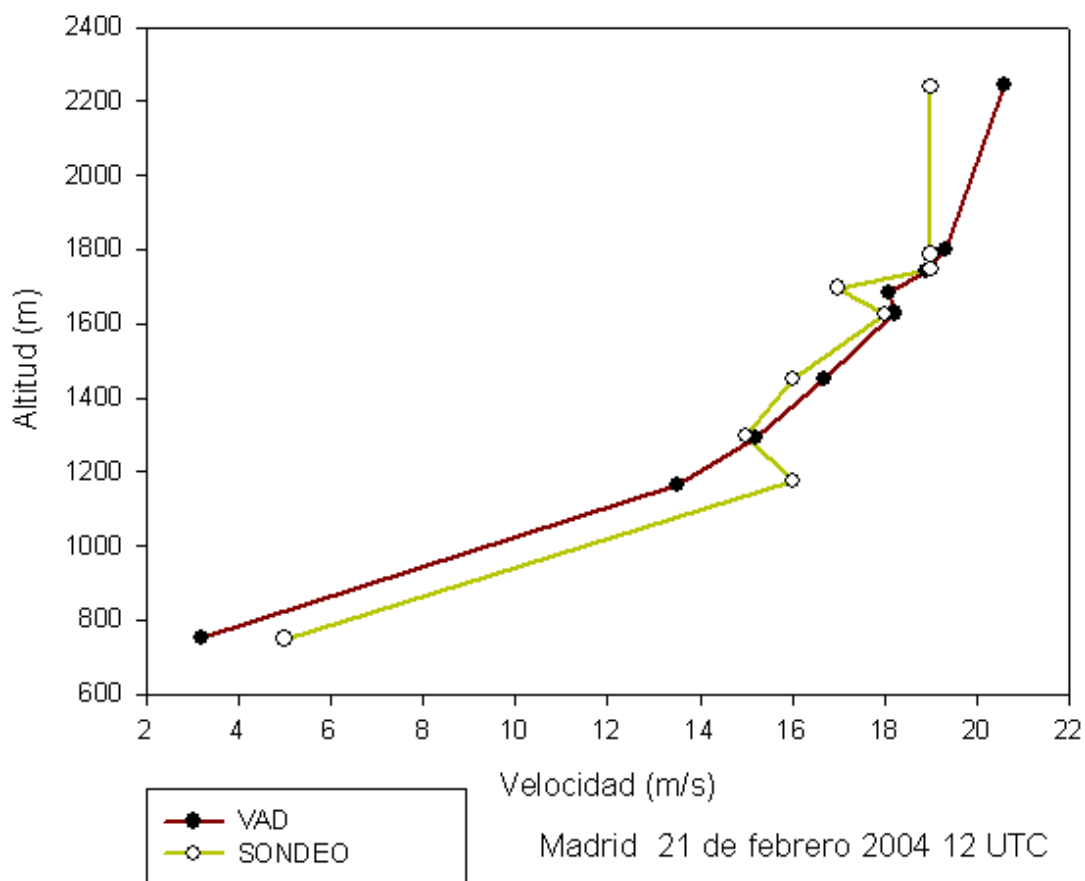


ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PERFILES DE VIENTO VAD Y LOS VIENTOS DE RADIOSONDEOS

NOTA TÉCNICA S.T.A.P. N° 41



Comparación, para el día 21 de febrero de 2004 a 12:00 UTC, de los vientos VAD del radar de Madrid y de los del sondeo de Barajas. La distancia entre el radar y la estación de sondeo es de 34 km. Se aprecia una buena correspondencia entre ambas fuentes de datos.

Sara Conejo Jorge*
Fermín Elizaga Rodríguez

Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción (S.T.A.P.)
Área de Predicción y Aplicaciones
Subdirección General de Predicción

* Beca de formación de postgraduados 2003-2004

INDICE

RESUMEN	2
1. INTRODUCCIÓN	3
2. METODOLOGÍA.....	4
3. ANÁLISIS DE UN AÑO COMPLETO.....	6
4. ANÁLISIS POR ESTACIONES DEL AÑO	9
5. ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS	14
6. CONCLUSIONES	17
BIBLIOGRAFÍA	19

RESUMEN

El objetivo principal de esta Nota Técnica es completar el estudio que se describe en la sección 5 de la Nota Técnica del STAP N° 40 (Conejo y Elizaga, 2003), en el que se evaluó la calidad de los vientos VAD (Velocity Azimuth Display) mediante un análisis comparativo con los vientos de radiosondeos. El VAD (Martín, 2001) es una técnica que estima un conjunto de propiedades del campo de viento en la vertical de un radar Doppler, utilizando los datos del radar obtenidos a un ángulo constante de elevación, una determinada altura y en un rango próximo a él de aproximadamente 25 Km; variando el ángulo de elevación se obtienen los datos VAD a diferentes altitudes.

En la citada Nota Técnica el estudio abarcó seis meses, desde el 1 de septiembre de 2002 al 28 de febrero de 2003 mientras que en el actual se han utilizado datos para un periodo de un año, desde el 1 de septiembre de 2002 al 31 de agosto de 2003. Aunque en el trabajo anterior se llegó a la conclusión de que los datos VAD representan con fiabilidad el régimen de viento en las proximidades del radar en otoño y en invierno, es necesario comprobar si ese comportamiento se mantiene a lo largo de todo un año y si existen diferencias importantes para las distintas estaciones del año.

Este proyecto está enmarcado dentro de las becas de Formación de Postgraduados convocadas en el BOE de 4 de febrero de 2003, concretamente en la beca: ***“Aplicación a la vigilancia y predicción inmediata de las imágenes de radares meteorológicos Doppler y de los perfiles de viento derivados”***. El desarrollo se ha llevado a cabo en el Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción (STAP), del Área de Predicción y Aplicaciones (APA).

1. INTRODUCCIÓN

Durante el año 2002 se llevó a cabo un proyecto en relación con los datos VAD (Browning and Wexler, 1968) que permitió desarrollar y poner en operación un ingestor de datos VAD en McIDAS, así como los comandos de usuario necesarios para su explotación operativa. Haciendo uso de estos desarrollos se puso en operación en el INM una página Intranet de acceso en tiempo real a todos los datos VAD disponibles. Para tratar de obtener una estimación de la calidad de estos vientos, se iniciaron las actividades para una evaluación de los datos VAD mediante la comparación con los vientos de radiosondeos cercanos, para un periodo en otoño y otro en invierno. Los resultados obtenidos quedaron reflejados en la Nota Técnica del STAP N° 40: *“Aplicación a la vigilancia y predicción inmediata de los perfiles de viento derivados de radares meteorológicos Doppler”*, en adelante NT 40. En el trabajo que ahora se presenta se trata de completar esta primera evaluación de las diferencias de los datos VAD y los radiosondeos con los datos de un año completo y valorar de este modo si existen diferencias para las distintas estaciones del año.

Se utilizará una metodología similar a la de la NT 40, la cual se describe brevemente en la sección 2. En la sección 3 se presentan los resultados obtenidos para un año, desde el 1 de septiembre de 2002 hasta el 31 de agosto de 2003, mientras que en la sección siguiente se analizan las posibles diferencias existentes en los resultados dependiendo de la época del año.

En la sección 5 se completa el análisis los datos de un año, mediante el estudio de diversas muestras de perfiles VAD obtenidas en función de distintos criterios, basados por un lado en la intensidad del viento y por otro en la altitud de los niveles donde se registran, con la intención de valorar cómo influye la intensidad del viento en los resultados.

2. METODOLOGÍA

Para realizar el análisis comparativo entre los perfiles de viento VAD y los vientos de los radiosondeos se han utilizado aquellos radares y sondeos del INM que se muestran en la Tabla I, atendiendo a su proximidad geográfica.

Radar - Radiosondeo	Altitud (m.) radar	Altitud (m.) radiosondeo	Distancia (Km)
A Coruña	58	619	23
Madrid	633	717	34
Murcia	61	1274	30
San Sebastián - Santander	64	625	79
Zaragoza	263	829	41

Tabla I. Estaciones de radar y radiosondeos más próximos, altitud y distancia entre ellos.

El estudio ha comprendido 12 meses, desde el 1 de septiembre de 2002 hasta el 31 de agosto de 2003 y se ha utilizado la serie completa, independientemente de si los datos VAD estaban obtenidos en aire claro o no. Para el estudio se han empleado los datos de las 00:00 UTC y 12:00 UTC, ya que como se comprobó en el análisis descrito en la NT 40 apenas existe diferencia significativa, desde el punto de vista estadístico, entre los perfiles que difieren media hora respecto a la hora nominal de lanzamiento del globo sonda. El análisis estadístico se ha realizado seleccionando aquellos datos de vientos VAD y del sondeo situados en niveles próximos, con una separación vertical no superior a 50 m.

Se han utilizado sólo aquellos perfiles de viento VAD (en adelante P_VAD) que cuentan con más de 10 datos, ya que, como se indicó en la NT 40, aunque el número de perfiles con menos de 10 datos no supera en la mayor parte de las estaciones el 5% del total, llevan asociados, en general, diferencias con los radiosondeos bastante superiores a la media.

Las funciones estadísticas utilizadas para realizar el análisis comparativo de los perfiles de viento VAD y de los datos de viento de los radiosondeos han sido las siguientes, obtenidas tanto para el módulo y la dirección del viento como para las componentes u y v. Por continuidad se han utilizado los mismo acrónimos que en la NT 40:

- Media aritmética
- Media de las diferencias absolutas (absdev)

$$absdev = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |v_i - s_i|$$

v_i , datos de viento VAD (módulo o dirección), s_i datos de radiosondeos (módulo o dirección) y N el número total de datos

- Sesgo o bias

$$sesgo = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - s_i)$$

- Raíz del error cuadrático medio (RMS)

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - s_i)^2}$$

- Coeficiente de correlación (Corr)

$$Corr = \frac{\sum_{i=1}^N (z_v - \bar{z}_v) * (z_s - \bar{z}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (z_v - \bar{z}_v)^2 * \sum_{i=1}^N (z_s - \bar{z}_s)^2}}$$

donde z_v es la componente zonal o meridional del viento VAD y z_s la del viento de los radiosondeos, \bar{z}_v y \bar{z}_s el valor medio correspondiente y N el número total de datos.

- Media del módulo del vector diferencia (avvect)

$$avvect = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sqrt{(u_v - u_s)^2 + (v_v - v_s)^2}$$

donde u_v es la componente zonal del viento VAD, v_v la componente meridional del viento VAD, u_s la componente zonal del viento de los radiosondeos, v_s la componente meridional del viento de los radiosondeos y N el número total de datos.

- Error cuadrático medio del vector diferencia (RMSVD)

$$RMSVD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(u_v - u_s)^2 + (v_v - v_s)^2]}$$

3. ANÁLISIS DE UN AÑO COMPLETO

Los valores estadísticos obtenidos para evaluar las diferencias que existen entre los P_VAD y los vientos medidos en los sondeos, algunos de los cuales se van a analizar con más detalle a continuación, se presentan en la Tabla II.

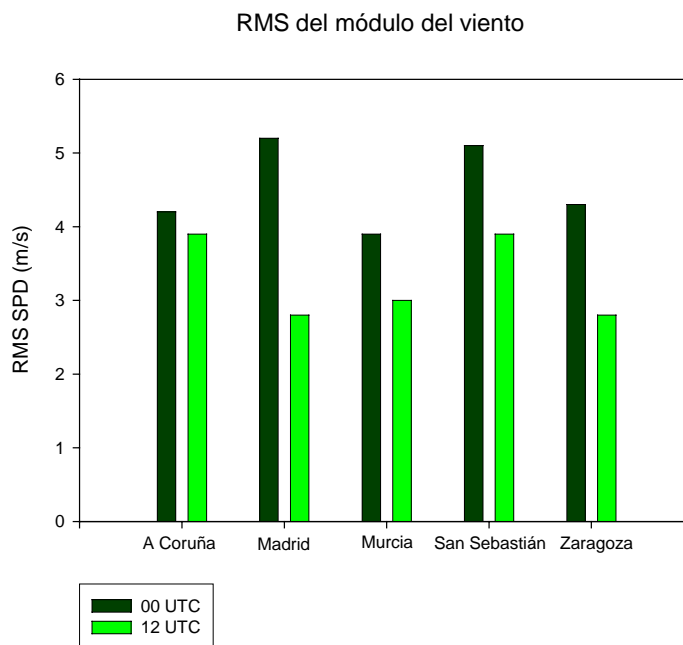


Figura 1. Raíz del error cuadrático medio del módulo del viento para cada uno de los radares a las 00:00 UTC y las 12:00 UTC.

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos para el RMS de la velocidad del viento (RMS SPD), pudiendo comprobarse que en todos los casos se alcanzan valores superiores a las 00:00 UTC que a las 12:00 UTC. La media para los cinco radares es de 4.5 m/s y 3.3 m/s respectivamente. Los valores más elevados corresponden a Madrid y San Sebastián por la noche, aunque hay que tener en cuenta que la distancia que separa el radar del País Vasco y el sondeo de Santander es de 79 Km, más del doble que en el resto de los casos.

Los valores del RMS de la dirección (RMS Dir) se puede ver en la Figura 2, observándose, al igual que para el módulo, valores superiores a las 00:00 UTC que a las 12:00 UTC, con valores medios de 60° y 43° respectivamente. Se vuelve a presentar una singularidad en Madrid por la noche al alcanzar un valor extremo de 73°. Las diferencias entre los valores del RMS SPD y RMS Dir son significativas entre la noche y el día para todos los radares, excepto para A Coruña, donde la diferencia es mínima.

La media absoluta de las diferencias (absdev) para la dirección mantiene la tendencia general, a las 00:00 UTC toma valores sensiblemente superiores que a las 12:00 UTC, 43° frente a 28° respectivamente. El absdev es anómalamente alto para Madrid, con un valor de 53°, a las 00:00 UTC.

	Coruña		Madrid		Murcia		San Sebastián		Zaragoza	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
Media SPDv	11,9	10,8	9,5	7,3	9,1	7,6	10,1	9,1	9,3	7,1
Media SPDs	11,3	10,8	6,9	6,8	7,2	7,6	8,0	8,3	7,5	7,3
Sesgo SPD	0,6	0	2,7	0,5	2,0	0,1	2,2	0,8	1,8	-0,2
RMS SPD	4,2	3,9	5,2	2,9	3,9	3,0	5,1	3,9	4,3	2,8
RMS Dir	45	42	73	48	62	37	58	43	62	45
absdev SPD	3,1	2,8	4,2	2,1	3,0	2,2	4,0	2,9	3,4	2,1
absdev Dir	30	26	53	31	43	25	41	28	45	29
Avvect	5,4	4,7	7,1	3,6	5,5	3,5	6,8	4,4	6,4	3,5
RMSVD	6,5	6,0	8,1	4,7	6,4	4,2	7,8	5,5	7,5	4,2
Sesgo U	-0,6	-0,3	-0,6	0,3	-0,9	-0,7	1,3	0,4	-1,7	-0,9
Sesgo V	1,9	1,4	-0,4	0,3	-0,5	0,1	0,9	0,4	0,6	0,0
RMS U	3,9	3,9	5,4	3,5	4,1	2,6	5,7	3,9	5,1	3,2
RMS V	5,2	4,6	6,1	3,1	5,0	3,3	5,3	3,8	5,5	2,7
Corr SPD	0,86	0,84	0,53	0,83	0,78	0,81	0,58	0,74	0,59	0,80
Corr Dir	0,85	0,88	0,75	0,83	0,82	0,90	0,80	0,85	0,80	0,86
Corr U	0,90	0,88	0,59	0,80	0,80	0,90	0,69	0,81	0,67	0,86
Corr V	0,85	0,86	0,70	0,84	0,79	0,86	0,73	0,85	0,74	0,88
Nº datos	886	1175	1083	867	774	739	1254	905	1241	1058

Tabla II. Valores de la media, sesgo, RMS, absdev, avvect, RMSVD y corr (ver texto para más información) obtenidos a 00:00 UTC y 12:00 UTC. SPD: módulo del viento (m/s). DIR: dirección del viento (grados). Se han usado los P_VAD con más de 10 datos. Año completo.

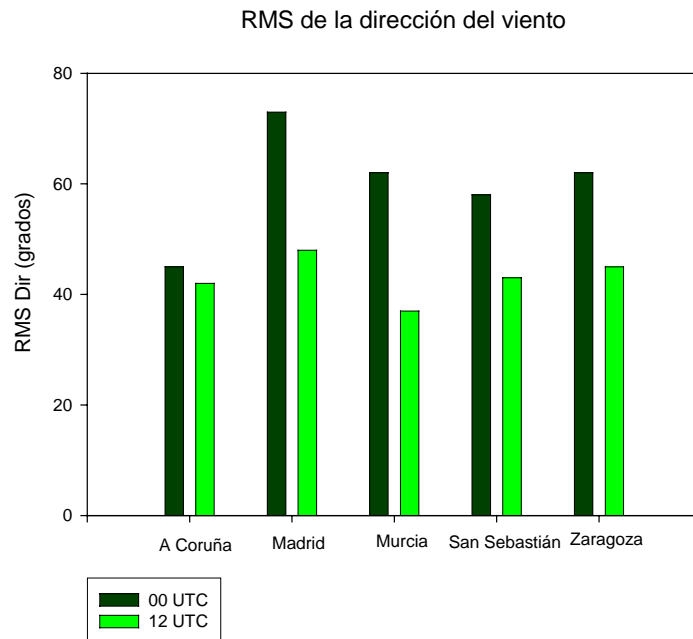


Figura 2. Raíz del error cuadrático medio de la dirección del viento para cada uno de los radares a las 00:00 UTC y las 12:00 UTC.

Tanto en los perfiles de 00:00 UTC como en los de 12:00 UTC se puede observar que existe, en general, un sesgo positivo para la velocidad, lo que indica que los valores de los vientos estimados por la técnica VAD son más intensos que los de los sondeos, en

promedio 1.8 m/s a las 00:00 UTC y 0.2 m/s a las 12:00 UTC. Solamente en Zaragoza a las 12:00 UTC el sesgo presenta un valor negativo de -0.2 m/s.

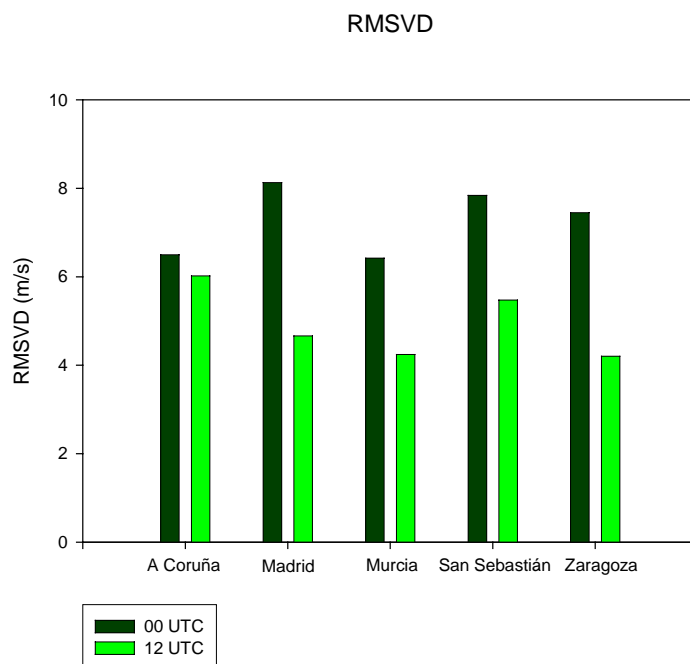


Figura 3. Error cuadrático medio del vector diferencia para cada uno de los radares a las 00:00 UTC y las 12:00 UTC.

Señalar como referencia que distintos estudios realizados en Suecia (Andersson, 1998) muestran un RMS de la velocidad de aproximadamente 2.5 m/s de media para un periodo de nueve meses, exceptuando los meses de primavera. Los valores obtenidos por Andersson son inferiores a los obtenidos en el presente estudio, pero hay que destacar que la distancia entre su radar y la estación de radiosondeos era únicamente de 10 Km, mientras que la distancia más pequeña de las utilizadas en este estudio es de 23 Km (A Coruña), llegando incluso como en el caso del radar del País Vasco y el sondeo de Santander a ser de 79 Km.

El error cuadrático medio del vector diferencia (RMSVD), para el año completo, Figura 3, es para las 00:00 UTC de 7.3 m/s y de 4.9 m/s para las 12:00 UTC. Estos valores son similares y en algún caso inferiores a los obtenidos en otros estudios similares realizados en Norteamérica (Davis et al., 1995), en cuyos trabajos, para una media de 12 puntos, con una distancia aproximada entre el radar y el lugar de lanzamiento del radiosonda (salvo en dos excepciones) inferior a 16 Km, se obtienen para una serie de 9 meses, junio a febrero, valores medios de 5.5 m/s.

4. ANÁLISIS POR ESTACIONES DEL AÑO

Realizada la comparación entre los P_VAD y los vientos de los sondeos a lo largo de un año se ha procedido a realizar un análisis similar estratificando los datos por estaciones del año, el cual se presenta en las Tablas III, IV, V y VI. Hay que señalar que aunque en verano, debido a diversos problemas técnicos, se perdió casi un mes de datos, el número de los que se dispone es suficientemente elevado para poder realizar el análisis estadístico. En la Tabla VII se presentan los valores medios por estaciones y para el año completo.

La tendencia general para los valores del RMS de dirección y módulo de viento se mantiene, siendo los valores más altos a las 00:00 UTC que a las 12:00 UTC para todas las estaciones del año. Los valores más altos del RMS del módulo se observan en invierno y primavera, coincidiendo con valores medios de la velocidad del viento mayores, pero, a pesar de que es en invierno cuando se registran los vientos más intensos el RMS toma valores superiores en primavera. Los valores del RMS de la dirección más bajos corresponden a la época de invierno, con valores medios de 25° a las 00:00 UTC, mientras que el máximo se presenta en otoño a las 00:00 UTC, con un valor de 70° . En la NT 40 ya se mostró que los valores del RMS de la dirección eran menores cuando los vientos eran más fuertes, hecho que se analizará para el año completo en la siguiente sección.

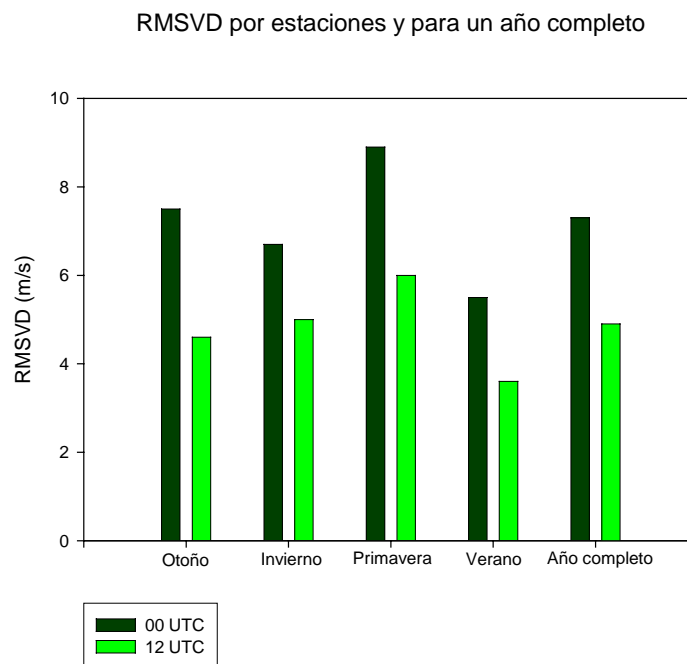


Figura 4. Error cuadrático medio del vector diferencia para las distintas estaciones y para el año completo, a las 00:00 UTC y las 12:00 UTC.

El sesgo positivo en la mayor parte de los casos también muestra que, desde un punto de vista general, los vientos VAD toman valores más elevados que los registrados en los sondeos. Las excepciones se encuentran en otoño y en invierno a las 12:00 UTC, aunque con valores muy pequeños, de -0.1 m/s y -0.4 m/s respectivamente.

	Coruña		Madrid		Murcia		San Sebastián		Zaragoza	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
Media SPDv	9,9	10,7	9,2	6,5	9,3	7,4	8,5	7,8	8,9	6,7
Media SPDs	10,1	10,2	5,8	5,9	7,0	8,0	7,0	8,3	7,7	7,4
Sesgo SPD	-0,2	0,5	3,4	0,5	2,3	-0,6	1,5	-0,5	1,2	-0,7
RMS SPD	3,7	4,2	5,2	2,8	3,9	2,6	4,2	3,0	4,0	2,9
RMS Dir	43	44	91	55	74	32	67	41	75	54
absdev SPD	2,8	2,9	4,4	2,2	3,1	2,0	3,3	2,3	3,2	2,2
absdev Dir	28	29	72	39	50	23	49	28	60	34
avvect	4,5	4,8	8,5	3,6	6,1	3,3	6,3	3,8	7,6	3,8
RMSVD	5,4	6,0	9,3	4,2	7,1	3,9	7,1	4,5	8,4	4,5
Sesgo U	-0,5	-0,4	-4,6	-0,1	-2,9	-1,2	-2,3	-1,1	-4,9	-1,5
Sesgo V	1,5	1,1	-5,4	-0,8	-3,4	-1,5	-3,0	-0,8	-3,5	-0,7
RMS U	3,5	4,0	6,6	3,2	4,9	2,6	4,2	3,5	6,4	3,6
RMS V	4,1	4,4	6,6	2,7	5,1	2,9	5,8	2,8	5,4	2,7
Corr SPD	0,86	0,85	0,39	0,83	0,79	0,86	0,43	0,87	0,58	0,78
Corr Dir	0,87	0,78	0,80	0,82	0,84	0,95	0,85	0,93	0,83	0,82
Corr U	0,92	0,87	0,64	0,74	0,76	0,87	0,86	0,91	0,61	0,75
Corr V	0,85	0,87	0,72	0,91	0,86	0,93	0,53	0,91	0,79	0,88
Nº datos	337	355	395	287	357	250	303	192	449	371

Tabla III. Valores de la media, sesgo, RMS, absdev, avvect, RMSVD y corr (ver texto para más información) obtenidos a 00:00 UTC y 12:00 UTC. SPD: módulo del viento (m/s). DIR: dirección del viento (grados). Se han usado los P_VAD con más de 10 datos. Otoño.

	Coruña		Madrid		Murcia		San Sebastián		Zaragoza	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
Media SPDv	18,4	16,9	12,9	13,1	12,7	12,9	13,1	11,4	13,5	11,8
Media SPDs	17,0	17,3	11,3	13,1	11,8	13,2	12,1	11,7	13,7	12,8
Sesgo SPD	1,5	-0,5	1,5	-0,1	0,9	-0,3	1,0	-0,2	-0,2	-1,0
RMS SPD	6,2	3,8	3,3	3,7	4,6	3,9	5,4	3,6	3,7	3,1
RMS Dir	21	15	20	45	23	29	28	29	31	21
absdev SPD	4,6	3,0	2,6	3,0	3,1	2,5	4,4	2,7	3,0	2,4
absdev Dir	16	11	15	45	17	18	20	19	21	13
avvect	7,0	4,9	4,2	4,8	4,6	5,4	5,6	4,3	5,9	3,6
RMSVD	8,2	5,8	4,9	5,9	5,6	4,0	7,9	5,0	6,9	4,4
Sesgo U	-0,4	-0,9	1,0	1,2	-0,8	0,5	0,5	-1,1	-1,9	-1,6
Sesgo V	2,2	1,1	1,2	0,9	1,3	1,4	2,2	-0,4	0,9	0,1
RMS U	4,0	3,5	4,0	4,9	3,0	4,3	5,6	3,6	5,5	3,6
RMS V	7,1	4,7	2,8	3,3	4,8	3,2	5,6	3,5	4,2	2,5
Corr SPD	0,59	0,84	0,89	0,88	0,72	0,87	0,5	0,84	0,77	0,82
Corr Dir	0,95	0,99	0,93	0,8	0,95	0,96	0,96	0,92	0,89	0,93
Corr U	0,86	0,93	0,87	0,88	0,96	0,92	0,73	0,84	0,88	0,94
Corr V	0,84	0,92	0,95	0,86	0,77	0,98	0,88	0,91	0,86	0,9
Nº datos	153	171	47	68	57	36	155	147	52	76

Tabla IV. Igual que Tabla III para invierno.

	Coruña		Madrid		Murcia		San Sebastián		Zaragoza	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
Media SPDv	16,0	10,4	12,0	9,2	9,8	8,2	12,1	10,1	11,0	8,2
Media SPDs	14,4	10,5	7,5	7,4	7,3	7,5	8,1	8,2	7,1	7,9
Sesgo SPD	1,6	-0,1	4,6	1,7	2,5	0,7	4,0	1,9	4,0	0,3
RMS SPD	3,9	4,6	6,7	3,4	4,3	3,5	6,4	5,3	5,6	3,3
RMS Dir	36	45	60	46	63	45	62	50	60	35
absdev SPD	3,2	3,4	5,7	2,5	3,4	2,6	5,2	4,0	4,5	2,4
absdev Dir	23	26	44	28	43	29	46	33	44	25
avvect	6,0	5,3	8,1	4,3	5,6	3,8	8,5	5,9	10,8	3,8
RMSVD	7,3	7,3	9,0	6,0	6,4	4,8	9,4	7,3	12,3	4,6
Sesgo U	0,8	0,3	3,9	1,5	1,0	-0,5	5,6	1,8	1,3	-0,6
Sesgo V	1,9	1,9	5,8	1,7	2,8	1,3	2,9	1,7	5,6	0,5
RMS U	4,1	4,6	5,2	4,5	3,5	2,6	7,7	5,1	10,0	3,5
RMS V	6,0	5,6	7,3	3,9	5,4	4,0	5,5	5,2	7,2	3,0
Corr SPD	0,91	0,73	0,51	0,79	0,73	0,99	0,55	0,51	0,60	0,74
Corr Dir	0,80	0,89	0,67	0,80	0,71	0,83	0,66	0,74	0,70	0,90
Corr U	0,91	0,81	0,80	0,73	0,85	0,91	0,58	0,67	0,82	0,87
Corr V	0,78	0,78	0,69	0,80	0,71	0,73	0,74	0,72	0,64	0,85
Nº datos	157	351	313	225	231	285	439	302	370	286

Tabla V. Igual que Tabla III para primavera.

	Coruña		Madrid		Murcia		San Sebastián		Zaragoza	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
Media SPDv	7,7	8,0	7,0	5,4	6,1	5,8	7,9	7,4	7,4	5,4
Media SPDs	7,3	8,1	6,9	5,7	5,3	5,8	7,0	6,5	6,7	5,4
Sesgo SPD	0,5	-0,1	0,1	-0,3	0,7	0	0,9	0,9	0,7	0
RMS SPD	3,1	2,5	3,6	2,1	2,5	2,3	3,6	2,7	3,2	2,0
RMS Dir	63	46	65	40	66	32	54	43	50	47
absdev SPD	2,4	1,8	2,8	1,6	2,0	5,3	2,8	7,3	2,5	1,6
absdev Dir	46	30	46	27	46	25	38	28	33	33
avvect	5,3	3,6	4,9	2,8	3,9	3,0	5,0	3,3	4,2	2,9
RMSVD	6,2	4,3	5,8	3,4	4,5	3,4	6,0	3,8	5,1	3,3
Sesgo U	-1,7	-0,3	-0,4	-0,3	0,9	-0,5	-0,7	0,6	-0,7	-0,4
Sesgo V	2,2	1,0	-0,6	0	0,9	0	1,2	0,1	0,4	0,3
RMS U	4,3	3,0	3,7	2,3	2,8	2,2	3,9	2,8	3,9	2,4
RMS V	4,4	3,1	4,2	2,5	3,6	2,7	4,6	2,5	3,3	2,3
Corr SPD	0,77	0,87	0,63	0,73	0,76	0,76	0,67	0,78	0,58	0,77
Corr Dir	0,81	0,86	0,75	0,78	0,80	0,92	0,81	0,76	0,88	0,84
Corr U	0,78	0,89	0,68	0,81	0,77	0,90	0,78	0,82	0,72	0,83
Corr V	0,79	0,88	0,77	0,70	0,79	0,80	0,68	0,84	0,85	0,84
Nº datos	239	298	328	287	129	168	357	264	370	325

Tabla VI. Igual que Tabla III para verano.

	Otoño		Invierno		Primavera		Verano		Anual	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
Media SPDv	9,1	7,8	14,1	13,2	12,2	9,2	7,2	5,3	10,0	8,4
Media SPDs	7,5	7,9	13,2	13,6	8,9	8,3	6,6	6,3	8,1	8,2
Sesgo SPD	1,6	-0,1	0,9	-0,4	3,3	0,9	0,6	0,1	1,8	0,2
RMS SPD	4,2	3,1	4,6	3,6	5,4	4,0	3,2	2,3	4,5	3,3
RMS Dir	70	45	25	28	56	44	60	42	60	43
absdev SPD	3,4	2,3	3,5	2,7	4,4	3,0	2,5	3,5	3,5	2,4
absdev Dir	52	31	18	21	40	28	42	28	43	28
avvect	6,6	3,8	5,4	4,6	7,8	4,6	4,7	3,1	6,2	3,9
RMSVD	7,5	4,6	6,7	5,0	8,9	6,0	5,5	3,7	7,3	4,9
Sesgo U	-3,0	-0,9	-0,3	-0,4	2,5	0,5	-0,5	-0,2	-0,5	-0,2
Sesgo V	-2,8	-0,5	1,5	0,6	3,8	1,4	0,8	0,3	0,5	0,4
RMS U	5,1	3,4	4,4	4,0	6,1	4,1	3,7	2,5	4,8	3,4
RMS V	5,4	3,1	4,9	3,4	6,3	4,3	4,0	2,6	5,4	3,5
Corr SPD	0,61	0,84	0,69	0,85	0,66	0,75	0,7	0,8	0,67	0,80
Corr Dir	0,84	0,86	0,94	0,92	0,71	0,83	0,8	0,8	0,80	0,86
Corr U	0,76	0,83	0,86	0,90	0,79	0,80	0,7	0,9	0,73	0,85
Corr V	0,75	0,90	0,86	0,91	0,71	0,78	0,8	0,8	0,76	0,86
Nº datos	1841	1455	464	498	1510	1449	1423	1342	5238	4744

Tabla VII. Igual que Tabla III para valores medios de las cuatro estaciones y para el año completo.

El RMSVD, Figura 4, toma valores más altos en primavera y en otoño que en el resto de las estaciones; hay que destacar que el RMSVD obtenido en el ya mencionado estudio realizado en Norteamérica (Davis et. al, 1995) es también apreciablemente superior en los meses de otoño que en el resto de los meses analizados en su trabajo. Los valores más bajos del RMSVD se presentan en verano y se mantiene la tendencia general de noche y día, con valores más bajos a las 12:00 UTC. Los valores obtenidos por Davis et al. (1995) son comparables a los obtenidos en este estudio: en verano de 4.1 m/s frente a 4.5 m/s de media para nuestros radares, en otoño de 7.5 m/s frente a 6 m/s y en invierno de 6.5 m/s frente a 5.8 m/s respectivamente. Algunas de las causas que señala como posibles fuentes de error de los P_VAD son las migraciones de los pájaros en otoño y primavera y el alto número de días con inversiones térmicas y nieblas en la estación de invierno (eliminado estos días, que suponen un 40% del total de las observaciones totales de la citada estación, se obtienen valores del RMSVD inferiores, del orden de 5 m/s).

Aunque los resultados, en general, son bastante similares para las cuatro estaciones hay algunas singularidades. En general, y como se ha comentado en repetidas ocasiones, el RMS tanto de la dirección como del módulo presenta valores inferiores a las 12:00 UTC que a las 00:00 UTC. En A Coruña esta condición no se cumple en otoño y en primavera, ya que aunque los valores no son muy diferentes las diferencias son menores a las 00:00 UTC. En invierno, para la dirección y los radares de Madrid, Murcia y País vasco, el RMS Dir toma valores superiores a las 12:00 UTC que a las 00:00 UTC, como se comprueba en la Figura 5, siendo en Madrid donde la diferencia es más significativa. El sesgo también presenta algunas particularidades. Aunque su valor medio, en general, es positivo, en otoño y en invierno se presentan casos en los que muestra un signo

contrario, principalmente a las 12:00 UTC, con valores en general pequeños que oscilan entre -0.1 m/s y -1.0 m/s, ambos en invierno en Madrid y Zaragoza, respectivamente. Es interesante destacar que en invierno, a las 12:00 UTC, el sesgo es negativo para todos los radares. Esto indica que en estas ocasiones los vientos estimados mediante la técnica VAD son ligeramente más débiles que los registrados por los sondeos.

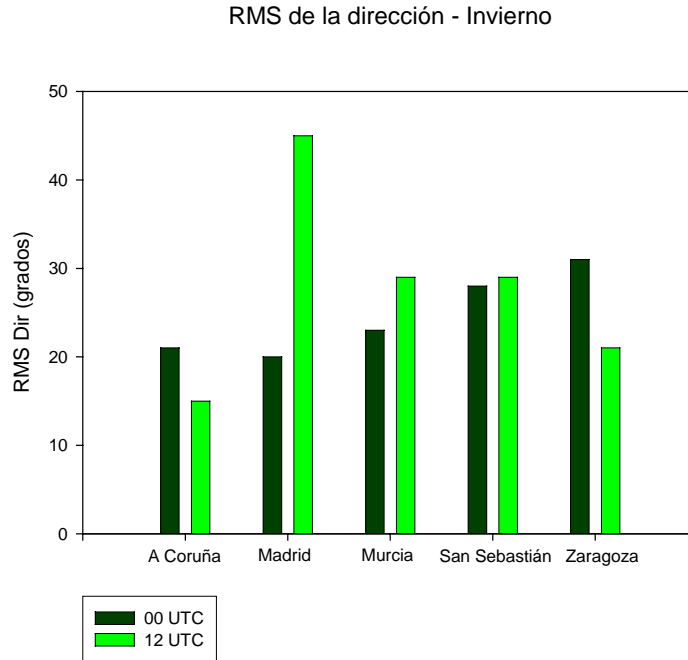


Figura 5. Raíz del error cuadrático medio de la dirección del viento para las 00:00 UTC y las 12:00 UTC en invierno.

5. ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

Una vez realizado el análisis de los perfiles completos a lo largo de un año y por estaciones se afronta un estudio similar, utilizando la misma metodología básica, pero estratificando el número de P_VAD en función de distintos criterios, basados por un lado en la intensidad de los vientos y por otro en la altitud de los niveles donde se registran.

Eliminado aquellos vientos inferiores a 5 m/s de los P_VAD los resultados indican, como se aprecia en la Figura 6 y la Tabla VIII, que tanto el RMS como el absdev de la dirección toman valores inferiores a los que se obtenían al evaluar la serie completa. El RMS medio de los cinco radares disminuye en 6° a las 00:00 UTC y en 12° a las 12:00 UTC, con valores de 54° y 31° respectivamente. Madrid vuelve a ser singular por el valor alto del RMS de la dirección a las 00:00 UTC, con un valor de 69°. La tendencia general se mantiene igual que en el caso de los perfiles completos, con menores diferencias en dirección entre los vientos VAD y los sondeos por el día que por la noche.

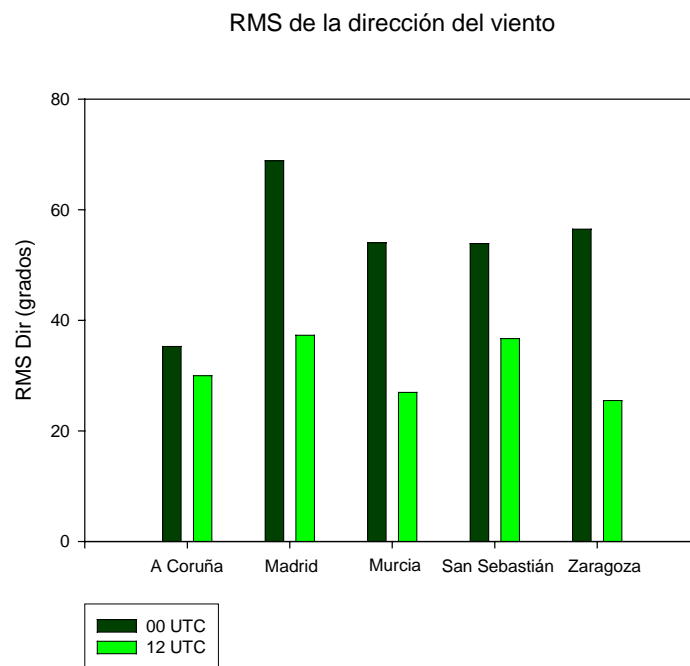


Figura 6. Raíz del error cuadrático medio de la dirección del viento para vientos de intensidad superior a 5m/s a las 00:00 UTC y las 12:00 UTC.

Al evaluar por separado aquellos datos con valores del viento VAD inferiores a 5 m/s los resultados muestran mayores diferencias del módulo entre los perfiles de viento obtenidos con el radar y los del sondeo. Los valores medios del módulo de la velocidad de los vientos VAD se encuentran entre 3-4 m/s y el RMS del módulo, en todos los casos, toma valores superiores 2 m/s. También se alcanzan valores muy altos del RMS de la dirección, con una media superior a 70° y en ocasiones superior a 90°, como es el caso de Madrid a las 00:00 UTC.

	Coruña		Madrid		Murcia		San Sebastián		Zaragoza	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
Media SPDv	14,0	12,7	11,1	9,8	10,7	9,7	11,4	10,6	10,4	9,3
Media SPDs	12,9	12,4	7,3	8,7	8,1	9,1	8,6	9,6	8,0	9,1
Sesgo SPD	1,1	0,3	3,8	1,1	2,6	0,6	2,8	1,0	2,4	0,2
RMS SPD	4,4	4,2	7,8	3,3	4,2	3,2	5,4	4,3	4,5	3,0
RMS Dir	35	30	69	37	54	27	54	37	57	25
absdev SPD	3,3	3,0	4,5	2,4	3,4	2,3	4,3	3,2	3,6	2,2
absdev Dir	24	19	49	23	38	18	38	23	41	18
avvect	5,7	4,9	7,5	4,1	5,9	3,6	7,2	4,8	6,7	3,5
RMSVD	6,8	6,4	8,5	5,4	6,8	4,5	8,2	5,9	7,8	4,3
Sesgo U	-0,7	-0,2	-0,8	1,0	-1,2	-0,3	1,6	0,3	-1,7	-0,7
Sesgo V	2,1	1,6	-0,2	0,7	-0,7	0,3	1,1	0,7	0,7	0,1
RMS U	4,1	4,1	5,6	4,2	4,4	2,6	6,1	4,2	5,2	3,3
RMS V	5,4	4,9	6,5	3,4	5,2	3,7	5,6	4,1	5,8	2,8
Corr SPD	0,84	0,81	0,56	0,80	0,76	0,80	0,54	0,68	0,56	0,76
Corr Dir	0,90	0,93	0,79	0,87	0,87	0,94	0,82	0,87	0,83	0,94
Corr U	0,90	0,89	0,63	0,80	0,81	0,92	0,70	0,79	0,69	0,88
Corr V	0,85	0,86	0,73	0,86	0,81	0,88	0,74	0,86	0,76	0,91
Nº datos	709	936	873	528	612	483	1053	705	1035	670

Tabla VIII. Valores de la media, sesgo, RMS, absdev, avvect, RMSVD y corr (ver texto para más información) obtenidos a 00:00 UTC y 12:00 UTC. SPD: módulo del viento (m/s). DIR: dirección del viento (grados). Se han excluido aquellos vientos VAD inferiores a 5 m/s. Año completo.

	Coruña		Madrid		Murcia		San Sebastián		Zaragoza	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
Media SPDv	18,2	17,2	14,0	14,6	14,4	14,7	14,7	14,9	13,5	13,7
Media SPDs	16,5	16,3	8,5	12,7	10,9	13,4	10,4	12,8	9,6	12,6
Sesgo SPD	1,7	0,9	5,5	2,0	3,5	1,3	4,3	2,1	3,9	1,1
RMS SPD	5,2	5,0	6,8	4,3	5,3	4,3	6,8	5,5	5,6	3,8
RMS Dir	21	26	49	36	39	23	41	32	52	21
absdev SPD	4,1	3,6	5,8	3,4	4,3	3,1	5,8	4,1	4,6	2,7
absdev Dir	16	15	34	18	26	14	28	18	38	17
avvect	6,5	5,7	8,1	5,1	6,6	4,4	8,2	5,7	8,0	4,2
RMSVD	7,6	7,5	9,0	6,8	7,4	5,8	9,1	7,1	8,9	5,2
Sesgo U	-0,6	-0,1	0,2	2,0	-1,1	0,0	2,6	0,8	-0,9	-0,5
Sesgo V	2,3	2,5	1,4	1,7	-0,4	0,8	1,9	1,8	1,9	0,3
RMS U	4,4	4,5	5,8	5,3	4,7	2,9	6,7	5,1	5,6	4,2
RMS V	6,2	6,0	6,9	4,2	5,7	5,0	6,2	5,0	6,9	3,1
Corr SPD	0,74	0,68	0,62	0,74	0,73	0,68	0,46	0,57	0,61	0,68
Corr Dir	0,94	0,91	0,88	0,85	0,93	0,95	0,86	0,86	0,83	0,95
Corr U	0,90	0,88	0,70	0,79	0,86	0,93	0,70	0,68	0,73	0,89
Corr V	0,84	0,84	0,80	0,89	0,87	0,89	0,80	0,90	0,80	0,94
Nº datos	436	516	470	205	288	180	558	310	487	242

Tabla IX. Igual que la tabla VIII pero excluyendo en este caso aquellos vientos VAD inferiores a 10 m/s. Año completo.

Para corroborar que cuanto más intensos son los vientos menores son las diferencias en dirección de los P_VAD y los vientos de los sondeos se ha realizado un estudio similar pero eliminando aquellos vientos inferiores a 10m/s, cuyos resultados se muestran en la Tabla IX. El RMS medio de la dirección, Figura 7, mantiene la tendencia general de peores resultados por la noche que por el día, con valores de 40° a las 00:00 UTC y de 28° a las 12:00 UTC. El absdev de la dirección a las 12:00 UTC toma valores de 16°, respecto a los 28° que se obtenían cuando se utilizaban los perfiles completos, mientras que a las 00:00 UTC decrece de 43° a 28°. Como referencia, en el citado estudio de Andersson (1998) al eliminar también, como en nuestro caso, aquellos vientos VAD con valores inferiores a 10 m/s, el absdev de la dirección en 925 hPa. disminuye de 18° a 9°.

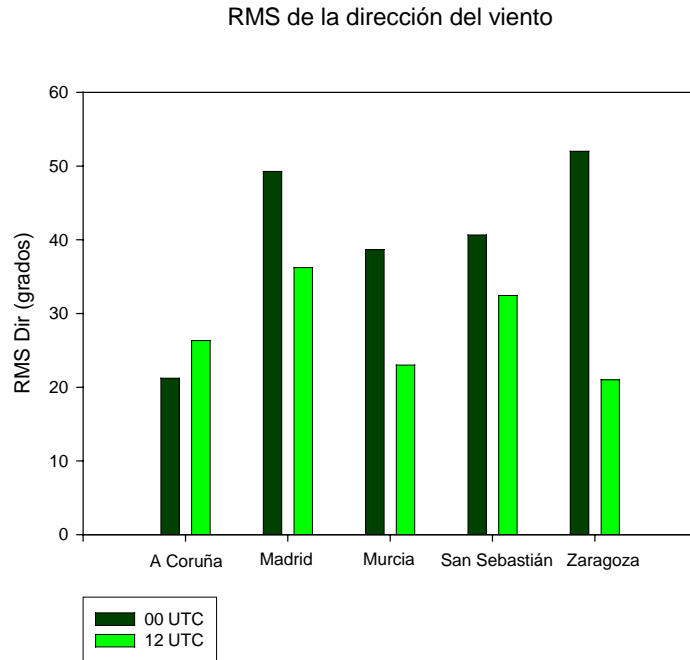


Figura 7. Raíz del error cuadrático medio de la dirección del viento para vientos de intensidad superior a 10 m/s a las 00:00 UTC y las 12:00 UTC.

Se ha realizado otro análisis adicional teniendo en cuenta el nivel donde se registran los datos VAD, es decir, separando los datos en varios estratos verticales, concretamente entre la altitud del radar y 1500 m., entre 1500 m. y 3000 m. y por encima de 3000 m. Los resultados, como cabría esperar, Tabla X, muestran que en niveles superiores la intensidad del viento es en general mayor y, por lo tanto, las diferencias en dirección entre los vientos VAD y los sondeos menores.

	Nivel del radar - 1500 m		1500 m - 3000 m		más de 3000 m	
	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
RMS DIR	58	47	61	41	39	31
Absdev Dir	42	32	43	26	27	17
nº datos	2183	2218	2666	2218	389	308

Tabla X: Valores del RMS y absdev a las 00:00 UTC y 12:00 UTC. DIR: dirección del viento (grados). Separación de los datos según niveles verticales en varios estratos.

6. CONCLUSIONES

De la comparación de los perfiles de viento VAD con los vientos registrados por los radiosondeos para un año completo, periodo comprendido entre el 1 de septiembre del 2002 y el 31 de agosto del 2003, y para los cinco lugares donde el radiosondeo y el radar se encontraban próximos, se puede concluir que tanto la raíz del error cuadrático medio (RMS) del módulo como de la dirección toman valores más altos a las 00:00 UTC que a las 12:00 UTC, con valores medios de 4.5 m/s y 3.3 m/s y de 60° y 43°, respectivamente.

En todos los casos el sesgo del módulo del viento es positivo, excepto en Zaragoza a las 12:00 UTC donde es negativo con un valor muy bajo de -0.2 m/s, indicando que los vientos obtenidos mediante la técnica VAD son ligeramente más intensos que los de los sondeos, con valores promedio para todos los radares de 1.8 m/s a las 00:00 UTC y 0.2 m/s a las 12:00 UTC.

La tendencia de menores diferencias a las 00:00 UTC que a las 12:00 UTC se mantiene también para el error cuadrático medio del vector diferencia, RMSVD, que toma valores de 7.3 m/s a las 00:00 UTC y de 4.9 m/s a las 12:00 UTC.

El comportamiento de los datos VAD de los cinco radares frente a los sondeos correspondientes es muy similar, aunque hay que destacar el caso de Madrid a las 00:00 UTC, donde se alcanzan valores extremos del RMS de la dirección y el módulo y del RMSVD. Estos valores extremos deben atender principalmente a causas distintas a la distancia existente entre el radar y el sondeo de Madrid, ya que esta es de solo 34 Km, en todo caso menor que en Zaragoza y País Vasco y del orden de la de Murcia.

Estos resultados se mantienen, en general, al realizar un análisis estacional a lo largo del año, y aunque las diferencias son pequeñas se presentan algunas particularidades. En invierno el RMS de la dirección, coincidiendo también con un valor medio de la intensidad del viento superior al resto del año, es del orden de 25°, sensiblemente inferior que en las otras tres estaciones. También el RMSVD presenta diferencias, con valores más elevados en primavera y otoño que en el resto del año, 7.4 m/s y 6 m/s en valor medio frente a 4.5 m/s y 5.8 m/s en verano e invierno respectivamente.

Las conclusiones obtenidas coinciden, en general, con distintos estudios similares realizados en Suecia y EE.UU., donde se señalan como principales fuentes de error las migraciones de pájaros, que se producen básicamente de noche en otoño y primavera, aunque también se obtienen peores resultados cuando existen inversiones térmicas y nieblas, y, en general, en condiciones de marcada estabilidad.

Los vientos VAD presentan diferencias menores en dirección respecto de los sondeos cuanto mayor es su intensidad. Aquellos vientos inferiores a 5 m/s muestran valores del RMS, tanto en dirección como en módulo, y del RMSVD sensiblemente superiores a la media. Si por el contrario de la serie completa se eliminan los vientos inferiores a 5 m/s el RMS Dir toma valores de 54° a las 00:00 UTC y de 31° a las 12:00 UTC. Al eliminar de los P_VAD aquellos vientos menores de 10 m/s el RMS en dirección disminuye todavía más, a 40° y 28°, respectivamente.

En resumen, las diferencias entre los perfiles VAD y los sondeos son menores a las 12:00 UTC que a las 00:00 UTC y el RMS medio de la velocidad se encuentra alrededor de los 4 m/s. Además, cuanto mayor es la intensidad del viento menores son las diferencias en dirección, manteniéndose la tendencia de peores resultados a las 00:00 UTC.

Los resultados de este estudio confirman los presentados en la NT 40, cuando el análisis se realizó únicamente para las estaciones de otoño e invierno, y permiten afirmar que los vientos VAD poseen la calidad suficiente para ser usados de forma operativa en las tareas de vigilancia, predicción inmediata y predicción a muy corto plazo, siempre y cuando se tengan en cuenta las consideraciones anteriores.

BIBLIOGRAFÍA

Andersson, T, 1998: VAD winds from C band Ericsson Doppler Weather Radars. *Meteor. Zeitschrift* 7, 309-319.

Browning, K.A., and R. Wexler, 1968: The determination of kinematic properties of a wind field using Doppler radar. *J. Appl. Meteor.*, 7, 105-113.

Conejo, S., y Elizaga, F. Aplicación a la vigilancia y predicción inmediata de los perfiles de viento derivados de radares meteorológicos Doppler. Nota Técnica STAP N°40, INM, 2003.

Davis, J. L., R. R. Lee, J. L. Ingram, 1995: Comparing rawinsonde and WSR-88D wind profiles. *Preprints, 27 th Conf. Radar Meteor.*, Vail, Colorado, 409-411.

Martín, F., 2001: Un breve recorrido por la técnica VAD: vientos estimados mediante radar Doppler. Publicación interna del INM.

O'Bannon, T., 1995: Anomalous WSR-88D wind profiles – migrating birds?. *Preprints, 27 th Conf. Radar Meteor.*, Vail, Colorado, 663-665.