

Capítulo 6

Resultados observacionales con respecto a la marea semidiurna.

En el capítulo 3 se ha mencionado la presencia de pronunciadas signaturas de marea, especialmente durante las campañas de El Leoncito en 1987 y de El Arenosillo en 1990. En este capítulo, a partir de nuestros datos, se determinan los parámetros que caracterizan la componente semidiurna de la marea, haciendo uso del método de análisis espectral descrito en el capítulo 4, y del modelo de Hines, Tarasick y Shepherd para hallar la longitud de onda vertical (capítulo 5). Luego se comparan con predicciones teóricas y otras mediciones.

6.1 - Estudio cuantitativo de la marea semidiurna

El caso especial de la marea semidiurna se distingue del de ondas en general porque se conocen de antemano la frecuencia intrínseca (que no es la observada que incluye el efecto Doppler), la longitud de onda zonal y por consiguiente, la velocidad horizontal de fase. Además es la componente espectral que mejor se puede determinar empíricamente por ser la predominante en nuestros datos durante muchas noches.

Primero hay que notar que las variaciones en las intensidades observadas son tan grandes en algunas noches, que no se pueden explicar por el pasaje de ondas. Las causas deben ser variaciones de la concentración de oxígeno atómico debido a mecanismos químicos y de transporte aún no bien estudiados. Las temperaturas, en cambio, no muestran variaciones tan grandes que no puedan ser explicables por las ondas. Se espera, entonces, que las componentes espectrales de intensidades que coinciden en frecuencia con las de temperaturas estén poco afectadas por las variaciones no ondulatorias, y por eso permitan obtener valores de η representativos de las ondas.

La marea diurna no se puede analizar debido a los problemas causados por la ausencia de datos durante el día, por la variación de noche a noche de las amplitudes y por la interferencia espectral de la predominante componente semidiurna. Ajustes simultáneos con ambas componentes de marea tampoco dieron resultados físicamente

aceptables para la componente diurna.

6.1.1 - Método usado.

Se determinan los parámetros de la principal componente espectral, sin forzar un período de 12 horas, utilizando el periodograma modificado dado en el capítulo 4 para intensidades y temperaturas. De este modo, la selección se limita a las noches donde la marea es la oscilación predominante. Se usa cada una de las noches disponibles con más de 7h de datos donde el total de los huecos de datos no superen el 50% de la duración total de la medición.

Luego, para una dada noche y capa de emisión, se buscan las coincidencias espectrales entre intensidades y temperaturas. Para calificar estas coincidencias se utiliza el factor de tolerancia $\mathcal{O} < 3$ (ver ec. 4.15). Esto es un criterio "ad-hoc" que da la flexibilidad para tomar en cuenta que la fórmula de Kovacs subestima el error en frecuencia en el rango espectral de la semidiurna y para no descartar casos en los cuales pequeñas variaciones no ondulatorias puedan afectar los períodos en las intensidades. Al no forzar el período, se evitan coincidencias triviales y se permiten corrimientos por el efecto Doppler o causados por las variaciones de la amplitud de la marea. En la práctica, la mayoría de las coincidencias encontradas se ubican próximas al período de 12h.

Para cada coincidencia, se calcula el valor $|\eta|$ a partir de su definición (5.1), usando las amplitudes encontradas en el análisis espectral y los promedios nocturnos para intensidades y temperaturas. El desfase ϕ entre intensidades y temperaturas (o sea, la fase de η) se evalúa en el centro temporal de los datos (ec. 4.15). La longitud de onda vertical se determina mediante la relación (5.4) que la vincula con η (utilizando como altura de escala H la correspondiente al promedio nocturno de la temperatura).

6.1.2 - Estudio de la marea de una noche particular.

Consideremos el caso particular de la noche del 21.02.90 en El Arenosillo, que muestra una de las más pronunciadas signatures de marea en los datos de O_2 y OH. Esta noche tiene 10h 50' de datos continuos de buena calidad. El análisis espectral

confirma que las coincidencias se producen en ambas capas. En el caso del O_2 se obtienen los siguientes parámetros de oscilación: en intensidad, el periodo es 48100s (± 1200 s), la amplitud es 3020 unidades relativas (± 300) la fase con respecto a la medianoche local es de -117° ($\pm 5^\circ$). En temperatura, se obtiene 49300s (± 2900 s), 15.1K (± 1.5 K) y -82° ($\pm 5^\circ$) respectivamente. Con estos valores y los promedios nocturnos se calculan

$$|\eta| = 6.33 (\pm 0.9), \phi = -33.9^\circ (\pm 7^\circ) \text{ y } \lambda_z = -42.9 \text{ km } (\pm 9.1 \text{ km}).$$

Para la intensidad de OH el periodo es también de 48100s (± 2100 s), la amplitud es de 1210 unidades relativas (± 120) y la fase es de 152° ($\pm 5^\circ$), mientras que para la temperatura los valores son 43800s (± 2300 s), 15.6K (± 1.6 K) y -132° ($\pm 5^\circ$) respectivamente. Esto implica

$$|\eta| = 4.30 (\pm 0.7), \phi = -80.7^\circ (\pm 7^\circ) \text{ y } \lambda_z = -31.0 \text{ km } (\pm 4.7 \text{ km}).$$

Varias conclusiones siguen de estos resultados. La fase se propaga hacia abajo (la energía se propaga hacia arriba). Esto se puede ver comparando desfases, ya que la onda en la capa del O_2 está adelantada a la del OH. La misma conclusión se saca, en forma independiente, de los valores negativos de la longitud de onda vertical.

Los valores de λ_z son similares en ambas alturas. Este resultado se mantiene también si se usa, alternativamente a la ec. (5.4), la relación más general (5.6) para determinar λ_z del OH. Se obtiene $\lambda_z = -29.6$ km, usando el parámetro $\chi_1 = 0.2$ extrapolado del modelo HTS (figuras 11 y 13 de Tarasick y Shepherd [1992b] para la onda mostrada con el periodo más cercano a la semidiurna). Este valor es sólo levemente menor al mencionado arriba, lo cual sugiere que la fórmula (5.4) es una buena aproximación.

La amplitud en temperatura es igual en ambas capas. Si se conservara la energía de la onda, debería esperarse una amplitud en la altura del O_2 aproximadamente dos veces mayor que en la del OH (si no hay disipación, la amplitud es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de la densidad). Tratándose de una onda que se propaga hacia arriba, este resultado indica la presencia de mecanismos disipativos.

Los valores de $|\eta|$ serán discutidos abajo, en comparación con modelos y otras mediciones.

Las componentes zonales de los vientos medios U_x en las dos alturas de emisión pueden ser estimados suponiendo que la desviación entre el periodo intrínseco P ($=43200s$) y el observado P' es sólo por efecto Doppler. Se obtiene $U_x = v_x (P/P' - 1)$ donde v_x es la velocidad de fase zonal ($v_x = -\lambda_x / P = 390$ m/s en El Leoncito y 370 m/s en El Arenosillo). Se utiliza el periodo observado *en las temperaturas* pues, como se ha mencionado, las intensidades pueden estar más afectadas por variaciones no ondulatorias. El resultado es $U_x = 45.8$ m/s (± 19 m/s) para la altura de emisión del O_2 y es sólo 4.8 m/s (± 19 m/s) para la del OH. El signo positivo corresponde a vientos del Oeste. Los valores de los vientos calculados son razonables ya que están en el rango de los que habitualmente se miden en estas alturas. Hay mediciones independientes de vientos durante la campaña DYANA, pero corresponden a latitudes un poco más altas, y se distinguen tanto entre sí, que una comparación directa con estos resultados no es viable.

Si, en cambio, se supone que el efecto Doppler es depreciable, o que los vientos en ambas alturas son aproximadamente iguales, se puede estimar, comparando fases, la separación entre capas. Esto equivale a decir que las oscilaciones de temperaturas de O_2 y de OH tienen periodos iguales, y entonces, la diferencia de fases no varía con el tiempo. Esta diferencia de fases $\Delta\alpha = \alpha(O_2) - \alpha(OH)$ es evaluada en el centro temporal de los datos. Por lo tanto, la distancia entre capas puede estimarse como $\Delta z = -\Delta\alpha \langle \lambda_z \rangle / 2\pi$ donde $\langle \lambda_z \rangle$ es el promedio de las longitudes de onda verticales calculadas de las capas de O_2 y OH. Así se obtiene $\Delta z = 4.5$ km (± 1.0 km) el cual tiene el signo y el orden de magnitud correcto. La separación entre ambas capas según mediciones directas es entre 8 y 10 km. La diferencia se podría explicar por un desfase adicional, debido a los corrimientos Doppler. Por supuesto, este resultado sólo puede considerarse como un test de consistencia de los λ_z , y no como una forma precisa para determinar la separación de capas, ya que se basa en datos sin resolución vertical.

La noche recién discutida ha sido utilizada como un ejemplo del tratamiento empleado. En lo que resta de esta sección se muestran los resultados del conjunto completo de datos. Primero, en la parte 6.1.3 se estudian todas las noches donde, co-

mo en ésta, las coincidencias se producen en las dos alturas simultáneamente, por permitir estimar la separación de capas y obtener la atenuación. En 6.1.4 se extiende estadístico de $|\eta|$, ϕ y λ_2 a todos los casos disponibles con períodos próximos a la marea semidiurna. Por último, en 6.1.5 se hace la distinción campaña por campaña.

6.1.3 - Coincidencias espectrales observadas simultáneamente en ambas alturas.

Además de la noche mencionada, hay otras noches con coincidencias espectrales en ambas alturas. La tabla 6.1 muestra los parámetros obtenidos en las 6 noches con coincidencias en ambas capas. Las dos primeras noches corresponden a la campaña de invierno de 1986 en El Leoncito, la tercera noche corresponde a la campaña del equinoccio de 1987, también en LEO, y las tres últimas son de El Arenosillo en 1990.

Los períodos aparentes calculados para estas noches están entre 31600s y 51500s. En los casos extremos de los bajos períodos serían necesarios vientos del Este de hasta 145 m/s para explicar el corrimiento de la semidiurna únicamente por el efecto Doppler. Estos números son tan grandes que sugieren la presencia de contaminación por otras ondas ó que la marea semidiurna varía su amplitud durante la noche, causando así una desviación en el período calculado. En los casos de los grandes períodos observados en España, los vientos del Oeste estimados de este modo son más pequeños (llegan a 60 m/s), aunque no se puede descartar la posibilidad de otras causas para los corrimientos espectrales, como por ejemplo, por la interferencia con la marea diurna.

Las amplitudes en intensidad observadas varían por un factor de 3.4 para el O_2 y de 4.7 para el OH. En el caso del O_2 , las máximas amplitudes fueron observadas en El Arenosillo.

Las amplitudes de las temperaturas, en cambio, son mucho más estables. El promedio para el O_2 es de 14.1K ($\pm 0.3K$) mientras, para el OH, es de 11.6K ($\pm 0.5K$) y 1.3 K, respectivamente. Teniendo en cuenta que las ondas se propagan hacia arriba, se ve también en los promedios, que las amplitudes crecen poco con la altura. El factor de crecimiento de las amplitudes es 1.26 (± 0.11), confirmándose lo mencionado sobre la presencia de disipación.

TABLA 6.1: Parámetros calculados para las noches con coincidencias de picos de la principal componente espectral en ambas alturas. I_{O_2} , T_{O_2} , I_{OH} y T_{OH} abrevian intensidad y temperatura de O_2 y OH respectivamente. P , A y α son los respectivos periodos, amplitudes y fases (con respecto a la medianoche). $|\eta|$ es el módulo del parámetro de Krassovsky (4.1) y ϕ es la diferencia de fase entre intensidades y temperaturas en el centro temporal de la noche. λ_z es la longitud vertical de onda calculada con ec. (4.4) y $\langle \lambda_z \rangle$ es el promedio en ambas alturas. U_x son los vientos zonales medios derivados de los datos. $\Delta\alpha$ es la diferencia de fases entre las oscilaciones de temperatura de O_2 y OH evaluada en el centro temporal de los datos. Δz es la separación estimada entre las dos capas a partir de $\Delta\alpha$ y $\langle \lambda_z \rangle$. Los errores se discuten en el texto, al final de esta subsección.

Fecha	05.07.86	10.07.86	21.09.87	20.01.90	21.01.90	21.02.90
$P'I_{O_2}$ [s]	33100	35700	35100	32400	47400	48100
$P'T_{O_2}$ [s]	33100	31600	32100	34900	51500	49300
$P'I_{OH}$ [s]	34400	35100	41900	38800	50700	48100
$P'T_{OH}$ [s]	34400	37200	38200	36400	46200	43800
$A'I_{O_2}$ [unid.rel.]	1440	1010	1630	2870	3410	3020
$A'T_{O_2}$ [K]	16.1	12.2	14.4	13.2	13.4	15.1
$A'I_{OH}$ [unid.rel.]	2010	504	1970	1390	2340	1210
$A'T_{OH}$ [K]	14.4	9.0	8.5	12.4	10.1	15.6
$A'T_{O_2}/A'T_{OH}$	1.11	1.36	1.69	1.06	1.33	0.97
$\alpha'I_{O_2}$ [°]	161.2	172.5	-174.6	-119.6	-110.5	-117.1
$\alpha'T_{O_2}$ [°]	-159.2	167.7	-139.7	-83.0	-67.8	-82.0
$\alpha'I_{OH}$ [°]	120.6	161.8	115.9	136.1	136.4	152.2
$\alpha'T_{OH}$ [°]	149.9	178.3	173.8	-118.8	-129.8	-131.7
$ \eta (O_2)$	4.98	4.74	5.21	5.44	6.92	6.33
$\phi (O_2)$ [°]	-39.7	-9.1	-37.5	-32.1	-38.6	-33.9
$ \eta (OH)$	5.09	2.29	9.79	4.18	8.39	4.30
$\phi (OH)$ [°]	-29.3	-10.8	-60.2	-108.6	-98.5	-80.7
$\lambda_z (O_2)$ [km]	-44.2	-182.9	-45.6	-53.9	-35.9	-42.0
$\lambda_z (OH)$ [km]	-51.9	-312.5	-15.0	-35.5	-16.9	-31.9
$U_x (O_2)$ [m/s]	-119.9	-145.7	-137.0	-88.2	59.9	45.8
$U_x (OH)$ [m/s]	-100.7	-64.1	-52.1	-69.1	23.7	4.8
$\Delta\alpha$ [°]	-53.2	-7.2	-32.1	-17.2	-56.5	-44.0
$\langle \lambda_z \rangle$ [km]	-48.0	-247.7	-30.3	-19.7	-26.4	-37.0
Δz [km]	7.1	4.9	4.3	2.5	4.2	4.5

Los valores medios vectoriales de $|\eta|$ en la capa de O_2 y OH son parecidos entre sí (5.5 ± 0.4 para el O_2 y 4.9 ± 1.2 para el OH), si bien, en el caso del OH, la variabilidad es mucho mayor, tomando valores desde 2.3 hasta 9.8. El promedio vectorial de las fases de η es de $-33^\circ (\pm 5^\circ)$ para el O_2 , y de $-71^\circ (\pm 16^\circ)$ para el OH.

Excluyendo la noche del 10.07.86 por su irregular comportamiento, las longitudes de onda verticales calculadas en ambas alturas tienen una dispersión relativamente pequeña. Para el O_2 , el valor medio es de $-44.3\text{km} (\pm 1.5\text{km})$, mientras que para el OH, es de $-30.2\text{km} (\pm 3.4\text{km})$. En estos promedios también se ve, al igual que para el caso del 21.02.90 ya presentado, que las longitudes de onda son parecidas en ambas alturas.

Las grandes longitudes verticales medidas el 10.07.86 no se ajustan al resto, lo cual puede significar que otros modos de Hough fueron los predominantes para la marea en esa noche.

La estimación de la distancia entre capas Δz da resultados satisfactorios, con el signo correcto, aunque valores menores a los 8-10km esperados. En particular, los Δz calculados para las dos noches del '86 incluyen con su error esta separación.

Al final, se dan los errores estimados para los parámetros de la tabla 6.1:

Parámetro	error.
Períodos en las temperaturas:	3000s
Períodos en las intensidades:	2000s
Amplitudes A' :	10%
Fases α' :	5°
$ \eta $:	15%
ϕ :	7°
λ_z :	5 a 10km (excepto para el 10.7.86 donde el error es de 70km para el O_2 y de 100km para el OH)
A'_{TO_2} / A'_{TOH} :	0.2
U_x :	20m/s
$\Delta \alpha$:	7°
$\langle \lambda_z \rangle$:	6km (60km el 10.7.86)
Δz	1 a 1.3km (5km el 10.7.86)

6.1.4 - Análisis estadístico del η de Krassovksy y de la longitud de onda vertical.

Existen muchas noches donde las coincidencias espectrales se observan en una sola capa. Esto no es sorprendente, teniendo en cuenta los distintos factores que pueden interferir, tales como variaciones de tipo no ondulatorias ya mencionadas, ó el rompimiento de ondas entre las capas debido a la estructura de vientos.

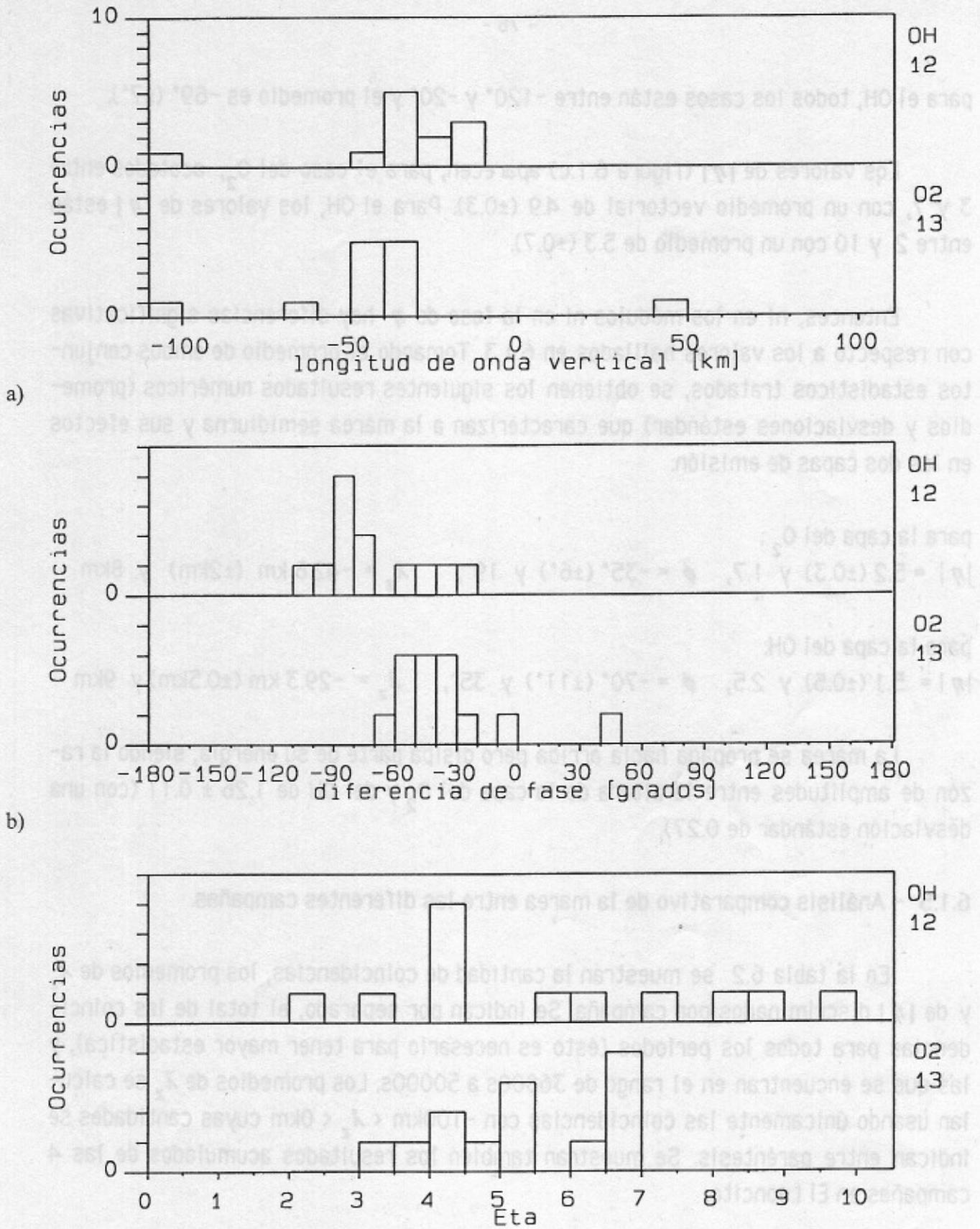
Entre las 83 noches consideradas para el O_2 , hay 35 casos con coincidencias, todas en períodos mayores de 18000s. Para el OH, sobre un total de 82 noches hay 19 noches con coincidencias, en períodos mayores a 16000s.

Al limitar más las coincidencias a períodos entre 36000s y 50000s se disminuye la probabilidad de contaminación por oscilaciones no vinculadas con la marea semidiurna. Si la desviación con respecto a las 12hs se debiera únicamente al efecto Doppler, entonces alcanzarían vientos medios no mayores a 66m/s para explicar la marea semidiurna.

En este rango de períodos hay 13 coincidencias en la capa del O_2 y 12 en la del OH. Nótese que sólo 2 (4) de los 6 casos de O_2 (OH) discutidos en la subsección anterior son incluidos en esta estadística. Las figura 6.1 muestra los histogramas de λ_z , ϕ y $|\eta|$, limitándose a las coincidencias en estos períodos.

En la figura 6.1.a se ve que la mayoría de las coincidencias se acumula en longitudes de onda entre -50km y -30km para el O_2 y entre -40km y -10km para el OH. Solamente hay un caso de grandes longitudes verticales para cada una de las capas, y un caso positivo en la capa de O_2 . Excluyendo estas coincidencias atípicas, se obtienen promedios de -41.3km (± 2.3 km) y -28.4km (± 2.8 km) para el O_2 y el OH, respectivamente. Estos promedios son similares a los encontrados en la sección anterior. Las desviaciones estándar de 7.6km para el O_2 y 9.4km para el OH son similares a los errores, determinados *a priori*, de λ_z para cada caso individual, indicando la reproducibilidad de la marea semidiurna para los 11 casos en cada una de las capas.

Las distribuciones de fase ϕ son mostradas en la figura 6.1.b. Para el O_2 , la distribución se concentra entre -70° y -20° y el promedio vectorial de -37° ($\pm 8^\circ$) y,



c) Figura 6.1: Histogramas de longitudes de onda verticales (a), fases de eta (b), y módulo de eta (c) para la marea semidiurna.

para el OH, todos los casos están entre -120° y -20° y el promedio es $-69^\circ (\pm 7^\circ)$.

Los valores de $|\eta|$ (figura 6.1.c) aparecen, para el caso del O_2 , acotados entre 3 y 7, con un promedio vectorial de $4.9 (\pm 0.3)$. Para el OH, los valores de $|\eta|$ están entre 2 y 10 con un promedio de $5.3 (\pm 0.7)$.

Entonces, ni en los módulos ni en la fase de η hay diferencias significativas con respecto a los valores hallados en 6.1.3. Tomando el promedio de ambos conjuntos estadísticos tratados, se obtienen los siguientes resultados numéricos (promedios y desviaciones estándar) que caracterizan a la marea semidiurna y sus efectos en las dos capas de emisión:

para la capa del O_2 :

$$|\eta| = 5.2 (\pm 0.3) \text{ y } 1.7, \quad \phi = -35^\circ (\pm 6^\circ) \text{ y } 19^\circ, \quad \lambda_z = -42.8 \text{ km } (\pm 2\text{km}) \text{ y } 8\text{km}$$

para la capa del OH:

$$|\eta| = 5.1 (\pm 0.5) \text{ y } 2.5, \quad \phi = -70^\circ (\pm 11^\circ) \text{ y } 35^\circ, \quad \lambda_z = -29.3 \text{ km } (\pm 0.5\text{km}) \text{ y } 9\text{km}$$

La marea se propaga hacia arriba pero disipa parte de su energía, siendo la razón de amplitudes entre la altura de la capa del O_2 y del OH de 1.26 ± 0.11 (con una desviación estándar de 0.27).

6.1.5 - Análisis comparativo de la marea entre las diferentes campañas.

En la tabla 6.2 se muestran la cantidad de coincidencias, los promedios de λ_z y de $|\eta|$ discriminados por campaña. Se indican por separado, el total de las coincidencias para todos los períodos (ésto es necesario para tener mayor estadística), y las que se encuentran en el rango de 36000s a 50000s. Los promedios de λ_z se calculan usando únicamente las coincidencias con $-100\text{km} < \lambda_z < 0\text{km}$ cuyas cantidades se indican entre paréntesis. Se muestran también los resultados acumulados de las 4 campañas en El Leoncito.

TABLA 6.2: Cantidad de coincidencias espectrales, promedios de longitudes de onda verticales λ_z y de $|\eta|$ en las distintas campañas, para O_2 (a) y OH (b). LEO y ARE significan El Leoncito y de El Arenosillo, respectivamente. Se muestran, por separado, los valores para todas las coincidencias, y para el subconjunto de coincidencias entre 36000s y 50000s. Los promedios de λ_z se calculan usando únicamente las coincidencias con $-100\text{km} < \lambda_z < 0\text{km}$, cuyas cantidades se indican entre paréntesis.

a) O_2

Campaña	Noches usadas	Total de coincidencias Cantidad λ_z [km]	$ \eta $	Entre 36000s y 50000s Cantidad λ_z [km]	$ \eta $
LEO 27.06./13.07.86	12	7 (4) -41.5	3.8	1 (0) -	4.0
LEO 26.10./10.11.86	14	7 (6) -45.9	4.1	1 (1) -34.1	4.8
LEO 14.09./30.09.87	15	8 (7) -54.3	7.9	3 (3) -50.7	4.7
LEO 10.10./26.10.92	14	3 (2) -73.8	6.0	1 (0) -	5.4
LEO (total)	55	25 (19) -51.0	5.3	6 (4) -46.6	4.0
ARE 18.01./14.03.90	28	10 (10) -37.6	5.8	7 (7) -38.2	5.9

b) OH

Campaña	Noches usadas	Total de coincidencias Cantidad λ_z [km]	$ \eta $	Entre 36000s y 50000s Cantidad λ_z [km]	$ \eta $
LEO 27.06./13.07.86	13	3 (2) -39.9	5.3	2 (1) -27.7	5.4
LEO 26.10./10.11.86	14	3 (2) -39.0	6.9	1 (1) -32.0	4.0
LEO 14.09./30.09.87	16	3 (1) -15.8	3.3	1 (1) -15.8	9.8
LEO 10.10./26.10.92	13	2 (2) -15.0	8.5	1 (1) -17.1	7.4
LEO (total)	56	11 (7) -29.1	4.6	5 (4) -23.2	6.0
ARE 18.01./14.03.90	26	8 (8) -29.4	5.1	7 (7) -30.4	5.0

Para la capa de O_2 : El porcentaje de coincidencias con respecto a la cantidad de noches analizadas es mayor en El Leoncito (45%) que en El Arenosillo (36%), pero en ARE las coincidencias son más concentradas alrededor de las 12h (25% versus 11%). En ARE, todas las coincidencias corresponden a ondas que propagan su energía hacia arriba con $|\lambda_z| < 100\text{km}$ (más precisamente, entre -54km y -28km). Entre las campañas de LEO, la del '87 tiene más casos con períodos entre 36000 y 50000s, similar a lo observado en ARE. Las campañas de 1987 y 1992 muestran las mayores longitudes de onda verticales. Los λ_z , en promedio, son 13km mayores en LEO que en ARE, pero cuando se limita la comparación a la campaña de invierno (la primera del '86) la diferencia con ARE es casi cero. Los promedios de $|\eta|$ son muy variables de campaña a campaña, y son menores en LEO que en ARE, especialmente si se comparan las campañas de invierno.

Para la capa de OH: El porcentaje de coincidencias con respecto a la cantidad de noches en El Arenosillo es del 31% de las noches, mientras que en El Leoncito es sólo del 20%. En ARE, casi todas las coincidencias tienen períodos más próximos a 12hs. Además, similarmente al O_2 , todas las longitudes de onda verticales están acotadas entre -43km y -17km . Al contrario de lo que ocurre con el O_2 , las campañas de 1987 y 1992 muestran un marcado mínimo en los promedios de $|\lambda_z|$ (menores a la mitad de las de las otras campañas) aunque este resultado se basa en muy pocos ejemplos. El único caso con períodos cercanos a la semidiurna que aparece con λ_z fuera del rango de -100km a 0km es el 10.7.86 ya discutido. Los promedios de $|\eta|$ son también muy variables entre campañas, aunque en esta capa no hay diferencias significativas en las dos campañas de invierno (1ª de 1986 y ARE).

En El Arenosillo la marea semidiurna aparece más establemente en los datos y con períodos cercanos a las 12h que en El Leoncito. La mayor dispersión de los períodos en LEO puede ser debida a una mayor variabilidad nocturna de la amplitud de la marea. Si bien los resultados parecen mostrar indicios de una variación estacional en la longitud de onda vertical, siendo en los equinoccios mayor a la altura de la capa del O_2 y menor a la altura de la capa del OH, esta interpretación es tentativa y debería ser controlada con mucho más datos. Los resultados, en cambio, no parecen indicar, al menos durante el invierno, que haya una variación latitudinal (ó interhemisférica) de las longitudes verticales en ambas alturas, pero aquí también las evidencias son insuficientes para ser concluyentes, y en este caso se requeriría, no sólo más medicio-

nes, sino también que éstas sean simultáneas en diferentes latitudes del mismo hemisferio. La principal característica de $|n|$ en ambas capas de emisión es su gran variabilidad.

6.2 - Comparación de los resultados de la marea semidiurna con modelos y otras mediciones.

El predominio de la componente semidiurna en la marea, en la región de la mesopausa, ya ha sido observado por otros autores. En mediciones de temperaturas rotacionales de OH en latitudes altas (Longyearbyen, 78°N), Myrabø [1984a] y Myrabø y Deehr [1984b] encontraron que la marea semidiurna es predominante con una amplitud de 5K, mientras que la marea diurna no alcanza 1K de amplitud. También se observó este predominio en las intensidades de $O_2(0-1)$ [Myrabø *et al.*, 1986]. Según los resultados presentes mostrados en la subsección 6.1.3, las amplitudes de la marea semidiurna en temperaturas, en latitudes más bajas, son aún mayores, con valores de 8K a 15K. En datos de vientos en la región de latitudes medias (Saskatoon, 52°N y Monpaizer, 45°N), Manson *et al.* [1987] observaron también el predominio de la marea semidiurna durante la mayoría de los meses del año.

Noxon [1978] describió los resultados preliminares de una gran cantidad de noches con mediciones simultáneas de temperaturas rotacionales de $O_2(0-1)$ y OH(6-2). El encontró periodos de las ondas más prominentes de 2 horas sin mencionar si hubo mareas, ó no. Halló un factor de crecimiento medio de las amplitudes de 3, y valores de 1 a 5 fueron frecuentes en sus datos. Esto supera considerablemente el factor 1.26 encontrado aquí para la marea.

Por otra parte, Hecht y Walterscheid [1991] presentaron resultados para ondas gravitatorias en intensidades y temperaturas de O_2 y OH, medidos con una cámara CCD, el 25, 27 y 31.3.90, en Maui, Hawái (21°N). Ellos encontraron 6 ondas con periodos aparentes de 1.5h a 7h, 3 de las cuales se producen simultáneamente en las dos capas. Para estos casos determinaron un factor medio de crecimiento de amplitudes de 1.0, que es aproximadamente independiente del período y por eso puede ser comparado con el factor aquí obtenido para la semidiurna. Teniendo en cuenta la poca cantidad de casos, este resultado pequeño no es completamente incompatible con el nuestro

Forbes y Gillete [1982] presentaron los resultados de su modelo de marea para amplitudes y fases de la componentes diurna y semidiurna, para diferentes latitudes, alturas y períodos del año. A 36° de latitud y 96.6km de altura (típica para la capa del O_2), indican para la semidiurna una amplitud de 8K a 10K, según la época del año. Para 87.1km (altura del OH), las amplitudes varían entre 5 y 7 K. La magnitud de estas amplitudes es comparable con la observada, si bien, mientras el modelo pretende dar valores típicos, en este trabajo se seleccionan los casos de mayor amplitud. Más interesante es comparar las razones de amplitudes entre ambas capas, que según el modelo son de 1.16 y 1.90 para el solsticio de invierno y el equinoccio respectivamente. El presente resultado de 1.26, correspondiente a una época del año intermedia entre estas dos, confirma razonablemente bien los valores del modelo. Del mismo modelo se pueden extraer las longitudes de ondas verticales a partir de las variaciones de la fase con la altura, obteniéndose a 96.6km un valor entre -80km y -130km según la estación del año, que es aproximadamente del doble al triple del -43km aquí determinado para la capa del O_2 . En 87.1km, el modelo da -50km en las dos épocas del año, versus el valor de -29km observado. Es decir, el modelo sobreestima el λ_z .

Bernard [1981] observó para la componente semidiurna en invierno longitudes de onda verticales de 40km, similares a las aquí calculadas. Se basa en observaciones de vientos entre 80km y 100km de altura, medidos con el radar de meteoros en Garchy, Francia. En el trabajo ya mencionado de Manson *et al.* [1987], también referido a vientos en el mismo rango de alturas, se muestran, entre Octubre de 1979 y Mayo de 1980, valores de λ_z del mismo tamaño, pero mayores (hasta 200km) durante los otros meses.

Takahashi *et al.* [1990] describieron ejemplos de oscilaciones con períodos en el rango de la marea semidiurna observados en Cachoeira Paulista, Brasil ($23^\circ S$, $45^\circ W$) en intensidades y temperaturas rotacionales de $O_2(0-1)$ y OH(9-4). Usando análisis de correlación cruzada, encontraron resultados parecidos a los presentes, en que la temperatura precede en fase a la intensidad, en ambas bandas de emisión, siendo mayor este desfase para el OH que para el O_2 . En los ejemplos dados, correspondientes al mes de Junio, los desfases son menores a los aquí obtenidos. Tomando en cuenta el posible efecto latitudinal sobre la longitud de onda vertical de la marea, estas diferencias no son sorprendentes.

Con respecto al parámetro η , Sivjee *et al.* [1987], a partir de mediciones de OH(8-3) en Longyearbyen, determinaron para una onda semidiurna $|\eta| = 3.2 \pm 0.9$ y $\phi = 6^\circ \pm 16^\circ$. Esos valores corresponden a una sola observación, por lo cual no se puede esperar que coincida con los promedios dados en 6.1.4 ($|\eta| = 5.1$ y $\phi = -70^\circ$). De todos modos, son similares a algunos casos individuales aquí observados.

Viereck y Deehr [1989] presentaron valores de $|\eta|$ y ϕ para de O_2 y OH basados en un juego de datos continuos de 60h, también medidos en Longyearbyen. De sus figuras se pueden extraer diferentes valores de η correspondientes a periodos cercanos a 12h. Para el O_2 hay 5 valores con $|\eta|$ entre 1.5 y 7, y con ϕ concentrados entre -20° y 0° . El promedio de $|\eta|$ (≈ 3.2) es significativamente más pequeño que el nuestro ($|\eta| = 5.2$). Las fases ϕ son casi nulas, pero la discrepancia con el presente resultado, $\phi = -35^\circ$, no es seria, dada la muy alta latitud.

Para el OH, Viereck y Deehr [1989] mostraron 3 casos con $|\eta|$ entre 4 y 7, y ϕ entre -20° y -70° . Estos valores no son muy distintos a los mostrados en la figura 6.1.

Takahashi *et al.* [1992] dieron valores de $|\eta|$ para O_2 y OH. En el rango entre 10h y 14h, obtuvieron 21 valores para el O_2 , entre 3 y 16, y 16 valores para el OH, entre 1 y 7. La única diferencia con respecto a los resultados presentes es la abundancia de casos por encima de 7, para el O_2 .

En el modelo dinámico-químico de los efectos de la marea sobre las emisiones de OH, de Walterscheid y Schubert [1987] se indican valores de $|\eta|$ entre 0.9 y 2.6 y fases entre -3.8° y 10° para los diferentes modos de Hough de la marea semidiurna. Este modelo no toma en cuenta la extensión vertical de la capa de OH. Estas predicciones son totalmente incompatibles con los resultados aquí presentados.

En el trabajo de Hickey [1987b], mencionado en la introducción, se dan los valores de $|\eta|$ y ϕ para ondas de gran extensión horizontal (10000km), comparables con la de la marea semidiurna. La inclusión ó no de la fuerza de Coriolis y/o las fuerzas viscosas modifica muy poco los valores en el período de 12h. $|\eta|$ varía entre 1.6 y 1.7, y ϕ entre 18° y 20° , según el caso. Estos valores también son incompatibles con los resultados dados aquí.

Con respecto al parámetro λ , Sivjee et al. (1987) a partir de mediciones de OIK-31 en Longyearbyen, determinaron para una onda semidiurna $|\lambda| = 2.2 \pm 0.9$. No se hace la comparación con el modelo HTS, porque para predecir el valor de η se requiere del conocimiento de λ_2 , que es calculado usando el mismo modelo, y del parámetro λ , que no es dado por los autores para el período de 12h.

Viereck y Deitz (1989) presentan valores de $|\lambda|$ y λ para de 0° y OH basados en un juego de datos continuos de BOR, también medidos en Longyearbyen. De sus figuras se pueden extraer diferentes valores de λ correspondientes a períodos cercanos a 12h. Para el 0° hay 2 valores con $|\lambda|$ entre 1.5 y 1.7, y con λ concentrados entre -20° y 0°. El promedio de $|\lambda|$ (a 2.2) es significativamente más pequeño que el nuestro ($|\lambda| = 2.2$). Las tasas λ son casi nulas, pero la discrepancia con el presente resultado, $\lambda = -25^\circ$, no es seria, dada la muy alta latitud.

Para el OH, Viereck y Deitz (1989) mostraron 2 casos con $|\lambda|$ entre 1.7 y 1.8 entre -20° y -70°. Estos valores no son muy distintos a los mostrados en la figura 6.1.

Takshashi et al. (1992) dieron valores de $|\lambda|$ para 0° y OH. En el rango entre 10h y 14h obtuvieron 21 valores para el 0°, entre 2 y 1.6, y 16 valores para el OH, entre 1.7 y 1.3. La única diferencia con respecto a los resultados presentes es la abundancia de casos por encima de 1.7 para el 0°.

En el modelo dinámico-dinámico de los efectos de la marea sobre las empujones de OH, de Walterstein y Schubert (1987) se indican valores de $|\lambda|$ entre 0.9 y 2.6, y tasas entre -7.8° y 10° para los diferentes modos de Hough de la marea semidiurna. Este modelo no toma en cuenta la extensión vertical de la capa de OH. Estas predicciones son totalmente incompatibles con los resultados aquí presentados.

En el trabajo de Hickey (1987b), mencionado en la introducción, se dan los valores de $|\lambda|$ y λ para ondas de gran extensión horizontal (10000km), comparables con la de la marea semidiurna. La inclusión o no de la fuerza de Coriolis y/o las fuerzas viscosas modifica muy poco los valores en el período de 12h. $|\lambda|$ varía entre 1.6 y 1.7, y λ entre 18° y 20°, según el caso. Estos valores también son incompatibles con los resultados dados aquí.