

Análisis de los fenómenos meteorológicos que provocaron penetraciones del mar en el Malecón habanero

Pedro J. Pérez Osorio, Reynaldo Casals Taylor, Acacia del Sol Hernández y Lázara Díaz Maqueira

Instituto de Meteorología de Cuba, Min. de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA)
(Reynaldo Casals <king601115@yahoo.com>)

(Recibido: 25-Feb-2003. Publicado: 4-Mar-2003)

Resumen

Se presenta la caracterización de algunos de los fenómenos meteorológicos peligrosos que produjeron penetraciones del mar en el Malecón habanero y su tipificación sinóptica, con el objetivo de que se utilice como herramienta de trabajo para predecir con suficiente antelación este fenómeno y de esta forma disminuir las consecuencias del mismo en el área urbana aledaña. También se realiza una descripción del Malecón habanero por tramos y los factores que producen las inundaciones costeras por penetraciones del mar. La comprensión de las interacciones entre las características constructivas del Malecón y los factores desencadenantes de las inundaciones han ayudado a predecir la magnitud del fenómeno y alertar convenientemente a las organizaciones estatales e intereses costeros para que tomen las medidas requeridas en cada caso.

Palabras clave: Penetraciones del mar, inundaciones costeras, Malecón de La Habana, Cuba.

1. Introducción

La acción destructora del mar sobre el litoral habanero bajo la acción de fenómenos meteorológicos de cierta intensidad han provocado afectaciones socio-económicas importantes. Varios autores, como Rodríguez E. (1988), Díaz L. *et al.* (1988), Lezcano J. *et al.* (1990), y Pérez *et al.* (1994) entre otros, han realizado estudios sobre las penetraciones del mar en costas cubanas, principalmente en el litoral de las provincias La Habana y Ciudad de La Habana.

Las penetraciones del mar en Ciudad de La Habana, en particular, en el Malecón habanero, se vinculan a una combinación de factores eólicos y marinos determinados por la dirección, velocidad y persistencia de los vientos que contribuyen a la generación de un núcleo de ola máxima en el Golfo de México y la sostenida acumulación de las aguas en el litoral de referencia. Estos factores están condicionados por la ocurrencia de fenómenos meteorológicos que tienen una distribución espacio-temporal conocida, como los frentes fríos y bajas extratropicales del “invierno” y los ciclones tropicales del “verano”, sin excluir la característica de extemporaneidad (frecuencia de estos fenómenos fuera del período en que son más comunes), resultando que la región occidental de Cuba (la más próxima a la gran masa continental de América del Norte) posee históricamente la mayor probabilidad de ser afectada por estos fenómenos.

La costa norte de Ciudad de La Habana ha sufrido varias inundaciones, especialmente sus zonas bajas y el Malecón habanero, debidas a penetraciones del mar ocurridas en este siglo.

El Malecón Habanero fue construido en cuatro etapas. La primera finalizó en 1901 y dejó conformado el tramo desde el castillo de La Punta hasta la calle Belascoaín, la segunda finalizó en 1921 y su construcción se extendió hasta las inmediaciones del Vedado, en la tercera etapa (1939) se llevó la obra hasta el hotel Riviera y en la última etapa, la obra fue concluida en el castillo La Chorrera hacia 1950.

2. Materiales y métodos

La búsqueda de casos de penetraciones del mar se realizó mediante la revisión de los registros de resúmenes de temporadas invernales y temporadas ciclónicas desde septiembre de 1970 hasta diciembre de 1999 en las fechas

Tabla 1: Escala de intensidades para las penetraciones del mar en el Malecón Habanero.

INTENSIDAD	ALTURA DE LAS OLAS (m)	ALCANCE DE LAS INUNDACIONES
Fuerte	> 5.0	Hasta las calles Calzada y Línea en el Vedado, inundándose el túnel en casos extremos
Moderada	4.1-5.0	Hasta las avenidas 3 ^a y 5 ^a en el Vedado
Ligera	2.5-4.0	Sólo se afecta la avenida Malecón

probables de ocurrencia, así como los casos más recientes debidamente documentados en la práctica operativa. Los datos reales de dirección, velocidad, persistencia y fetch del viento extraídos de las cartas meteorológicas en las fechas referidas fueron introducidos en las fórmulas para el cálculo de la altura de la ola.

La altura de la ola significativa en el Golfo de México se calculó empleando la metodología de trabajo propuesta por Juantorena *et al.* (1999) cuando el viento es lineal. En los casos de ciclones tropicales se aplicó la metodología de cálculo recomendada por Peñate (1990).

Los frentes fríos son los fenómenos meteorológicos que han intervenido con mayor frecuencia en la ocurrencia de penetraciones del mar, aunque la mayoría de las inundaciones que provocan no sean de gran envergadura.

En el período analizado que va desde 1970 hasta 1999, 22 frentes fríos (8 fuertes y 14 moderados) produjeron penetraciones del mar, mientras que se cuentan 8 bajas extratropicales y 6 ciclones tropicales como responsables de la ocurrencia de este fenómeno.

Los campos de olas y vientos asociados a los frentes fríos provienen de las direcciones del cuarto al primer cuadrantes, pero los rumbos del cuarto cuadrante tienen una mayor frecuencia en la incidencia de las penetraciones, y por lo general producen las mayores alturas de olas e inundaciones, lo cual se debe a que estos rumbos tienen un alcance suficientemente grande para que el viento logre establecer las máximas alturas de olas, tanto en el área generadora como cerca del litoral. La mar de leva proveniente del golfo en este rumbo refuerza los efectos producidos por la mar de viento existente en las costas habaneras, lo que no ocurre con rumbos del norte y nordeste que poseen alcances mucho más pequeños, y por lo tanto no poseen condiciones para generar una mar de leva notable.

Hay que señalar que no hay relación alguna entre la clasificación de intensidad de los frentes fríos emitida por el Instituto de Meteorología y la clasificación de intensidad de las inundaciones costeras que hemos presentado, ya que en el primer caso está basada en la velocidad de los vientos que se registran en la estación Habana, mientras que la ocurrencia de penetraciones del mar depende de la velocidad de los vientos que soplan en el área generadora de oleaje (que no siempre coincide con la reportada en La Habana) y de la manifestación de los factores generadores del oleaje, que limitan o favorecen la ocurrencia de determinada categoría de intensidad de las penetraciones del mar.

Para esclarecer esto haremos un análisis de las características de algunos frentes fríos fuertes que aparecen en la muestra estudiada y su relación con la intensidad de las penetraciones producidas por cada uno de ellos. Las variables que se emplean para el análisis son la velocidad del viento, la persistencia y la altura de la ola.

Es conveniente definir que se emplea el término de altura significativa, para designar la altura media de un tercio de las olas más altas de un registro y que puede ser detectada por un observador entrenado y el término altura máxima, como el máximo valor registrado. Por otra parte, se categoriza la intensidad de las inundaciones en los casos analizados según la escala propuesta en Pérez *et al.* (1994), que se basa en la altura de la ola significativa que llega a la costa de Ciudad de La Habana y el alcance comprobado de las inundaciones producidas como criterios de decisión. En la tabla 1 se presenta la correspondencia encontrada entre ambos, lo que resulta una herramienta eficaz en la práctica operativa para emitir una valoración inicial de la intensidad de las penetraciones del mar.

La ocurrencia de penetraciones del mar está asociada a patrones sinópticos que condicionan el comportamiento del viento y el oleaje generador de las mismas. Los que se presentan a continuación son los más típicos.

El esquema de la figura 1 muestra que en los casos de viento lineal (frentes fríos y bajas extratropicales) la carrera o fetch del viento es la máxima desde la costa norte del Golfo de México, lo que es favorecido principalmente por la posición del centro anticiclónico continental en latitudes por debajo de 30 grados norte sobre territorio mexicano.

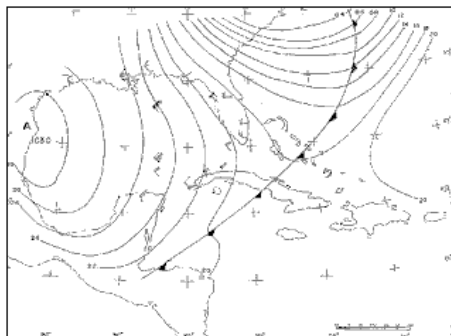


Figura 1: Vientos fuertes del noroeste con fetch o carrera máxima.

El rasgo principal de las bajas extratropicales que producen penetraciones del mar es que se forman y ocluyen en latitudes entre los 20 y 30 grados norte en el área del Golfo de México, haciendo que la región occidental de Cuba quede afectada por el sector de vientos del noroeste fuertes y persistentes (ver figura 2). No obstante, bajas extratropicales o huracanes lejanos con poco movimiento son capaces de emitir campos de mar de leva que al llegar a la costa incrementan el nivel del mar anormalmente, favoreciendo la inundación (ver figura 3).

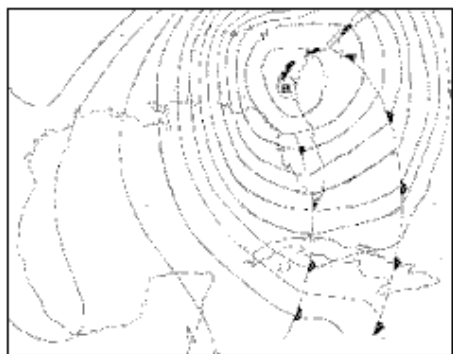


Figura 2: Baja ocluida con lento desplazamiento, produciendo vientos fuertes del noroeste sobre la región occidental de Cuba.

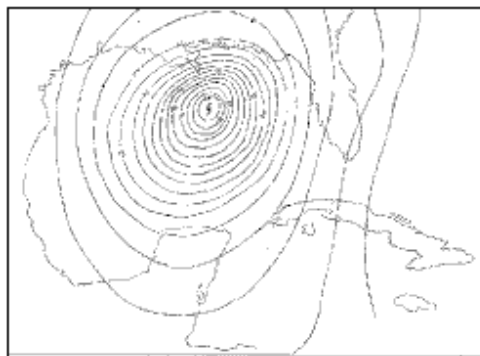


Figura 3: Ciclón lejano (o baja extratropical) que es capaz de generar mar de leva que llega a la costa norte de la región occidental de Cuba.

La ocurrencia de penetraciones del mar debidas a la afectación de huracanes en Ciudad de La Habana depende de su trayectoria, intensidad y velocidad de traslación. En casi todos los casos en que se han reportado penetraciones del mar debidas a estos fenómenos, han atravesado la capital de sur a norte saliendo por el oeste o se acercan por la costa norte desde la dirección este, haciendo que el sector de vientos del norte incidan directamente sobre el litoral (ver figura 4).

Se considera que también alturas de olas que están en el límite inferior permisible de los valores de la tabla de intensidades pueden producir penetraciones del mar bajo condiciones extremas de persistencia del viento que favorecen un incremento anormal del nivel del mar y, por lo tanto, un aporte de agua hacia la zona emergida por más tiempo. Este fue el caso del evento de penetración del mar del 5 de noviembre de 1982, que se observará en la figura 7.

3. Discusión y resultados

Entre los fenómenos atmosféricos que han producido penetraciones del mar en el Malecón Habanero están los frentes fríos, bajas extratropicales y huracanes. Los casos que se presentarán muestran consecuencias diferentes de acuerdo al comportamiento de los factores generadores.

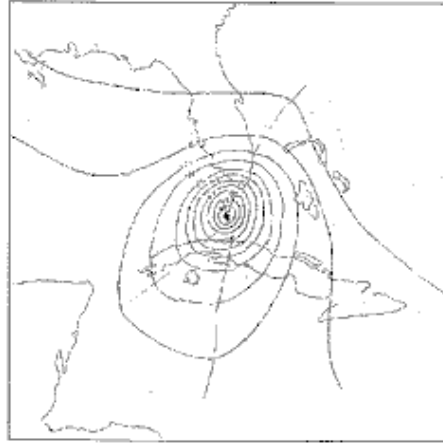


Figura 4: Configuración bórica asociada a ciclones tropicales que producen penetraciones del mar. Generalmente las trayectorias de estos sistemas son paralelas a la costa.

3.1. Frentes fríos

Frente frío fuerte del 19 de enero de 1977.- Debido al fuerte gradiente bórico del anticiclón continental de 1029 hPa situado sobre la costa de Texas, el área generadora de olas fue afectada por vientos de 83 kilómetros por hora como promedio durante un período de 18 horas que generaron olas en mar abierto de 6.5 metros de altura a 550 kilómetros de la costa, produciendo mar de leva que, interactuando con la mar de viento existente, dio lugar a una ola combinada con una altura significativa de 5.6 metros y una altura máxima hasta 8.2 metros, la cual se trasladó hacia el sudeste sobre el litoral habanero. La persistencia máxima de vientos y trenes de olas de rumbo noroeste produjo inundaciones catalogadas de fuertes (ver figura 5).

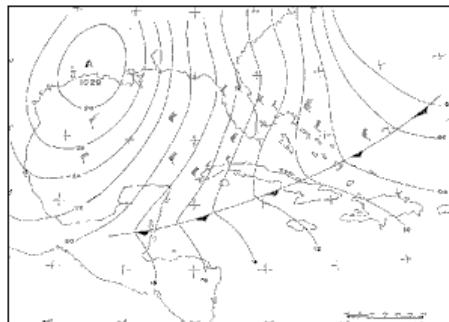


Figura 5: Frente frío fuerte, 19 de enero de 1977, 1200z (7:00 AM).

Frente frío fuerte del 2 de marzo de 1980.- El área de gradiente bórico intenso asociado a un anticiclón continental de 1033 hPa sobre la frontera de México con Texas, produjo vientos de velocidad promedio 55 kilómetros por hora por un período de 6 horas en la mitad oriental del Golfo de México, que generaron un núcleo de olas de 5.8 metros de altura en un área generadora localizada a 590 kilómetros de la costa. Como consecuencia, el Malecón fue afectado por una ola combinada con altura significativa de 4.2 metros y altura máxima de 6.3 metros, respectivamente, produciéndose inundaciones catalogadas de moderadas (ver figura 6).

Frente frío fuerte del 5 de noviembre de 1982.- Considerado reversino, este frente tenía vientos predominantes del nor-nordeste cuyas velocidades no sobrepasaban los 46 kilómetros por hora, pero debido a que estos vientos persistieron durante 60 horas producto del estacionamiento del frente en la región central de Cuba, se produjo una altura de ola significativa de 2.5 metros y una ola máxima de 3.7 metros que provocaron inundaciones ligeras. El área generadora de olas en mar abierto tenía alturas de 3.9 metros y estaba situado a 230 kilómetros (ver figura 7).

Vemos cómo a pesar de que estos frentes fríos fueron catalogados de fuertes, los vientos en el área generadora fueron diferentes, o sea, 83, 55 y 46 kilómetros por hora, respectivamente, produciéndose por lo tanto inundaciones

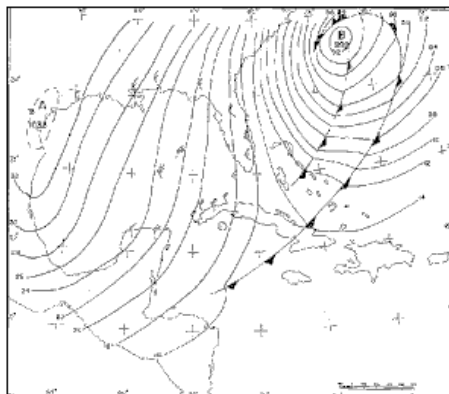


Figura 6: Frente frío fuerte del 3 de marzo de 1980, 0000z (2 de marzo, 7:00 PM).

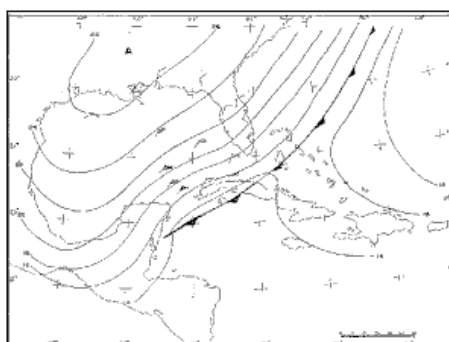


Figura 7: Frente frío fuerte del 6 de noviembre de 1982, 0000z (5 de noviembre, 7:00 PM).

de diferentes categorías. Se observa además que en tres de los casos, y realmente sucederá así en el resto de las ocurrencias de penetraciones del mar, el área generadora se ubica a distancias entre 550 y 700 kilómetros de la zona del Malecón para vientos del noroeste.

De los frentes fríos moderados que han producido penetraciones del mar, sólo el que afectó a Ciudad de La Habana el 27 de febrero de 1984 generó inundaciones calificadas de moderadas debido a una persistencia de 42 horas en sus vientos que produjeron olas significativas en la zona del Malecón de 4.3 metros de altura y una ola máxima de 6.4 metros; en mar abierto el área generadora tenía olas de 5.2 metros y se hallaba a 700 kilómetros de la costa. Los trece restantes han dado inundaciones ligeras (ver figura 8).

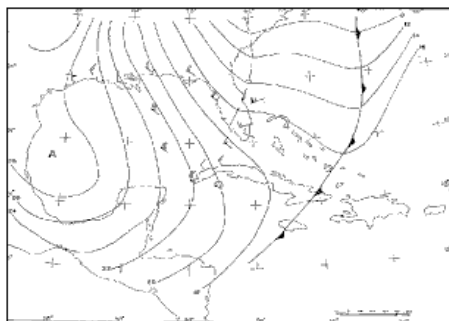


Figura 8: Frente frío moderado del 29 de febrero de 1984, 0000z (28 de febrero, 7:00 PM).

3.2. Bajas extratropicales

Las penetraciones del mar producidas por bajas extratropicales intensas han tenido lugar en los meses de febrero a abril, presentando como rasgo principal que su proceso de formación y oclusión ocurre generalmente en latitudes entre 20° y 30° norte a la vez que se desplazan con lentitud por el Golfo de México, lo que hace que el área que abarca el sudeste del citado golfo, el Estrecho de La Florida y el litoral de Ciudad de La Habana queden bajo la influencia directa de vientos de región noroeste intensos y sostenidos (más de 55 kilómetros por hora) con una persistencia considerable (más de 30 horas) que producen olas significativas con alturas superiores a 4.5 metros y una ola máxima de hasta 8.0 metros, dando lugar a que se produzcan prolongadas inundaciones en zonas bajas, principalmente del Vedado.

De los ocho casos reportados de inundaciones producidas por bajas extratropicales, cuatro alcanzaron la categoría de fuertes y cuatro fueron moderadas. La gran mayoría de las marejadas asociadas a las bajas extratropicales han llegado al litoral de Ciudad de La Habana como mar de viento, a excepción del caso de las inundaciones del 17 de marzo de 1983, en que la afectación fue por mar de leva de 3.1 metros de altura, que combinada con olas de viento de 4.1 metros produjo olas de 5.1 metros de altura (ver figura 9).

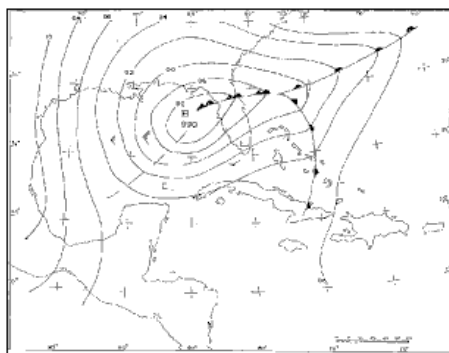


Figura 9: Baja extratropical del 17 de marzo de 1983, 1800z (1:00 PM).

3.3. Huracanes

Los huracanes son los fenómenos atmosféricos que más baja frecuencia tienen en la ocurrencia de las penetraciones, las cuales han ocurrido entre septiembre y noviembre, aunque no se descarta su ocurrencia en los otros meses correspondientes al verano.

La ocurrencia de penetraciones del mar debidas a la afectación de huracanes en Ciudad de La Habana dependerá de su trayectoria, intensidad y velocidad de traslación. Si un huracán se mueve de sur a norte al oeste de la Ciudad, los vientos que la afectarán serían del sudeste y por lo tanto el oleaje mayor se formará lejos de la costa y alejándose de ella. Si en cambio el huracán se mueve hacia el norte, pero al este de la Ciudad, la costa sería azotada por vientos del noroeste, y las marejadas que se generen se desplazarán hacia el sudeste sobre el litoral. De igual manera, un huracán que se mueva de este a oeste por el Estrecho de La Florida es capaz de generar fuertes marejadas que se desplazan del nordeste y norte.

De las inundaciones que han afectado al litoral de Ciudad de La Habana, cuatro han sido producidas por huracanes, dos de ellas por mar de viento u ola combinada (Floyd y Kate) y las otras como consecuencia de mar de leva (Eloise y Juan).

En noviembre de 1985, el huracán Kate (figura 10) se movió de este a oeste sobre la costa norte de Cuba, y al salir al mar cerca de Ciudad de La Habana se registraron vientos del norte de 74 kilómetros por hora durante aproximadamente 2 - 3 horas que generaron olas significativas de hasta 5.0 metros de altura; debe tenerse en cuenta que ya la mar estaba agitada por un período de 30 horas por vientos del nor-nordeste con velocidades entre 28 y 46 kilómetros por hora, sin embargo, las inundaciones sólo tuvieron categoría de moderadas debido que este huracán se desplazó con alta velocidad de traslación.

Tenemos el caso del huracán Floyd de octubre de 1987 (figura 11), que realizó su recurva sobre la región occidental de nuestro territorio y continuó su trayectoria hacia el nordeste sobre el Estrecho de La Florida. Al pasar al norte de Ciudad de La Habana a una distancia de 90 kilómetros, la afectó con vientos de región noroeste, cuyas velocidades

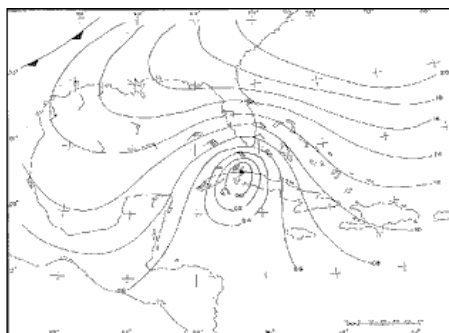


Figura 10: Huracán Kate en 23.2 N, 81.9 W, 19 de noviembre de 1985, 1800z (1:00 PM).

de hasta 83 kilómetros por hora en el Estrecho de La Florida durante unas 3 horas fueron suficientes para producir una ola significativa de 5.2 metros de altura y una ola máxima de 7.8 metros en la costa e inundaciones costeras catalogadas como fuertes.

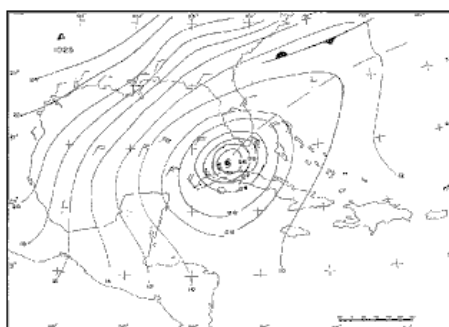


Figura 11: Huracán Floyd en 23.9 N, 82.8 W, 12 de octubre de 1987, 1200z (7:00 AM).

Han existido huracanes que, situados en áreas lejanas del Golfo de México, han generado fuertes marejadas que se han desplazado como mar de leva hasta nuestras costas y penetrado en tierra posteriormente. En este trabajo hacemos referencia a dos casos notables que son los huracanes Eloise, de septiembre 1975 (figura 12) y Juan, de octubre 1985 (figura 13), los cuales se caracterizaron por su lento desplazamiento y tener vientos de más de 240 kilómetros por hora en zonas cercanas a su centro.

El huracán Eloise presentaba un extenso campo bórico que cubría toda la mitad oriental del Golfo de México, y los vientos asociados fueron capaces de generar olas entre 8.0 y 10.0 m que se desplazaron hacia el sudeste como mar de leva que tuvo una altura significativa de 5.4 metros y una altura máxima de 8.1 metros al llegar a la costa. Por su parte el huracán Juan, aunque se localizó en la mitad occidental del Golfo de México, logró estructurar un área generadora de oleaje de gran amplitud en correspondencia con su extensa circulación; su movimiento errático sobre la costa de Louisiana propició la persistencia de 60 horas que generó olas de hasta 10.0 metros de altura, las cuales se desplazaron hacia el este-sudeste como mar de leva, incidiendo sobre el litoral habanero con olas significativas de 5.8 metros y una ola máxima de 8.7 m.

La magnitud de las marejadas produjeron inundaciones costeras catalogadas de fuertes en ambos casos. Además, las provocadas por el huracán Juan están registradas como las más prolongadas en el tiempo (3 días).

4. Influencia del Malecón ante la presencia de oleaje

Para que ocurran penetraciones del mar en Ciudad de La Habana, y particularmente en su Malecón, es necesario que se den condiciones específicas de velocidad, dirección, alcance y persistencia del viento que aseguren la formación de fuertes marejadas en el sudeste del Golfo de México y Estrecho de La Florida, y que al recalcar en la costa noroccidental de Cuba generen un ascenso anormal del nivel del mar. Este ascenso anormal es consecuencia de la integración de varios factores:

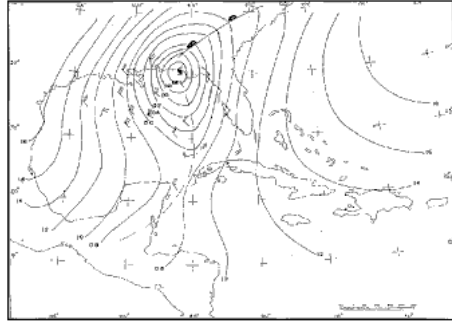


Figura 12: Huracán Eloise en 30.4 N, 86.5 W, 23 de septiembre de 1975, 1200z (7:00 AM).

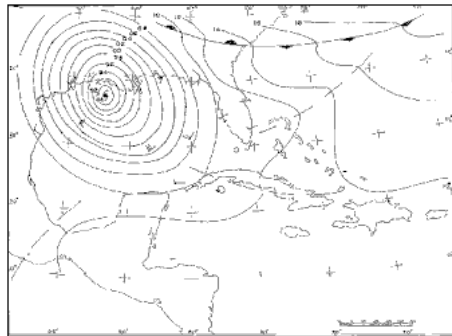


Figura 13: Huracán Juan en 28.9 N, 92.5 W, 29 de octubre de 1985, 0000z (28 de octubre, 7:00 PM).

- La transformación de la ola por efecto del fondo marino, que contribuye a incrementar el transporte de masa.
- El apilamiento de agua, generado por la acción del viento en superficie.
- Efecto de los centros de mínima presión atmosférica, asociados a huracanes.
- Influencia de la marea astronómica.
- Altura de la cresta de la ola.

La disposición del litoral de Ciudad de La Habana, la morfología de sus fondos marinos y zona emergida, ha hecho que las marejadas muy fuertes de rumbo noroeste se desborden sobre la línea de costa, acumulando el agua de mar sobre los arrecifes. Estos constituyen la franja de inundación temporal en la que se verifica el natural avance y retirada de las aguas traídas por las marejadas.

La presencia de la estructura del Malecón en el litoral de Ciudad de La Habana obstaculiza este proceso, ya que fue construido sobre los arrecifes, y en algunos casos sobre material de relleno, por consiguiente, el Malecón y la avenida que lo bordea pasaron a formar parte de la mencionada franja de inundación temporal, reduciendo el ancho del arrecife (figura 14); no obstante, toda su estructura no ofrece las mismas posibilidades de penetración del agua de mar en cada una de sus secciones debido a que se orientan de forma diferente. Estas son:

1. Castillo de La Chorrera - Punta Barlovento.
2. Punta Barlovento - Calle G.
3. Calle G - Belascoaín.
4. Belascoaín - Genios.
5. Genios - Castillo de La Punta.

No se incluye el resto del Malecón que penetra a lo largo del borde interior de la bahía de La Habana, por considerarse que su propia configuración se erige como una gran protección.

Las secciones comprendidas entre Castillo de La Chorrera y punta Barlovento, de punta Barlovento hasta calle G y de Genios hasta Castillo de La Punta, se exponen casi perpendicularmente a vientos y marejadas del noroeste, dirección más peligrosa sobre la que se registran velocidades notables asociadas al paso de frentes fríos, bajas extratropicales y huracanes.

Las secciones comprendidas desde calle G hasta Belascoaín y Belascoaín hasta Genios reciben más directamente la influencia de vientos y marejadas de componentes norte y nordeste, que además de estar vinculados al paso de frentes fríos se aproximan, en el caso del rumbo nordeste, a la dirección predominante en esta zona, pudiendo incrementarse la velocidad del viento por intensificación del gradiente bórico cuando centros anticiclónicos intensos se ubican en el Saco de Charleston o sus alrededores, situación relativamente frecuente en el invierno; no obstante, las penetraciones producidas por este efecto tienen un alcance menos significativo que en los casos anteriores.

Habitualmente, la construcción de estas obras persigue los objetivos de embellecer el entorno y de proteger las zonas interiores contra inundaciones extremas debido a fuertes marejadas, pero se ha comprobado que en el lugar de batimiento de las olas frente a dichas estructuras ocurren procesos que generan un apilamiento anormal del agua de mar, que más tarde provocan inundaciones.

Las tres situaciones representadas en la figura 14 contribuyen a visualizar la circulación de la masa de agua junto a una costa cualquiera en régimen tranquilo y en régimen de marejadas, y los procesos de acumulación del agua y elevación de su nivel ante la presencia de la estructura del Malecón.

La figura 14-a muestra una situación normal de régimen en la que se observa cómo ocurre el transporte de masa hacia la costa en la capa superficial, y el retorno de ésta junto al fondo hacia mar abierto.

En la figura 14-b se puede apreciar la situación de fuerte marejada, en la que debido a la altura que alcanzan las olas comienzan a aparecer los procesos de ruptura y transformación de la onda por efecto del choque abrupto contra el fondo marino, elevando considerablemente su altura. Debido al deficiente reciclaje que esto conlleva, se produce un acumulamiento del agua próximo a la costa, y al no haber obstáculos en la misma ésta avanzará tierra adentro pero una vez allí no se acumulará en exceso y retornará normalmente al mar.

En la figura 14-c se asume la anterior situación de fuerte marejada ante la presencia de una estructura rígida sobre la línea costera. En este caso el proceso de acumulación del agua contra el muro se amplifica por la imposibilidad que ésta tiene de avanzar de inmediato sobre tierra firme, por lo que elevará su nivel paulatinamente; es entonces que sobre esta cuña o ampolla de agua se superpone la marejada sin que esta vez sufra transformación previa, chocando directamente contra el muro y haciendo que el mar penetre con facilidad y violencia hacia el interior. De esto se infiere que mientras mayor sea esta sobre-elevación, mayores serán las olas que chocarán contra el muro y, por ende, mayor será el aporte de agua.

5. Conclusiones

Es importante destacar en los casos analizados determinadas regularidades que deben ser tenidas en cuenta durante la práctica operativa, como son:

Generalmente la zona generadora de oleaje se sitúa entre 550 y 700 kilómetros de la costa de Ciudad de La Habana para vientos y olas provenientes de la dirección noroeste.

La velocidad de los vientos sostenidos en el área generadora es igual o superior a los 46 kilómetros por hora.

Para los vientos, se considera suficiente una persistencia de 18 horas de dirección noroeste para que se produzcan penetraciones del mar en el litoral de Ciudad de La Habana, aunque se han observado casos en que este parámetro ha superado las 50 horas cuando los sistemas generadores de olas están alejados de la costa de Ciudad de La Habana con lento movimiento (huracán Eloise, huracán Juan, baja extratropical del 17 de marzo de 1983 y frente casi estacionario de noviembre de 1982) o ha sido de solo 6 horas por la influencia de ciclones tropicales que se desplazan a menos de 90 kilómetros de la localidad (huracanes Floyd y Kate).

La presencia del muro del Malecón sobre los arrecifes entorpece el libre avance y retroceso del agua de mar, por lo que se favorece la acumulación de ésta y la posterior inundación de la avenida y los objetos sociales a su alrededor.

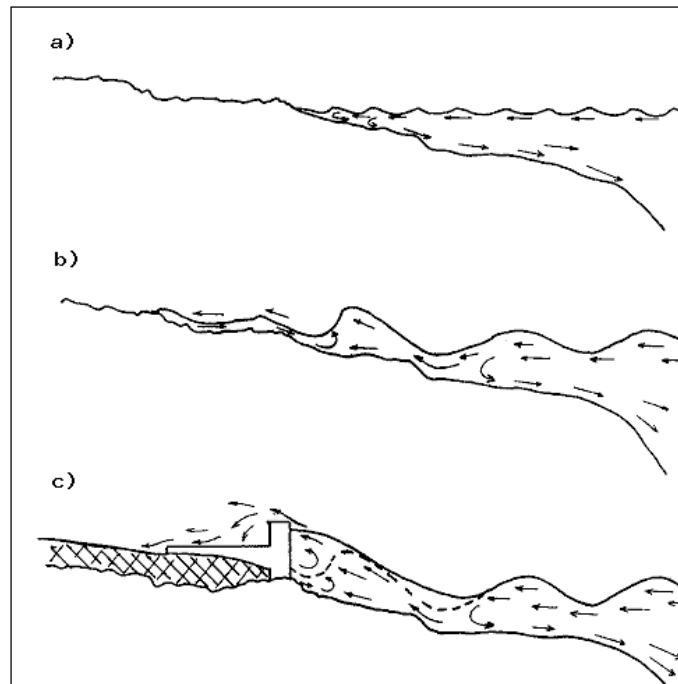


Figura 14: Esquemas de situaciones de oleaje costero: a) oleaje de régimen; b) marejadas sobre costa libre; c) marejadas sobre costa transformada.

Bibliografía

Díaz L, Mitrani I, Pérez PJ (1988): *Determinación del oleaje característico de fenómenos que han producido penetraciones de mar en la costa norte de La Habana*. Tesis de Diploma. Facultad de Geografía, Universidad de La Habana, 53 pp.

Lezcano J, Rodríguez E, Pérez PJ, Samper S, Larrinaga C (1990): *Informe hidrometeorológico preliminar sobre la factibilidad del "Proyecto de reanimación del Malecón Habanero"*. Departamento de Meteorología Marina, Instituto de Meteorología del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (solicitado por el Grupo de Medio Ambiente de la Delegación Ciudad de La Habana del Instituto de Planificación Física), 7 pp.

Pérez PJ, Casals R, Díaz L, Vega R, Del Sol A (1994). *Análisis hidrometeorológico y estadístico de las penetraciones del mar ocurridas en el Malecón habanero*. Departamento de Meteorología Marina. INSMET. Ciudad de La Habana, 1994. 80 pp.

Rodríguez, E. (1988): *Cronología y análisis de las penetraciones marinas en Ciudad de La Habana (1986-1990), con referencia a una escala de intensidad*. Centro de Investigaciones Pesqueras, Ministerio de la Industria Pesquera, 15 pp (inédito).