando medidas, de acuerdo a la evolución pronosticada de la situación meteorológica, ya que constituye aproximadamente una tercera parte del máximo valor alcanzado por la componente no periódica en el puesto mareográfico de Siboney.