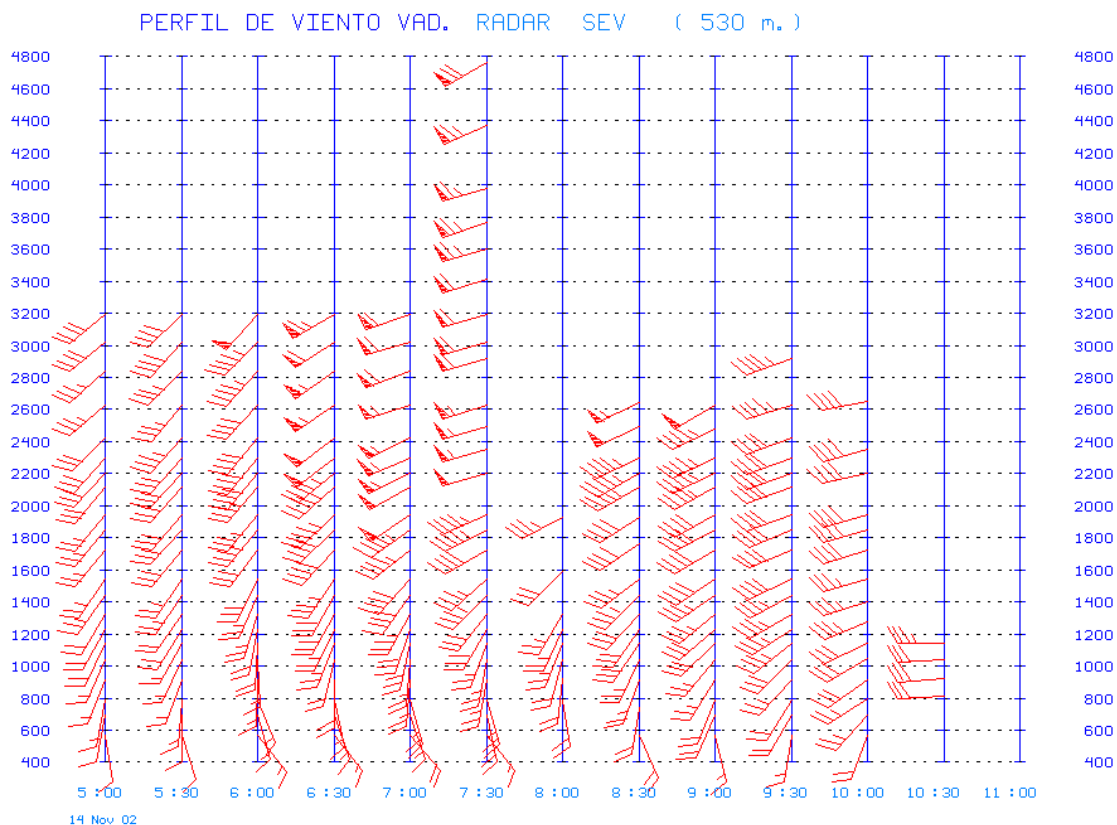


# APLICACIÓN A LA VIGILANCIA Y PREDICCIÓN INMEDIATA DE LOS PERFILES DE VIENTO DERIVADOS DE RADARES METEOROLÓGICOS DOPPLER

## NOTA TÉCNICA S.T.A.P. N° 40



Ejemplo de uno de los productos actualmente disponibles para la explotación de datos VAD. Presentación gráfica de la evolución temporal de los perfiles de viento VAD para el periodo 05:00 UTC-11:00 UTC del día 14 de noviembre de 2002, obtenidos con los datos proporcionados por el radar de Sevilla

**Sara Conejo Jorge\***  
**Fermín Elizaga Rodríguez**

*Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción (S.T.A.P.)*  
Area de Predicción y Aplicaciones  
Subdirección General de Redes, Sistemas y Producción Meteorológica

\* Beca de formación de postgraduados 2002-2003

# INDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ACTIVIDADES PREVIAS EN EL INM .....</b>	<b>5</b>
<b>3. INGESTIÓN DE DATOS VAD A MCIDAS .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Características específicas de los ficheros MD.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2. Generación de los MD .....</b>	<b>9</b>
<b>4. COMANDOS DE USUARIO .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1. Comando YVAD.....</b>	<b>14</b>
<b>4.2. Comando YVADMG .....</b>	<b>16</b>
<b>4.3. Productos VAD en la Intranet del INM.....</b>	<b>18</b>
<b>5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PERFILES DE VIENTO VAD Y DE LOS DATOS DE VIENTO DE RADIOSONDEOS .....</b>	<b>19</b>
<b>5.1. Metodología.....</b>	<b>19</b>
<b>5.2. Resultados del análisis en otoño .....</b>	<b>21</b>
<b>5.2.1. Análisis de los perfiles VAD utilizando todos los vientos.....</b>	<b>24</b>
<b>5.2.2. Análisis complementarios.....</b>	<b>29</b>
<b>5.3. Resultados del análisis en invierno .....</b>	<b>33</b>
<b>5.4. Análisis de algunos perfiles VAD obtenidos en días con precipitación.....</b>	<b>36</b>
<b>5.5. Conclusiones .....</b>	<b>39</b>
<b>6. APLICACIÓN DE LOS DATOS VAD A SITUACIONES ESPECÍFICAS .....</b>	<b>41</b>
<b>6.1. Chorro en niveles bajos .....</b>	<b>41</b>
<b>6.2. Banda de precipitación sobre Madrid.....</b>	<b>45</b>
<b>6.3. Sistema frontal en el NW peninsular .....</b>	<b>49</b>

<b>7. USO COMBINADO DE LOS PERFILES DE VIENTO VAD E IMÁGENES DE VIENTO RADIAL DOPPLER. EJEMPLOS .....</b>	<b>53</b>
7.1. <i>A Coruña, 29 de octubre de 2002 .....</i>	53
7.2. <i>Zaragoza, 6 de noviembre de 2002 .....</i>	54
7.3. <i>Sevilla, 14 de noviembre de 2002 .....</i>	56
7.4. <i>Sevilla, 19 de noviembre de 2002 .....</i>	58
7.5. <i>Las Palmas, 16 de diciembre de 2002 .....</i>	59
7.6. <i>Sevilla, 17 de diciembre de 2002 .....</i>	61
7.7. <i>A Coruña, 20 de enero de 2003 .....</i>	62
7.8. <i>Valladolid, 20 de enero de 2003 .....</i>	64
7.9. <i>A Coruña, 22 de enero de 2003 .....</i>	66
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>68</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>70</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>71</b>

## **RESUMEN**

El principal objetivo del proyecto que aquí se presenta ha sido sentar las bases para avanzar hacia un mejor y más extenso uso de los datos VAD en el entorno operativo de predicción del INM. Para ello se ha desarrollado un procedimiento de ingestión de datos VAD a McIDAS, así como varios comandos de usuario para facilitar el acceso a esta información y permitir obtener el último perfil de vientos VAD y la evolución temporal de los perfiles. La calidad de estos datos se ha evaluado mediante un análisis comparativo de los perfiles de viento VAD y los datos de vientos de radiosondeos. Se ha comprobado también su utilidad en relación con las actividades de diagnóstico y predicción, pudiendo ser una herramienta muy importante a la hora de complementar la información ofrecida por las imágenes de viento radial Doppler.

Este proyecto ha estado enmarcado dentro de las becas de Formación de Postgraduados que se convocaron en el BOE de 23 de noviembre de 2001, concretamente en la beca: “***Aplicación a la vigilancia y predicción inmediata de los perfiles de viento derivados de radares meteorológicos Doppler***”. 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 periodo comprendido entre abril de 2002 y marzo de 2003 se ha desarrollado un proyecto cuyo objetivo principal ha sido avanzar hacia una mayor y más adecuada utilización de los datos VAD (Velocity Azimuth Display) en el entorno operativo de predicción del INM, tanto por lo que respecta a las actividades generales de vigilancia, como a las actividades específicas aeronáuticas. El VAD es una técnica que estima un conjunto de propiedades del campo de viento en la vertical de un radar Doppler, como la velocidad horizontal, la divergencia y la velocidad vertical, entre otras.

Las primeras actividades se centraron en la realización de un estudio y análisis detallado de los aspectos básicos relativos a la técnica y a los productos VAD, así como del algoritmo y programas usados actualmente en los Centros Regionales Radar del INM.

Posteriormente se desarrolló un procedimiento de ingestión de datos VAD a McIDAS. De esta forma se hace posible la obtención de productos que tengan en cuenta una evolución temporal, así como el acceso a datos históricos. Este procedimiento se explica de forma detallada en el capítulo 3.

Se han desarrollado también nuevas aplicaciones para facilitar el acceso de los usuarios a esta información, como se describe en el capítulo 4. Concretamente se han creado dos nuevos comando McIDAS; el primero permite la visualización de un perfil vertical y su hodógrafa correspondiente, y con el segundo es posible obtener una evolución temporal de los perfiles de viento. Actualmente existe, además, una página en la intranet del INM, que se actualiza cada media hora y permite el acceso de los usuarios al último perfil VAD y a la evolución temporal de las últimas seis horas.

En el capítulo 5 se presenta una evaluación de la calidad de los vientos VAD mediante la comparación con datos de radiosondeos, para aquellos radares que se encuentran a una distancia relativamente pequeña del punto de lanzamiento del globo sonda, comprobándose que las diferencias entre ambos vientos son suficientemente pequeñas para poder concluir que los datos VAD, en la mayor parte de las ocasiones, representan con fiabilidad el régimen de vientos en las cercanías del radar y pueden ser usados en tareas operativas.

Por último en los capítulos 6 y 7 se presentan distintas situaciones escogidas en las que se puede comprobar la información complementaria que ofrecen los datos VAD a la hora de realizar análisis de distintas situaciones, así como su aplicabilidad para ayudar a interpretar las imágenes de viento radial Doppler.

## 2. ACTIVIDADES PREVIAS EN EL INM

El programa que actualmente se está utilizando en los Centros Regionales Radar para el cálculo de los vientos VAD está basado en el **método de análisis de armónicos de Browning and Wexler** (1968), válido para situaciones en las que ni el campo de velocidades del viento ni el campo de velocidad de caída de precipitación son horizontalmente uniformes, siempre que se tomen ciertas medidas para minimizar estos efectos.

Sin entrar en los detalles del método de Browning and Wexler ni en su desarrollo matemático, vamos a explicar brevemente, en líneas generales, como se realiza el cálculo de los vientos VAD.

El VAD (Martín, 2002) 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 ( $\alpha$ ), una determinada altura ( $r \sin \alpha$ ), en un rango próximo a él de aproximadamente 25 Km, y rotando la antena en azimut ( $\beta$ ) en un barrido de 360°. Variando el ángulo de elevación es posible ir obteniendo datos VAD a diferentes alturas. A una altura dada se estima el viento horizontal VAD,  $V_h$ , a partir de un conjunto de parámetros relacionados con el viento radial,  $V_r$ , Figura 2.1.

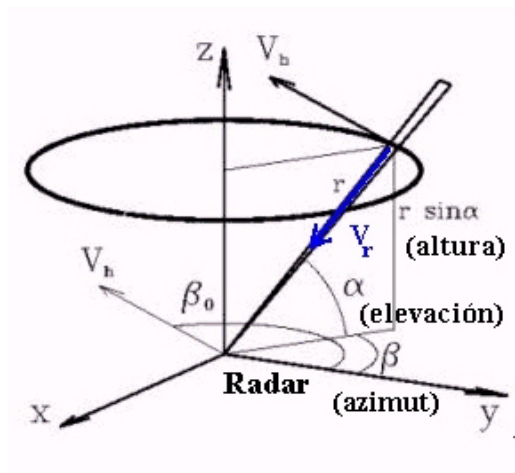


Figura 2.1. Geometría asociada a la técnica VAD (Martín, 2000)

Los datos de la velocidad radial se pueden representar en función del azimut, lo que daría lugar a una función en forma de onda sinusoidal que Browning and Wexler descomponen en una serie de Fourier. El armónico de orden cero nos permite calcular la divergencia, el de orden 1 el módulo y la dirección del viento horizontal y el de orden 2 nos dará la deformación y la orientación de los ejes de deformación. Utilizando la divergencia a distintos niveles y la ecuación de continuidad se pueden obtener las velocidades verticales.

Además la aplicación VAD del INM suministra otro valor, la raíz del error cuadrático medio (RMS) de las desviaciones entre los datos medidos y la onda ajustada.

Browning and Wexler consideran una serie de limitaciones debidas tanto al efecto de la inhomogeneidad en la velocidad de caída de la precipitación como al efecto de la cizalladura vertical del viento, obteniendo unas limitaciones en el ángulo de elevación de 9° para lluvia y 27° para nieve, y una distancia horizontal al radar,  $r$ , en torno a unos 20 Km. Entre los principales parámetros que podrían ser objeto de modificación dentro del algoritmo de generación de los perfiles de vientos VAD se encuentran los citados ángulos de elevación y el valor de la isocero (que normalmente en el INM se encuentra fijo e igual a 2000 m.). Los datos VAD que van a ser objeto de estudio en este trabajo se han obtenido siempre utilizando los parámetros que en cada momento estaban definidos en los Centros Regionales.

Los vientos obtenidos mediante la técnica VAD han estado disponibles durante varios años en el INM pero no han entrado a formar parte, al menos de forma generalizada, de los procedimientos operativos existentes en relación con la vigilancia atmosférica. Hasta abril de 2002 en el entorno operativo se disponía sólo del último perfil de vientos VAD generado cada media hora en los Centros Regionales Radar (13 en la Península y otro en Canarias). Dicho fichero solapaba a los anteriores, ya que no existía ningún proceso de almacenamiento. Esta falta de datos, al disponer tan solo del perfil generado en la última media hora, impedía la elaboración de productos que tuviesen en cuenta una evolución temporal, con la consiguiente pérdida de información para las actividades de vigilancia.

El último perfil de datos VAD se podía visualizar en una terminal de trabajo McIDAS utilizando el comando INFORAD, desarrollado por el Servicio de Teledetección, y la salida era gráfica y/o en un fichero en formato texto. En la Figura 2.2 se muestra un ejemplo de la salida gráfica del comando INFORAD.

PERFIL DE VIENTO VAD.		NIVEL	D. VHOR	V. VHOR	V. VVER	DIVER.	RMS
RADAR	OVAL	250	16	4	0.0	-10.9	0.8
FECHA	31 : 03 : 03	407	350	4	0.0	-58.2	0.6
HORA	10 : 30	512	4	4	0.0	-57.4	1.0
		566	353	4	0.0	104.1	0.7
PARAMETROS OPERATIVOS		648	330	4	0.0	-7.6	0.6
		735	336	4	0.0	30.6	1.1
ECOS ..	AIRE CLARO	826	341	4	0.0	41.9	1.0
ISOCERO	2000.0	866	333	4	0.0	-51.2	1.0
CLUTTER	NO	1012	325	4	0.0	-3.4	1.0
NIVELES	44	1081	332	4	0.0	23.6	0.8
		1159	330	4	0.0	-6.7	1.0
UNIDADES		1231	327	3	0.0	-1.0	0.8
		1300	351	4	0.0	32.5	1.0
NIVEL	METROS	1379	334	4	0.0	4.6	0.7
D. VHOR	GRADOS	1527	339	3	0.0	-12.4	0.7
V. VHOR	M/SG	1550	341	3	0.0	-1.7	0.9
V. VVER	M/SG	1677	335	3	0.0	9.0	0.7
DIVER.	SG <sup>-1</sup> *1000	1678	342	3	0.0	7.9	0.6
RMS ..	M/SG	1727	337	3	0.0	-5.3	0.7
		1749	338	3	0.0	-77.7	1.1
ND ..	NO DATO	1856	332	3	0.0	-25.1	0.7
		1959	343	4	0.0	3.2	0.7
		1973	332	3	0.0	-50.4	0.7
		2125	331	4	0.0	-98.2	1.4
		2197	324	3	0.0	-54.3	0.7
		2298	327	4	0.0	-66.6	0.8
		2396	321	3	0.0	-34.6	0.8
		2423	329	3	0.0	-52.0	0.6
		2940	324	4	ND	-45.1	0.7
		2948	316	5	ND	1.5	0.8

1

Figura 2.2. Ejemplo de la presentación del comando INFORAD en un terminal McIDAS

McIDAS

### **3. INGESTIÓN DE DATOS VAD A McIDAS**

Con objeto de solucionar algunos de los problemas asociados a la explotación operativa de los datos VAD se ha desarrollado e implementado un procedimiento de ingestión de estos datos en McIDAS, el cual permite acceder a los vientos VAD de los distintos radares de los diez últimos días.

Una vez analizadas las distintas posibilidades existentes para almacenar estos datos en McIDAS se ha optado por utilizar una estructura de tipo MD (Meteorológica Data). Los archivos MD son habitualmente usados para aquellos datos atmosféricos que presentan una distribución espacial irregular, como pueden ser, por ejemplo, los datos synop, los obtenidos de barcos, radiosondeos, rayos... etc.

Un archivo MD se caracteriza por su estructura y por la habilidad para contener observaciones de distinta procedencia. Conceptualmente se puede entender como una matriz de dos dimensiones de datos colocados en filas y columnas, con una cabecera de fila y otra de columna. Normalmente las filas se utilizan para almacenar diferentes horas y las columnas para las distintas estaciones o lugares de observación. En cada celda se pueden almacenar datos de distinta naturaleza, por ejemplo, velocidad y dirección del viento, altura de las olas, presión atmosférica, temperatura... etc.

Toda la información necesaria para acceder al fichero está en una cabecera de 64 palabras que se encuentra al principio del fichero. Dentro de la cabecera se incluyen el tipo de esquema, en el cual se especifican el número de filas y columnas, así como los datos y los nombres, factores de escala y unidades de los parámetros que se van a almacenar.

#### ***3.1. Características específicas de los ficheros MD***

Cada archivo MD de datos VAD está formado por 20 columnas y 48 filas, que se corresponden estas últimas con los 48 intervalos de media hora que existen al día. En cada columna se almacena la información de un radar determinado, por lo que actualmente sólo hay 14 columnas ocupadas de las 20 de las que se dispone.

En la cabecera de fila se almacenan el día y la hora, mientras que la de columnas se encuentra ocupada por el nombre del radar, su latitud, longitud y altitud.

Los datos almacenados en el MD son, por un lado, el valor de la isocero usado para la obtención de los datos VAD y el número de niveles con datos y, por otro, un grupo de datos que se repiten para cada nivel disponible, en los que se guarda información del viento (velocidad y dirección), velocidad vertical, divergencia y error cuadrático medio.

Toda esta información, junto con el factor de escala de las variables y sus unidades se encuentra definida en el esquema VAD, que como se ha mencionado con anterioridad es necesario haber diseñado con anterioridad. A continuación se muestra el esquema VAD utilizado actualmente:

```

NAME: VAD   VERSION: 1   DATE: 2002160   TEXTID: "DATOS VAD
-----
      DEFAULT NUMBER OF ROWS: 48   INTEGER ID: 0
              COLS: 20   MISSING DATA VALUE: -2139062144

REPEAT GROUP:  NUMBER OF REPETITIONS: 60
                  STARTING POSITION: 9
                  SIZE: 6

NUMBER OF KEYS IN ROW HEADER: 2
              COL HEADER: 4   STARTING AT POSITION 3
              DATA RECORD: 362   STARTING AT POSITION 7
              -----
                          368 TOTAL
    
```

KEY	SCALE	UNIT	KEY	SCALE	UNIT	KEY	SCALE	UNIT
DAY	0	CYD	TIME	0	HMS	RAD	0	CHAR
LAT	4	DEG	LON	4	DEG	ZS	0	M
ISOC	0	M	NLEV	0		Z	0	M
DIR	0	DEG	SPD	2	MPS	W	2	MPS
DVG	2		RMS	2				

El significado de las distintas variables (keywords) es el siguiente:

- DAY “ Día en juliano
- TIME “ Hora de los datos
- RAD “ Nombre del radar con tres letras
- LAT “ Latitud del radar
- LON “ Longitud del radar
- ZS “ Altitud del radar
- ISOC “ Altura de la isocero
- NLEV “ Número de niveles en los que se dispone de datos VAD
- Z “ Altura de cada nivel
- DIR “ Dirección del viento
- SPD “ Velocidad del viento
- W “ Velocidad vertical
- DVG “ Divergencia
- RMS “ Error cuadrático medio

### 3.2. Generación de los MD

Para la generación de los MDs de datos VAD se ha desarrollado el programa **YVADGEN**. Este programa, de ejecución automática, se encarga de elegir el fichero MD, inicializarlo, rellenar la cabecera de fila y, si ha sido posible establecer la conexión y realizar la lectura de los datos VAD, escribirlos en el archivo MD correspondiente.

Actualmente se mantienen los datos de 10 días en 10 ‘mdfiles’ operativos, utilizando el convenio usual en McIDAS según el cual el último dígito del día en juliano es la referencia para usar los distintos ‘mdfiles’. Así, los datos del día 2002242 estarán en la posición 2 del ‘dataset’ donde se estén almacenando.

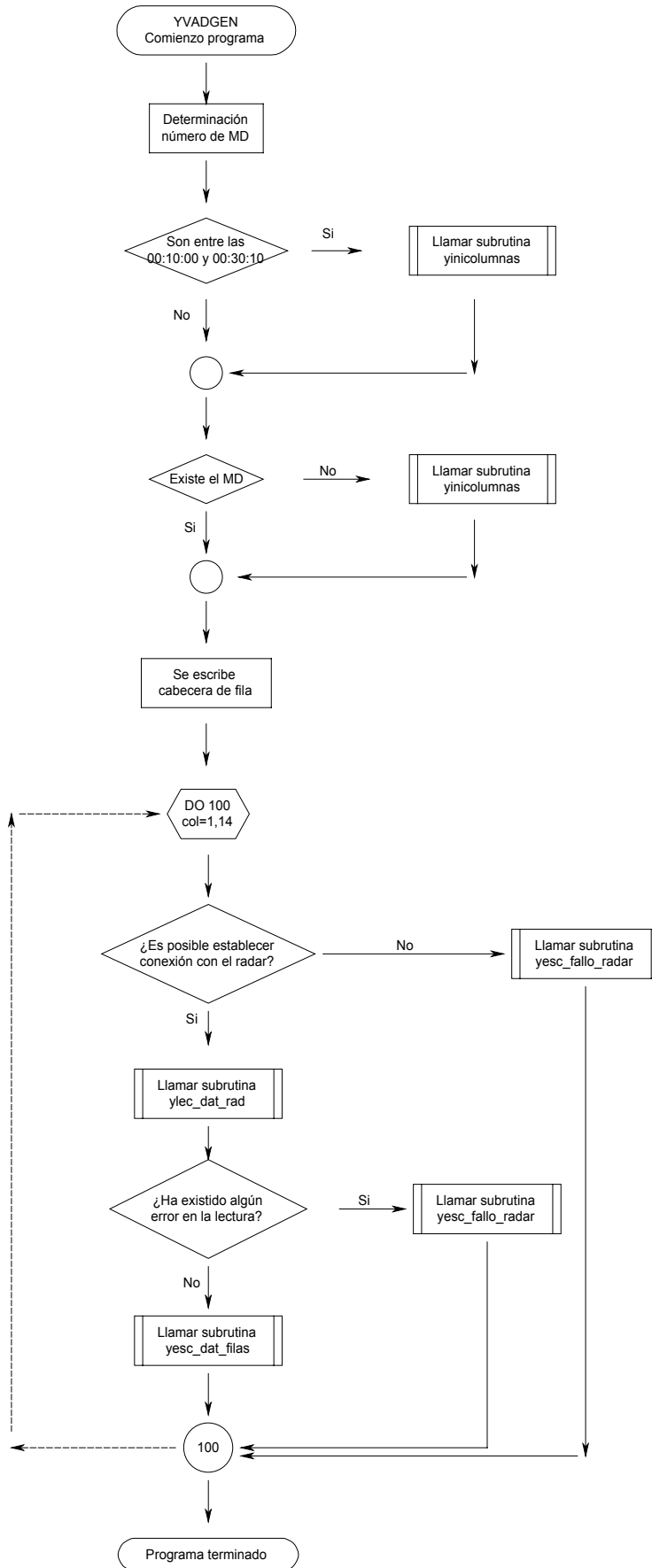
El programa YVADGEN utiliza cuatro subrutinas:

- yinicolumnas: borra el archivo MD de datos VAD antiguo y crea uno nuevo, lo inicializa y rellena las cabeceras de columnas.
- ylecdatrad: lee los datos VAD de los radares y los almacena en una variable, devolviendo un código de error en el caso de que se produjera algún fallo en la lectura.
- yescfallo\_radar: si no se establece conexión con el servidor radar regional o falla la lectura se escribe un control de error en el número de niveles.
- yescdatfilas: escribe los datos en la fila y la columna correspondiente, comprobando la coincidencia de fecha y hora de los datos VAD leídos. Introduce un control de error en el caso de no coincidir.

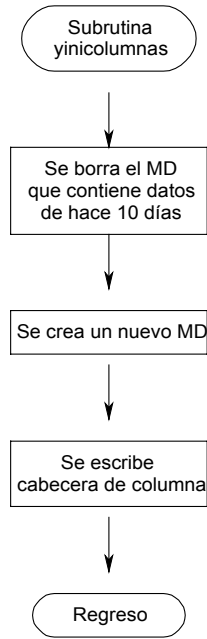
El programa YVADGEN se ejecuta automáticamente (actualmente en la máquina ANDROMEDA) cada media hora, concretamente a las HH:12 y HH:42, ya que los datos VAD de los radares están disponibles a partir de HH:10 y HH:40.

A continuación se presentan los diagramas de flujo del programa principal y de las subrutinas utilizadas.

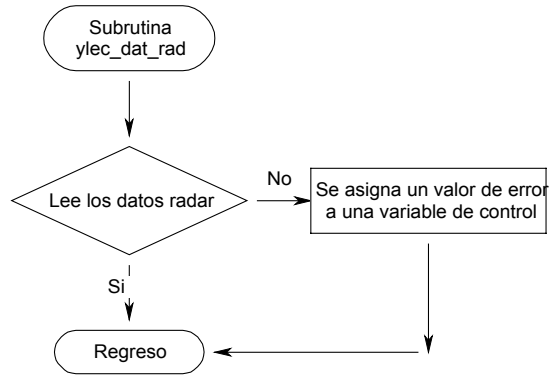
### - Programa principal YVADGEN



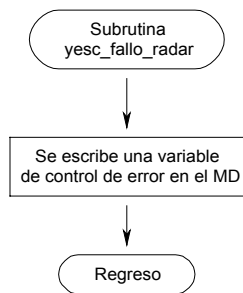
- Subrutina yinicolumnas



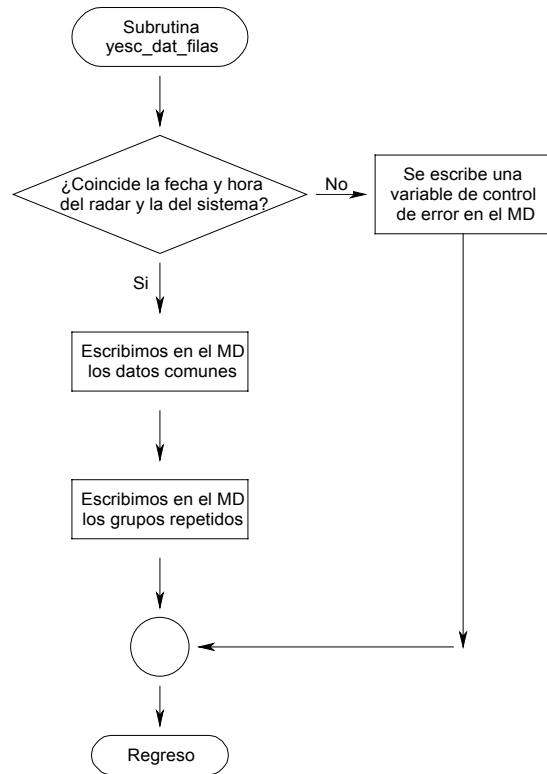
- Subrutina ylec\_dat\_rad



- Subrutina yesc\_fallo\_radar



- Subrutina yesc\_dat\_filas



## 4. COMANDOS DE USUARIO

Para facilitar el acceso de los usuarios a la información contenida en el MD se han desarrollado dos comandos, uno para la visualización de un perfil vertical de viento y su hodógrafa correspondiente y otro para la obtención de una evolución temporal de los perfiles. Los comandos utilizan siempre el gráfico actual para mostrar los resultados.

El MD de datos VAD se almacena en entorno distribuido y para poder tener acceso a esos datos es necesario dar de alta la dirección de la máquina donde está el grupo RADARV, que es en la actualidad donde se almacenan los archivos MD operativos. Esta dirección IP es 193.144.156.30 (máquina ANDROMEDA). Si no se realiza esta operación los comandos de visualización no funcionarán, ya que no serán capaces de encontrar los datos necesarios.

Además de estos dos nuevos comandos se pueden usar los comandos básicos existentes en McIDAS para el manejo de datos MD, PTLIST Y PTDISP. En la Figura 4.1 se muestra un ejemplo de aplicación de este último, en el que se presenta el primer viento VAD en los estratos 500-1000 m., 1000-1500 m., 1500-2000 m., 2000-2500 m. y 2500-3000 m. en distintos colores, amarillo, azul claro, verde, rojo y azul oscuro respectivamente.

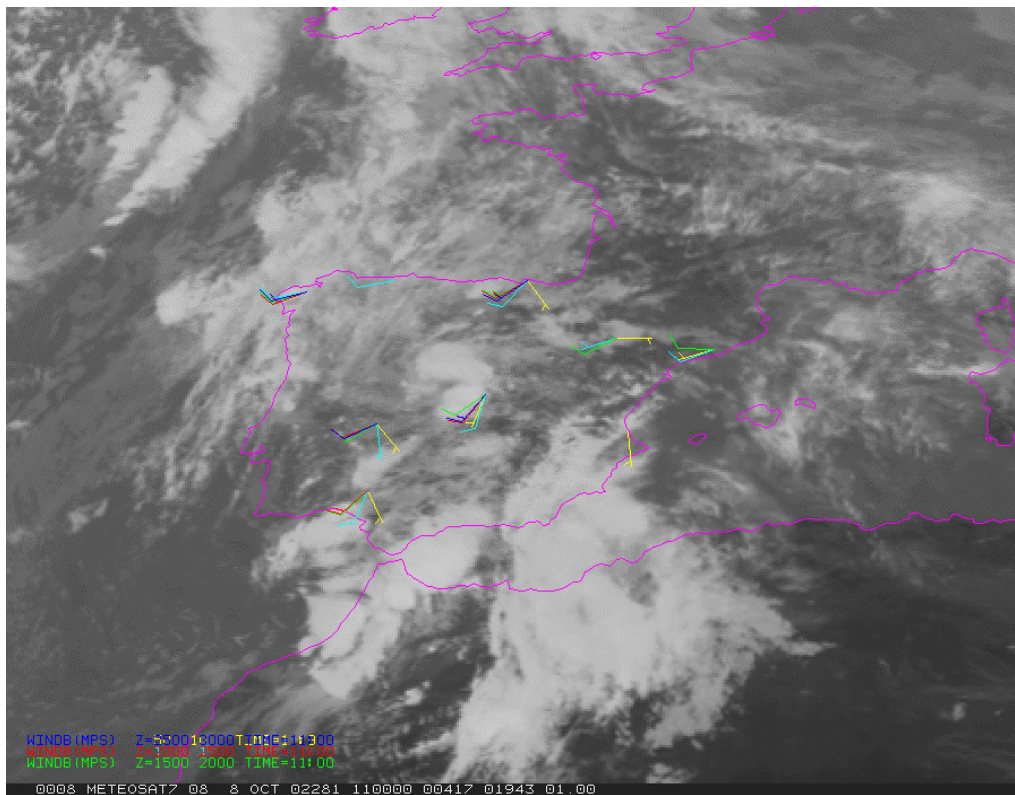


Figura 4.1. Ejemplo de utilización del comando PTDISP para presentación de datos VAD.

Los nuevos comandos disponibles son los siguientes:

- YVAD: Visualización de un perfil vertical de vientos VAD
- YVADMG: Visualización de una evolución temporal de perfiles de vientos VAD

#### 4.1. Comando YVAD

El comando YVAD visualiza en la pantalla el perfil vertical del viento de los datos VAD de los radares, además de los valores de distintos parámetros obtenidos mediante la técnica VAD, divergencia, velocidad vertical y error cuadrático medio. Dibuja también una hodógrafa, representando en distintos colores tres intervalos de niveles de altitud, entre 0 y 2000 m. en blanco, entre 2000 y 4000 m. en amarillo y a partir de los 4000 m. en azul.

La sintaxis del comando es la siguiente:

**YVAD radar hora <keywords>**

- Parámetros:

**radar** = radar cuyos datos queremos visualizar, utilizando tres letras estándar. (Def. radar de Madrid, MAD)

A Coruña	COR
Asturias (CMT Santander)	SAN
Vizcaya (CMT San Sebastián)	SSE
Palencia (CMT Valladolid)	LID
Zaragoza	ZAR
Barcelona	BAR
Cáceres (CMT Badajoz)	BAD
Madrid	MAD
Valencia	VAL
Sevilla	SEV
Murcia	MUR
Almería	ALM
Málaga	MAL
Las Palmas	LPA

**hora** = hora (Def. actual más cercana a 00 o 30 minutos). Se aceptan los formatos usuales McIDAS: hh, hh:mm, hh:mm:ss, etc.

- Keywords:

**DAY** = día en juliano (Def: actual). Formato CCYYDDD, YYDDD o DDD.

**WIND** = opción que permite plotear todos los vientos en el perfil vertical o solamente aquellos que se puedan visualizar correctamente. ALL: se plotean todos los vientos. (Def. se visualizan aquellos que no se solapen entre sí)

**UNIT** = unidades del viento: KT, MPS, KPH. (Def. KT)

**ALTitud** = altitud (m.) máxima del eje en el que se plotean los datos. El valor mínimo debe ser superior a 400 m. o a la altitud del radar. Valor máximo 6000 m. Permite obtener una ampliación de los datos ploteados. (Def. elección automática del eje, dependiendo de la altitud del nivel más alto)

**DATaset** = GRUPO/DATASET.POSICION del fichero MD donde se encuentran almacenados los datos de viento. (Def. RADARV/VAD.día actual)

Comentarios: las Keyword DATaset es necesaria, por ejemplo, para casos de estudio almacenados y es incompatible con el uso de la keyword DAY.

Ejemplo de salida gráfica:

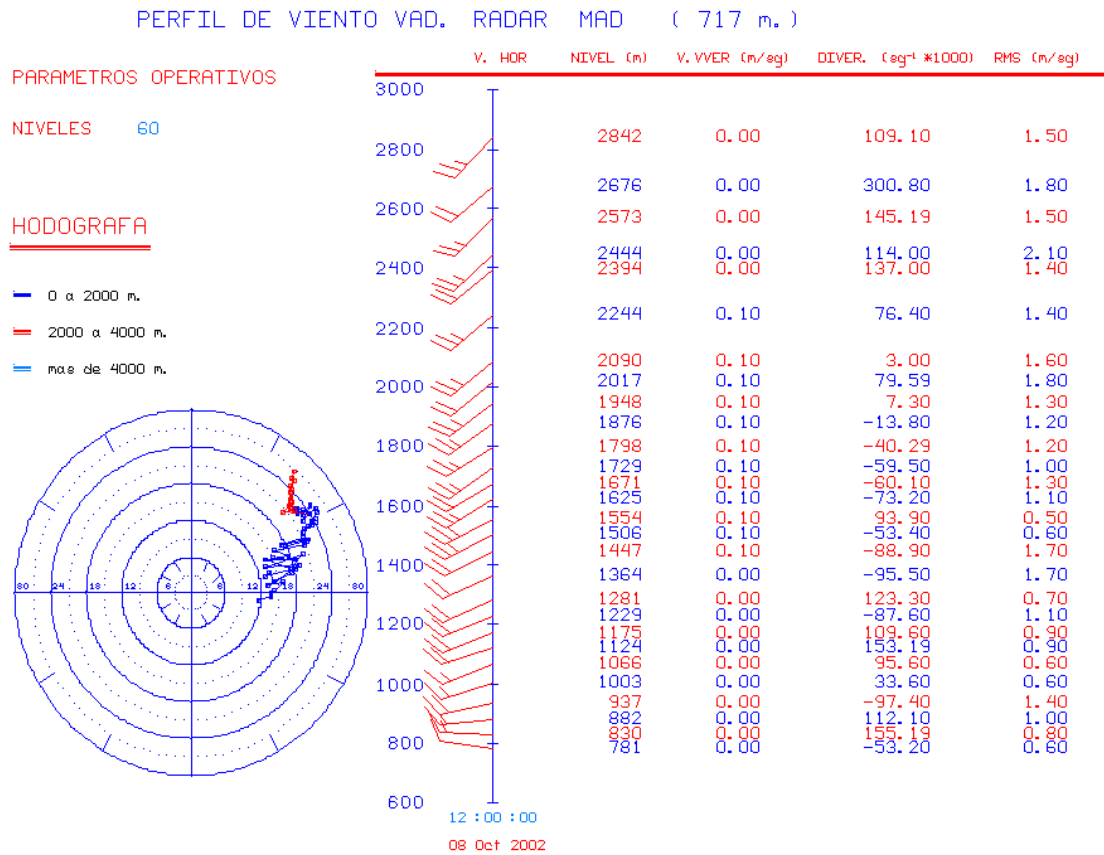


Figura 4.2. Ejemplo de la presentación del comando YVAD en pantalla gráfica.

## 4.2. Comando YVADMG

El comando YVADMG presenta una evolución temporal de perfiles verticales de viento VAD.

La sintaxis del comando es la siguiente:

**YVADMG radar intervalo <keywords>**

- Parámetros:

**radar** = radar cuyos datos queramos visualizar, utilizando tres letras estándar. (Def. radar de Madrid, MAD)

**intervalo** = número de horas en las que deseamos obtener los perfiles verticales de viento, hasta un máximo de 6. (Def. 3 horas, siete perfiles)

- Keywords:

**TIME** = hora del último perfil a visualizar. (Def. actual más cercana a 00 o 30 minutos). Se aceptan los formatos usuales McIDAS: hh, hh:mm, hh:mm:ss, etc.

**DAY** = día en juliano (Def. actual). Formato CCYYDDD, YYDDD o DDD.

**WIND** = opción que permite plotear todos los vientos en el perfil vertical o solamente aquellos que se puedan visualizar correctamente. **ALL**: se plotean todos los vientos. (Def. se visualizan aquellos que no se solapan entre sí)

**UNIT** = unidades del viento: KT, MPS, KPH. (Def. KT)

**OPTion** = opción de plotear la sucesión de perfiles con los vientos obtenidos por la técnica VAD, a sus niveles correspondientes por encima de la altitud del radar o interpolados a niveles fijos. (Def. se plotean los vientos estimados)

**NON**: vientos obtenidos por la técnica VAD.

**INT**: vientos a niveles fijos obtenidos mediante una interpolación lineal, de 100 en 100 m. hasta los 3000 m. y de 200 en 200 m. a partir de dicha altitud y hasta los 6000 m.

**ALTitud** = altitud (m.) máxima del eje en el que se plotean los datos. El valor mínimo debe ser superior a 400 m. o a la altitud del radar. Valor máximo 6000 m. Permite obtener una ampliación de los datos ploteados. (Def. 3000 m. si se ejecuta con la opción de interpolar, y elección automática del eje en función de la altitud máxima donde existan datos de viento disponibles con la opción contraria).

**DATaset** = GRUPO/DATASET.POSICION del fichero MD donde se encuentran almacenados los datos de viento. (Def. RADARV/VAD.día actual)

Comentarios: la Keyword DATaset es necesaria, por ejemplo, para casos de estudio almacenados y es incompatible con el uso de la keyword DAY.

Ejemplos de salidas gráficas:

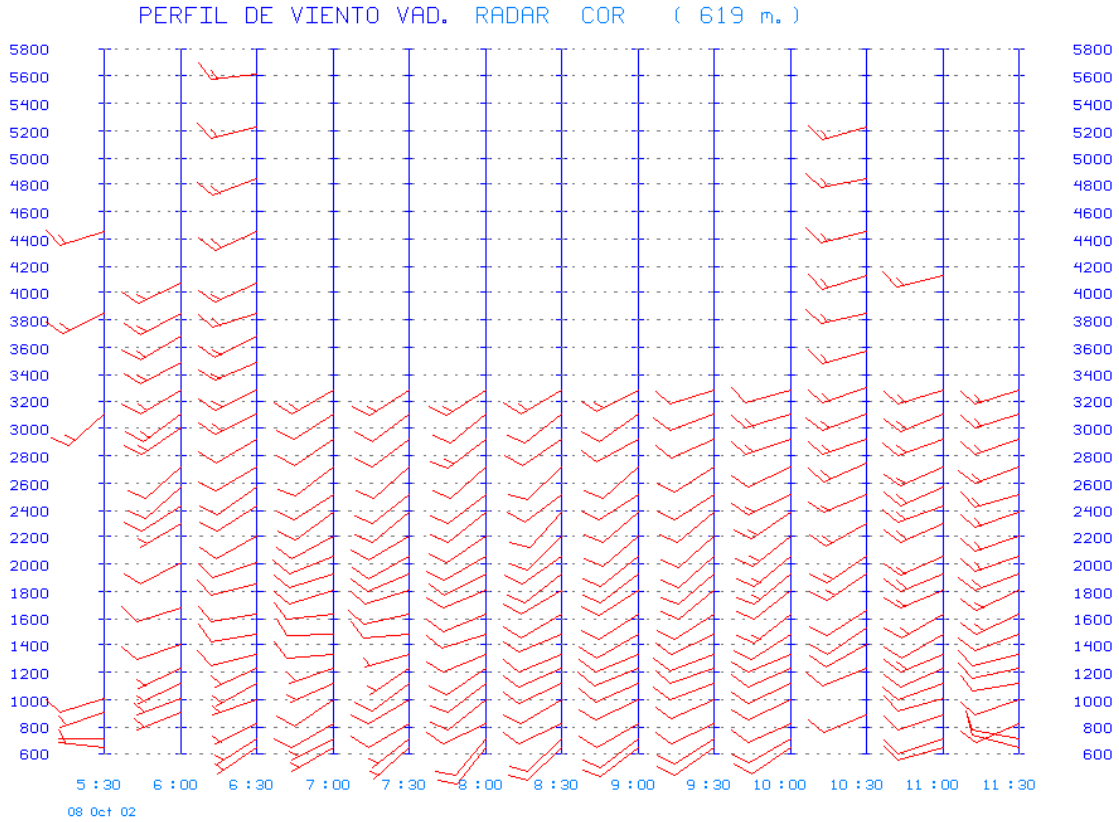


Figura 4.3. Ejemplo del comando YVADMG, salida gráfica por defecto, sin interpolación vertical

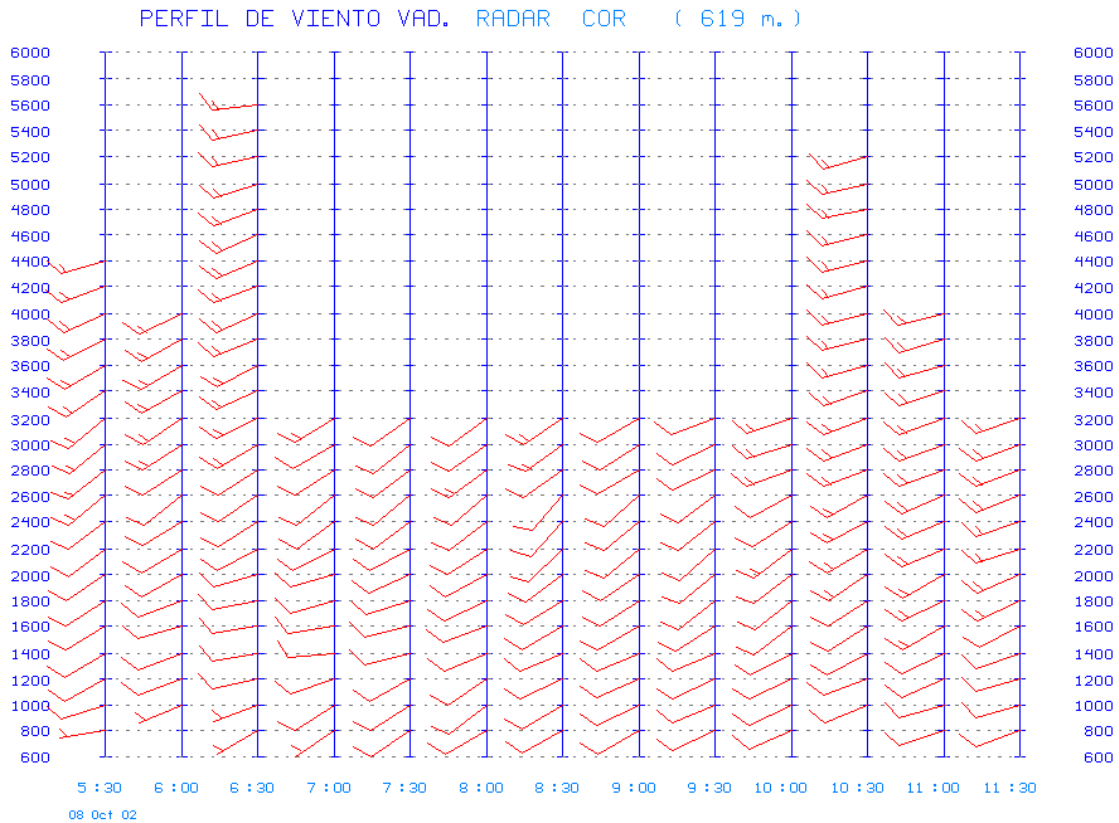


Figura 4.4. Ejemplo del comando YVADMG, interpolación vertical de alturas fijas

### **4.3. Productos VAD en la Intranet del INM**

En la intranet del INM se dispone desde octubre de 2002 de un producto que permite el acceso de los usuarios al último perfil VAD y a la evolución temporal de las últimas seis horas para todos los radares. Se actualiza automáticamente a las HH:15 y HH:45 con los últimos datos VAD disponibles. Este nuevo producto facilita el acceso de todos los usuarios del INM a los perfiles de viento VAD aunque no se disponga de acceso a un terminal McIDAS. La dirección de la página es:

<http://www0.inm.es/wwj/stapwww/datosvad/realtvad.html>

## 5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS PERFILES DE VIENTO VAD Y DE LOS DATOS DE VIENTO DE RADIOSONDEOS

Desde septiembre de 2002 se dispone de una base de datos con los perfiles de viento obtenidos mediante la técnica VAD cada media hora para cada uno de los 14 radares que actualmente posee el INM en funcionamiento. El objetivo del estudio que se presenta en este apartado es evaluar la calidad de estos datos mediante la comparación con radiosondeos. Para este estudio se han utilizado los datos de las 00:00 UTC y 12:00 UTC de cinco de las estaciones de radiosondeos del INM, atendiendo a la proximidad a los radares.

### 5.1. Metodología

Los sondeos y radares utilizados para la obtención de perfiles así como las distancias que separan unos de otros, se muestran en la Tabla 5.1.

a)

Radiosondeo	Altitud (m.)	Latitud	Longitud
A Coruña	58	43,37	-8,42
Madrid	633	40,45	-3,55
Murcia	61	38,00	-1,17
Santander	64	43,47	-3,82
Zaragoza	263	41,67	-1,02

b)

Radar	Altitud (m.)	Latitud	Longitud
A Coruña	619	43,17	-8,52
Madrid	717	40,18	-3,71
Murcia	1274	38,27	-1,19
Vizcaya	625	43,41	-2,84
Zaragoza	829	41,74	-0,54

c)

Situación	Distancia (Km)
A Coruña	23
Madrid	34
Murcia	30
Vizcaya – Santander	79
Zaragoza	41

Tabla 5.1. a) Estaciones de radiosondeos; b) Radares; c) Distancia entre el radar y la estación de radiosondeo más próxima

Se ha optado por comparar con el sondeo de Santander los perfiles VAD obtenidos con el radar de Vizcaya en lugar del de Asturias debido a la menor distancia que los separa.

Para realizar un análisis estadístico se han seleccionado los datos de vientos VAD y los del sondeo situados en un nivel próximo, cuya separación vertical en ningún momento supere el umbral de 50 m. El estudio básico ha comprendido los meses de otoño, desde el 1 de septiembre hasta el 15 de diciembre de 2002 y se ha utilizado la serie completa, independientemente de si los datos VAD estaban obtenidos en aire claro o no. El análisis correspondiente a los meses de invierno, del 16 de diciembre de 2002 al 28 de febrero de 2003, se presenta en la sección 5.3, con el objeto de poder comparar con los resultados obtenidos en otoño.

La estadística para cuantificar las diferencias entre los vientos VAD y los sondeos ha sido obtenida tanto para el módulo y la dirección del viento como para las componentes u y v. En relación con la dirección se presenta una dificultad en el caso, por ejemplo, de tener una dirección de viento VAD de 350° y una dirección del viento registrado por el sondeo de 5°. Si no se realizara ningún tratamiento de los datos la diferencia entre ambos sería de 345 lo que llevaría a unos resultados erróneos. Para solventar ese problema, cuando la diferencia en valor absoluto entre ambas direcciones tiene un valor superior a 180, se suma al valor más pequeño 360. 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:

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

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

$v_i$ , datos de viento VAD,  $s_i$  datos de radiosondeos 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)

- Media 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)

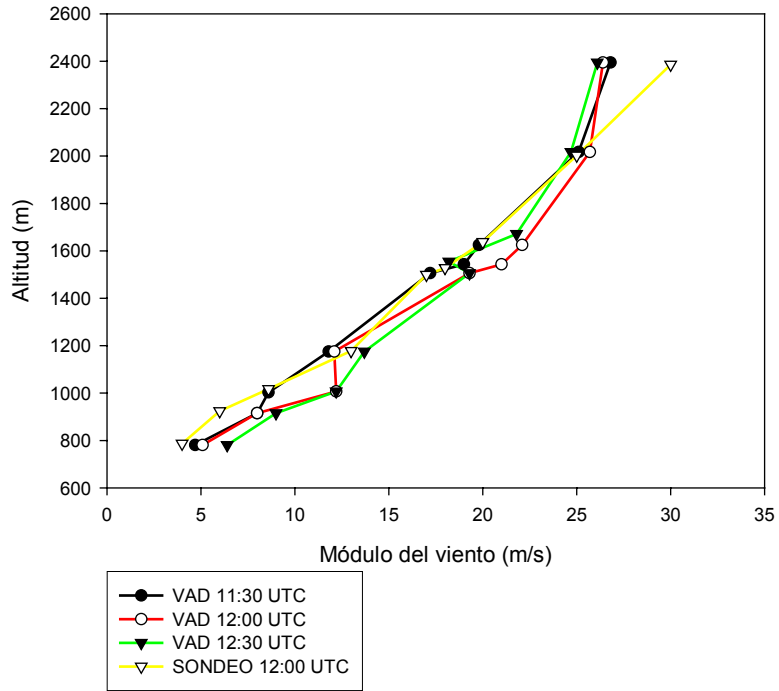
$$RMSVD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(u_v - v_s)^2 + (u_v - v_s)^2]}$$

## 5.2. Resultados del análisis en otoño

Se realizó un análisis preliminar para comprobar si existían diferencias entre los perfiles de vientos VAD y los vientos de los sondeos, media hora antes y después de la hora nominal de los sondeos. Concretamente la estadística se realizó entre los perfiles de viento VAD (en adelante P\_VAD) de las 23:30, 00:00 y 00:30 UTC y el sondeo de las 00 UTC y los P\_VAD de las 11:30, 12:00 y 12:30 UTC y el correspondiente de las 12 UCT. Los resultados muestran que apenas existe diferencia significativa desde el punto de vista estadístico entre los perfiles que difieren media hora respecto a la hora de lanzamiento del globo sonda, por lo que para realizar el análisis estadístico se han utilizado los P\_VAD de 00:00 y 12:00 UTC. En la Figura 5.1 se muestra un ejemplo de similitud entre perfiles que difieren media hora entre sí, para un día en concreto en Madrid a las 12:00 UTC.

En principio se consideró que aquellos P\_VAD que cuentan con pocos datos (menos de 10 datos) podrían tener menos calidad que aquellos en los que el número de datos era superior, por cuyo motivo se optó por eliminarlos de la muestra. Estudios posteriores han confirmado que aunque el número de estos datos no alcanza en la mayor parte de las estaciones el 5% del total llevan asociados, en general, diferencias bastante superiores a la media. Por esta razón se han utilizado sólo aquellos P\_VAD que incluyen más de 10 datos.

a)



b)

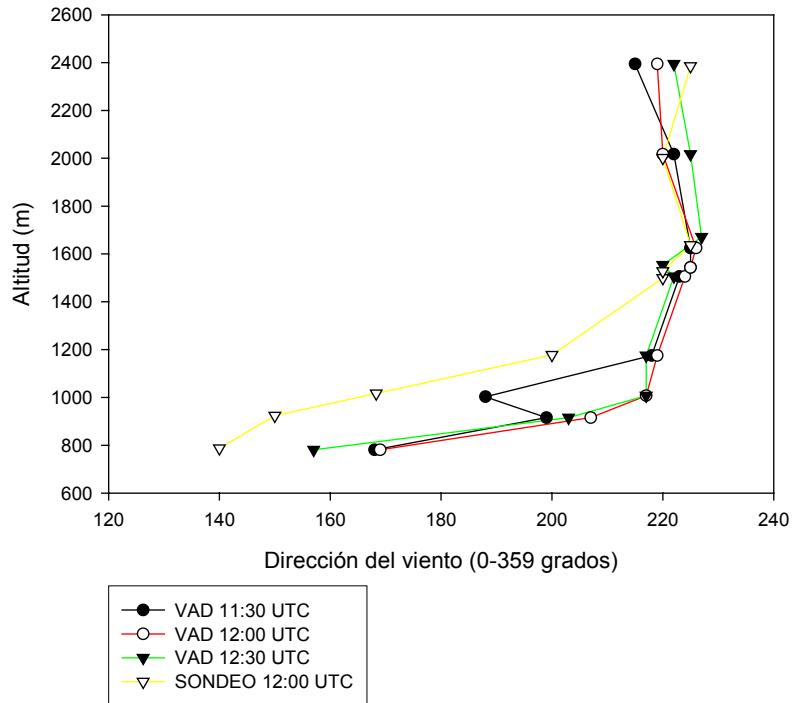


Figura 5.1. a) Módulo del viento VAD a 11:30, 12:00 y 12:30 UTC comparado con el del sondeo de 12:00 UTC; b) Dirección del viento VAD a 11:30, 12:00 y 12:30 UTC comparada con la del sondeo de 12:00 UTC.

	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	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
Bias 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	47	92	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	30	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
Bias U	-0,5	-0,4	-4,6	-0,1	-2,9	-1,2	-2,3	-1,1	-4,9	-1,5
Bias 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	0,84	0,8	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 5.2 Valores de la media, bias, 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. Periodo de otoño.

### 5.2.1. Análisis de los perfiles VAD utilizando todos los vientos

En la Tabla 5.2 se presentan los valores estadísticos utilizados para evaluar las diferencias que existen entre los P\_VAD y los vientos medidos en los sondeos, algunos de los cuales se analizan con más detalle a continuación.

En la Figura 5.2 se muestran los resultados obtenidos para el RMS, pudiendo comprobarse que el RMS de la velocidad del viento (RMS SPD) es, en general, superior a las 00:00 UTC que a las 12:00 UTC, siendo la media del error entre las cinco estaciones de 4.2 m/s y 3.1 m/s respectivamente. Destacan dos aspectos: por un lado en A Coruña los valores nocturnos presentan menor error que los diurnos, aunque con una diferencia mínima que no llega a 0.5 m/s; por otro lado Madrid, que con un RMS a las 12:00 UTC de 2.8 m/s alcanza los valores más altos de todas las estaciones a 00:00 UTC, con un RMS de 5.2 m/s.

En la Figura 5.3 podemos ver la relación que existe para el RMS de la dirección del viento (RMS Dir), observándose, al igual que en el módulo, valores superiores del error, en general, a las 00:00 UTC, con una media de 70°, que a las 12:00 UTC, con un valor medio de 46°. Madrid por la noche vuelve a ser singular, por dar un valor extremo, 92°. También en A Coruña, al igual que en velocidad, se presenta un error ligeramente superior a las 12:00 UTC que a medianoche.

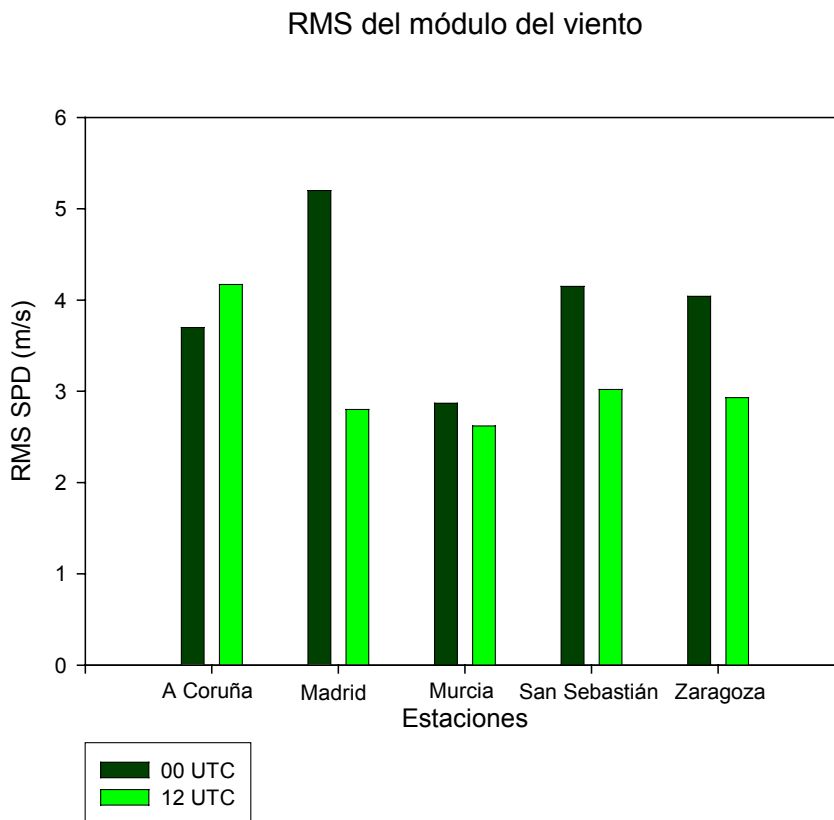


Figura 5.2. Raíz del error cuadrático medio del módulo del viento para cada una de las estaciones a 00:00 UTC y 12:00 UTC. Periodo de otoño

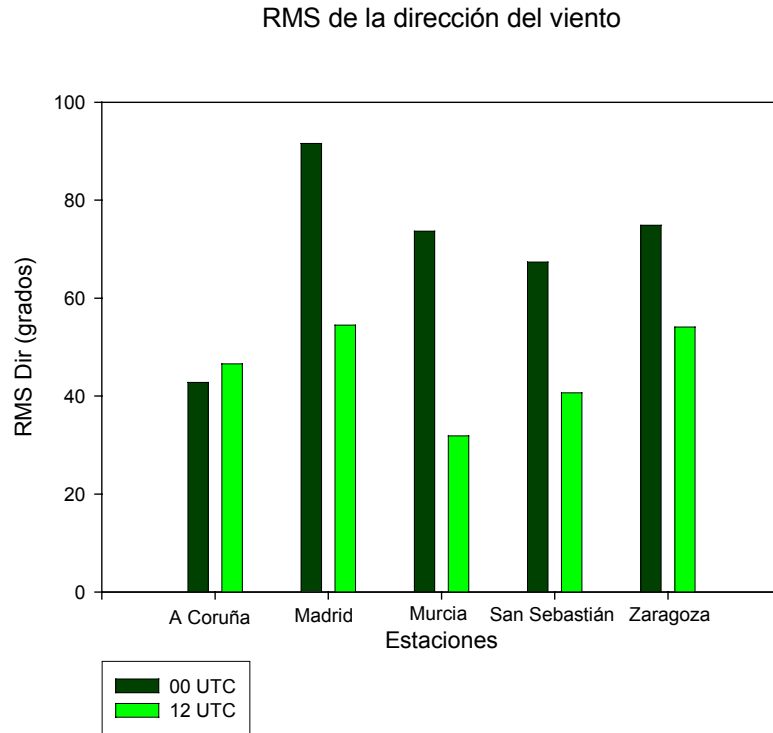


Figura 5.3. Raíz del error cuadrático medio de la dirección del viento para cada una de las estaciones a 00:00 UTC y 12:00 UTC. Periodo de otoño.

De acuerdo con la tendencia general el absdev (la media absoluta de las diferencias) para la dirección a las 00:00 UTC, con un valor medio de 52°, es sensiblemente superior al de las 12:00 UTC, con un valor medio de 31°. Se mantienen las peculiaridades de los P\_VAD de A Coruña y Madrid.

En los perfiles de 00:00 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 elevados que los de los sondeos, aproximadamente unos 2 m/s en promedio. A las 12 UTC se alternan signos opuestos para las distintas estaciones, con un sesgo que toma valores pequeños, del orden de 0.5 m/s.

Como referencia señalar que estudios realizados en Suecia (Andersson, 1998) muestran un RMS de la velocidad de unos 2.5 m/s de media en un periodo comprendido entre el 9 de diciembre de 1994 y el 14 de febrero de 1995 y del 28 de junio al 30 de noviembre. Los valores obtenidos por ellos son inferiores, pero hay que tener en cuenta que su radar y la estación de radiosondeos estaban separados únicamente 10 Km.

El valor del RMSVD, error cuadrático medio del vector diferencia, es para las 00:00 UTC de 7.5 m/s y de 4.6 m/s para las 12:00 UTC, valores del orden e incluso inferiores, en este último caso, a los obtenidos por distintos estudios realizados en Norteamérica (Davis et al., 1995). En estos estudios, para una media de 12 puntos, con una distancia aproximada entre el radar y el lugar de lanzamiento del globo sonda (salvo en dos excepciones) inferior a 16 Km, se obtienen para otoño valores medios de 7.5 m/s. Hay que destacar que el RMSVD que obtienen es apreciablemente superior en los meses de invierno y, sobre todo, en otoño, que en verano. Algunas de las causas señaladas en el citado estudio como fuentes de error de los P\_VAD son las migraciones

de los pájaros en otoño 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, obtiene valores del RMSVD inferiores, del orden de 5 m/s.).

Recientemente se ha realizado en el INM un estudio que compara los vientos obtenidos mediante la técnica VAD y el análisis de viento del modelo de área limitada HIRLAM (con resolución horizontal  $0.2^\circ$ ) para el mes de octubre de 2002. El trabajo fue realizado por Juliana Mol, del Instituto Nacional de Meteorología de Brasil (comunicación personal). Los resultados presentan características muy similares a las que se han mostrado en este apartado. Los valores obtenidos en dicho estudio (bias, RMS de la velocidad y media del vector diferencia) son del mismo orden que los obtenidos mediante la comparación directa de los P\_VAD y los datos de sondeos, manteniéndose la tendencia general de RMS superiores por la noche y valores de los vientos VAD superiores a los obtenidos con el análisis del HIRLAM (aunque el bias sea negativo el significado es el mismo que en nuestro estudio).

En las Figuras 5.4 y 5.5 se presentan varias graficas con los resultados obtenidos en la citada comparación de los análisis del modelo HIRLAM con los vientos VAD, concretamente para Madrid a 00:00 UTC y 12:00 UTC. Se puede comprobar que el RMS toma valores inferiores por el día y que en ambos casos los vientos VAD están sobreestimados frente a los obtenidos con el análisis del HIRLAM (bias negativo en este estudio).

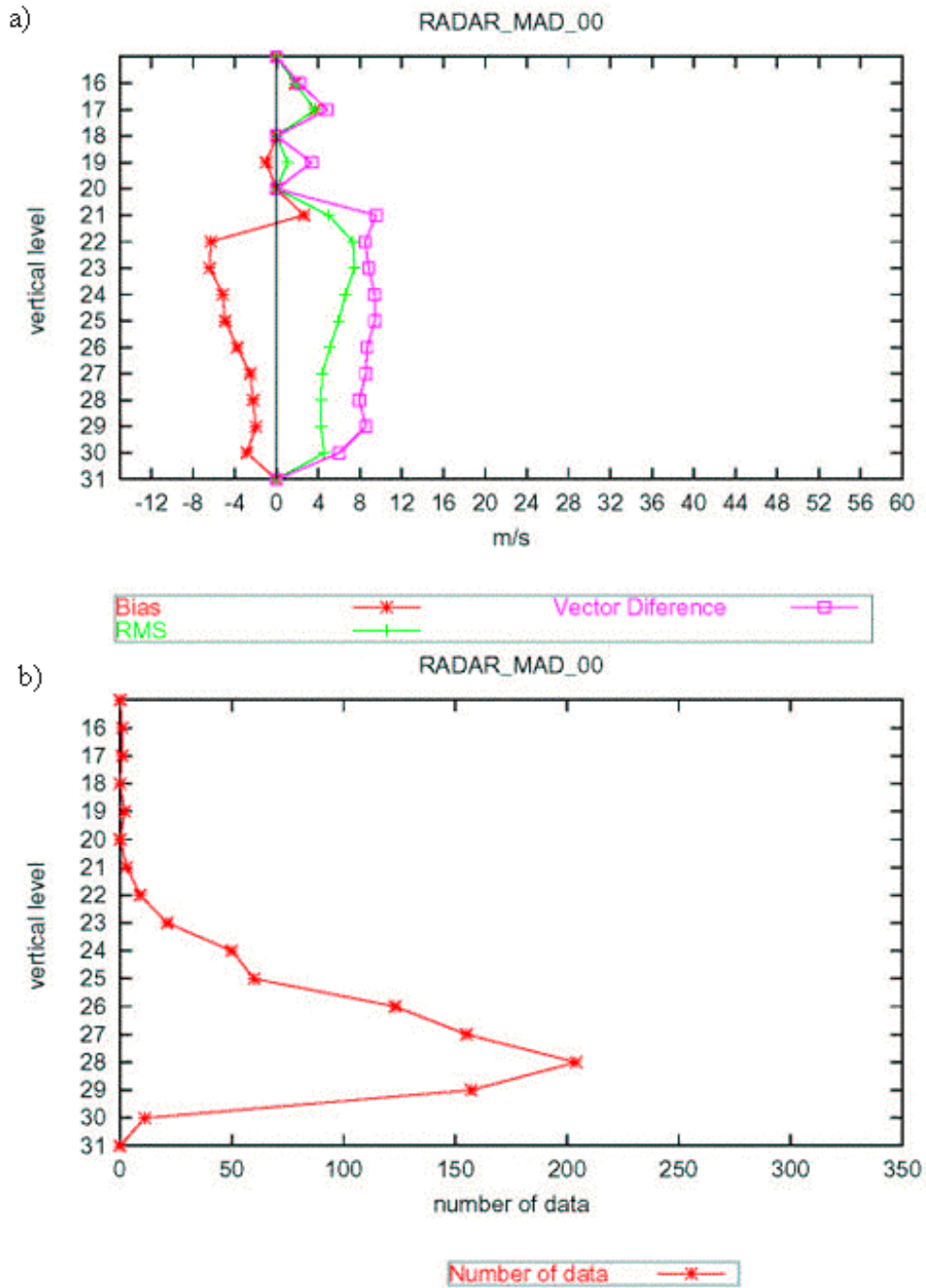


Figura 5.4. Comparación de los vientos del análisis del modelo HIRLAM y los vientos VAD, Octubre 2002, Madrid 00:00 UTC. a) Valores del bias, RMS y media del vector diferencia para los distintos niveles híbridos del modelo HIRLAM. b) Número de datos VAD disponibles en cada nivel híbrido del modelo HIRLAM. Gráfico original de Juliana Mol (comunicación personal)

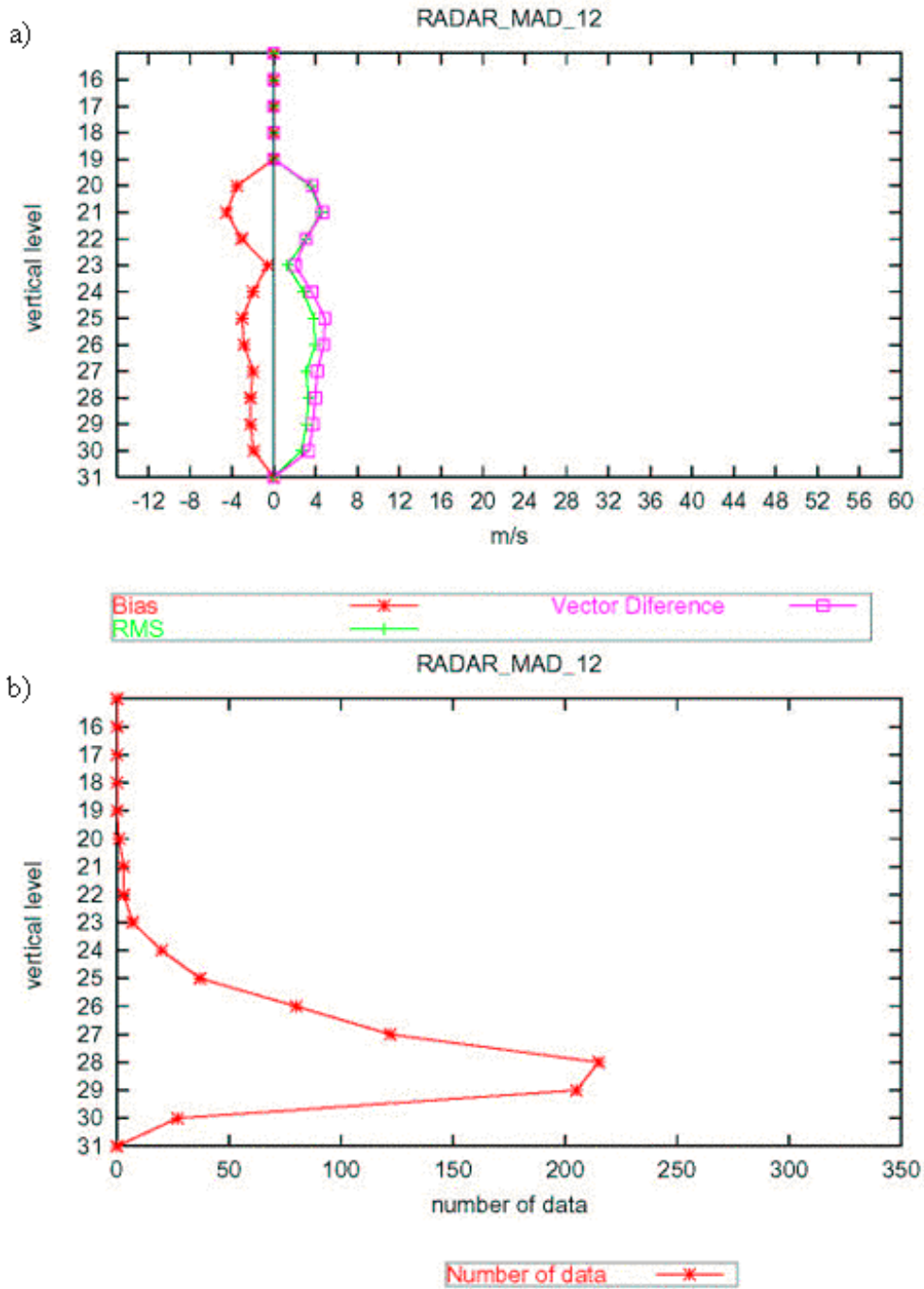


Figura 5.5. Comparación de los vientos del análisis del modelo HIRLAM y los vientos VAD, Octubre 2002, Madrid 12:00 UTC. a) Valores del bias, RMS y media del vector diferencia para los distintos niveles híbridos del modelo HIRLAM. b) Número de datos VAD disponibles en cada nivel híbrido del modelo HIRLAM. Gráfico original de Juliana Mol (comunicación personal)

### 5.2.2. Análisis complementarios

A continuación, una vez realizado el análisis de los perfiles completos, se abordará un estudio similar pero trabajando con los P\_VAD que se obtienen cuando se reduce el número de niveles atendiendo a criterios basados en la intensidad de viento VAD y en la altitud de los niveles.

Si se eliminan de los P\_VAD los vientos inferiores a 5m/s los resultados obtenidos indican, como se puede apreciar en la Tabla 5.3 y en la Figura 5.6, que tanto el RMS como el absdev de la dirección son inferiores. El RMS medio de las cinco estaciones a las 00:00 UTC disminuye 10°, ahora es de 60°, y a las 12 UTC en 15°, tomando valores de 30°. En el ya citado trabajo de Andersson (1998) el RMS para los niveles de 925, 850 y 700 hPa coincide con este último valor. El sesgo del módulo de la velocidad, como en el caso de los perfiles completos, es positivo en la mayor parte de los perfiles. La tendencia general se mantiene igual que en el caso de los perfiles completos, salvo en el caso de A Coruña, donde ambos valores son similares. Por la noche la diferencia de dirección entre los vientos VAD y los medidos en los sondeos es sensiblemente superior que por el día, manteniéndose el caso extremo de Madrid.

Los resultados cuando se evalúan por separado aquellos datos con valores del viento VAD inferiores a 5 m/s muestran mayores diferencias entre los perfiles de viento obtenidos con el radar y las muestras 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 casi todos los casos, toma valores superiores 2 m/s. El RMS de la dirección también alcanza valores muy altos, superiores a 100° en diversas ocasiones.

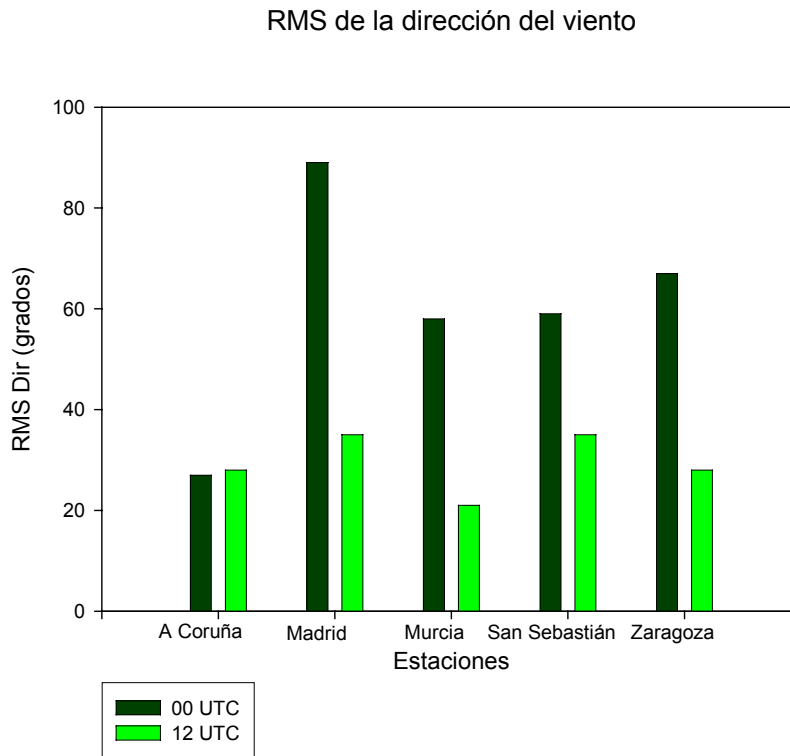


Figura 5.6. Raíz del error cuadrático medio de la dirección del viento para vientos de una intensidad superior a 5 m/s a 00:00 UTC y 12:00 UTC. Periodo de otoño.

	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	12,3	13,3	9,8	10,2	10,4	9,8	9,5	9,5	9,9	9,1
Media SPDs	12,2	12,3	5,8	5,5	7,6	9,8	7,4	10,1	8,1	9,1
Bias SPD	0,2	1,0	4,0	1,7	2,8	-0,1	2,1	-0,6	1,8	0,0
RMS SPD	4,1	4,7	5,3	3,3	4,2	2,7	4,3	3,3	4,1	3,0
RMS Dir	27	29	90	35	58	21	60	36	68	28
absdev SPD	3,1	3,3	4,5	2,6	3,4	2,0	3,5	2,5	3,3	2,2
absdev Dir	19	20	70	24	44	15	42	24	54	19
avvect	4,8	5,2	8,7	4,2	6,6	3,2	6,5	4,1	7,9	3,7
RMSVD	5,7	6,4	9,5	4,9	7,5	3,9	7,3	4,8	8,7	4,4
Bias U	-0,7	-0,1	-4,9	0,9	-3,2	-0,7	-2,4	-1,6	-5,2	-0,7
Bias V	1,8	1,7	-5,5	-0,5	-3,7	-1,4	-3,4	-0,8	-3,8	-0,9
RMS U	3,7	4,1	6,6	3,9	5,2	2,5	4,2	3,8	6,7	3,5
RMS V	4,4	4,9	6,8	3,0	5,3	3,0	5,9	3,0	5,6	2,8
Corr SPD	0,82	0,81	0,48	0,85	0,8	0,86	0,42	0,88	0,58	0,77
Corr Dir	0,94	0,93	0,82	0,93	0,91	0,98	0,88	0,94	0,86	0,92
Corr U	0,92	0,88	0,71	0,77	0,78	0,9	0,88	0,93	0,66	0,75
Corr V	0,87	0,87	0,72	0,94	0,87	0,95	0,58	0,92	0,81	0,91
Nº datos	246	261	352	135	298	152	252	136	375	218

Tabla 5.3 Valores de la media, bias, RMS, absdev, avvect, RMSVD y corr 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. Periodo de otoño.

Para corroborar estos resultados y comprobar que cuanto más intensos son los vientos menores son las diferencias en dirección de los P\_VAD y los vientos de los sondeos se eliminaron de los perfiles de viento VAD aquellos vientos inferiores a 10m/s. Los resultados de la estadística realizada se muestran en la Tabla 5.4 y en la Figura 5.7. Destacar que el RMS medio de la dirección de la velocidad es a las 00:00 UTC de 42° y a las 12:00 UTC de 18°, manteniéndose la tendencia general de peores resultados por la noche que por el día. El absdev de la dirección a las 12:00 UTC toma valores de 12°, respecto a los 31° que se obtenían cuando se utilizaban los perfiles completos, mientras que a las 00:00 UTC decrece de 52° a 32°. En el estudio a Andersson (1988) eliminando, como en nuestro caso, aquellos vientos VAD con valores inferiores a 10m/s, el absdev de la dirección en 925 hPa. disminuye de 18° a 9°.

Por otro lado, se ha realizado también un análisis estadístico de los P\_VAD separando los datos según niveles verticales en varios estratos, entre la altitud del radar y 1500m., entre 1500 y 3000m. y por encima de 3000m. Los resultados, tal y como cabría esperar, muestran que debido a que en niveles superiores la intensidad del viento es en general mayor, existen menores diferencias en dirección entre los vientos VAD y los sondeos.

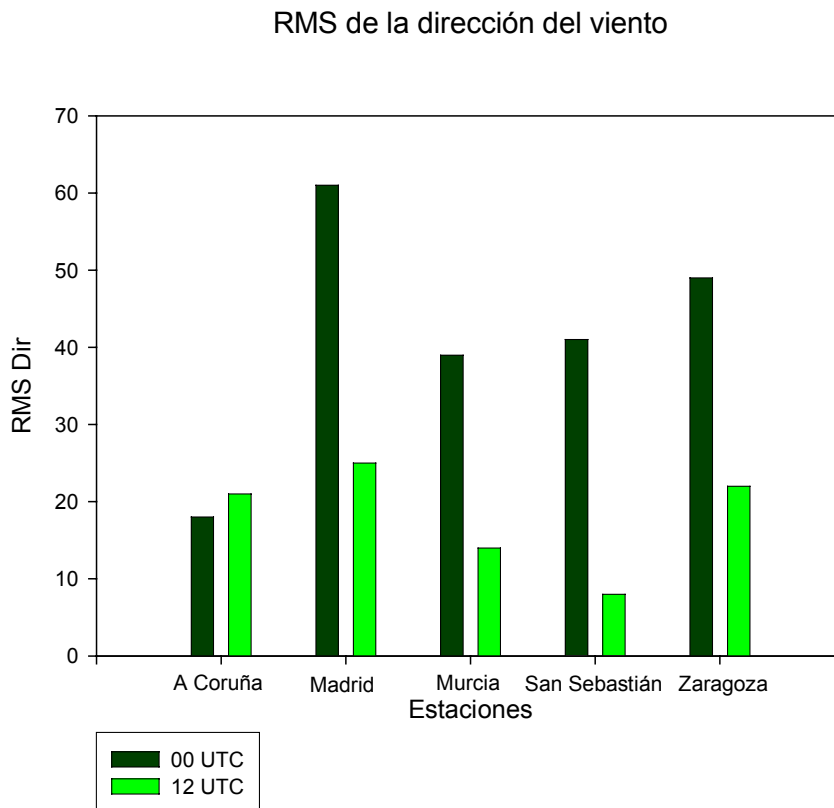


Figura 5.7. Raíz del error cuadrático medio de la dirección del viento para vientos de una intensidad superior a 10 m/s a 00 UTC y 12 UTC. Periodo de otoño.

	Coruña		Madrid		Murcia		San Sebastián		Zaragoza	
	0	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00	0:00	12:00
Media SPDV	17,2	18,1	12,5	14,2	14,5	14,9	13,1	18,5	13,4	14,5
Media SPDs	16,4	16,8	6,7	12,1	10,6	14,4	8,2	19,8	9,9	13,4
Bias SPD	0,8	1,3	5,8	2,1	3,9	0,5	4,8	-1,4	3,5	1,1
RMS SPD	5,2	5,7	6,7	4,1	5,3	3,5	5,8	4,3	4,9	3,6
RMS Dir	19	21	62	25	40	14	41	9	49	22
absdev SPD	4,1	4,1	6,0	3,1	4,6	2,7	5,2	3,4	4,2	2,6
absdev Dir	14	15	45	16	30	10	30	6	41	13
avvect	5,8	6,2	8,7	4,6	7,4	4,0	7,3	4,3	8,8	4,1
RMSVD	6,7	7,6	9,5	5,6	8,1	4,7	7,9	5,0	9,5	5,1
Bias U	-0,7	0,5	-4,9	1,8	-3,8	-0,2	-3,0	-2,2	-5,8	0,6
Bias V	2,1	2,9	-5,3	0,7	-4,1	-2,2	-4,9	0,9	-4,9	-0,8
RMS U	4,4	4,8	6,9	4,8	5,7	2,7	4,2	4,0	7,2	4,3
RMS V	5,1	6,0	6,5	2,9	5,8	3,8	6,7	3,0	6,3	2,8
Corr SPD	0,71	0,66	0,74	0,77	0,999	0,82	0,7	0,82	0,66	0,7
Corr Dir	0,96	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	0,95	0,99	0,95	0,79
Corr U	0,92	0,83	0,79	0,77	0,88	0,87	0,95	0,94	0,85	0,54
Corr V	0,87	0,87	0,86	0,97	0,92	0,97	0,7	0,97	0,74	0,94
Nº datos	126	147	153	64	123	57	83	30	150	68

Tabla 5.4. Valores de la media, bias, RMS, absdev, avvect, RMSVD y corr 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 10 m/s. Periodo de otoño.

### **5.3. Resultados del análisis en invierno**

Realizada la comparación entre los P\_VAD y los vientos registrados mediante sondeos en los meses de otoño se ha procedido a realizar un análisis similar para los meses de invierno, concretamente para el periodo comprendido entre el 16 de diciembre de 2002 y el 28 de febrero de 2003. Para ello, se han utilizado las funciones estadísticas señaladas en la sección 5.1 y, como se indicó también en su momento, aquellos P\_VAD que cuentan por lo menos con 10 datos.

En la Tabla 5.5 se muestran los resultados obtenidos. Hay que señalar que el número de datos de los que se dispone en esta ocasión es mucho menor que en otoño, existiendo muchos casos en los que no se ha podido llevar a cabo el cálculo de los P\_VAD. Exceptuando en A Coruña y Vizcaya, donde disponemos de unos 150 datos, en el resto oscila alrededor de 50, con lo que, en algunos casos, el cálculo estadístico puede no ser significativo, al estar demasiado afectado por días no representativos.

En la Figura 5.8 se observa la relación existente entre el RMS del módulo del viento para los distintos radares. Los valores calculados son ligeramente superiores a los obtenidos en el estudio de otoño, pero hay que destacar que la media de las intensidades de los vientos son en todos los casos superiores, llegando incluso por la noche a duplicarse (como en A Coruña). A las 00:00 UTC el valor medio del RSM es de 4.6 m/s y de 3.6 m/s a las 12:00 UTC. Excepto en Madrid, donde el error es ligeramente superior a las 12:00 UTC, se obtienen mejores resultados de día que de noche.

En la Figura 5.9 se muestran los resultados obtenidos para el RMS de la dirección, con valores medios de 25° para las 00:00 UTC y de 28° para las 12:00 UTC. Son sensiblemente inferiores a los obtenidos para la estación de otoño, como era de esperar al ser las intensidades medias superiores (como ya se mostró anteriormente, cuanto mayor es la intensidad del viento menores son los errores en dirección). Hay que señalar el caso anómalo de Madrid a las 12:00 UTC, donde el RMS de la dirección es de 45°, muy superior a la media, debido a los datos de dos días donde existen gran diferencia entre el sondeo y los P\_VAD y que el pequeño número de datos total del que se dispone no es capaz de compensar. Salvo en este caso y en el de Murcia, los errores son menores por el día que por la noche.

El valor del RMSVD es para las 00:00 UTC de 6.7 m/s y de 5.0 m/s para las 12:00 UTC, valores del orden de los obtenidos con anterioridad. La media del RMSVD era en otoño de 6.1 m/s mientras que ahora es de 5.9 m/s, ligeramente inferior. En el ya citado estudio americano (Davis et al., 1995) los resultados obtenidos son de 6.5 m/s en la estación de invierno, comparables por tanto con los obtenidos en este trabajo.

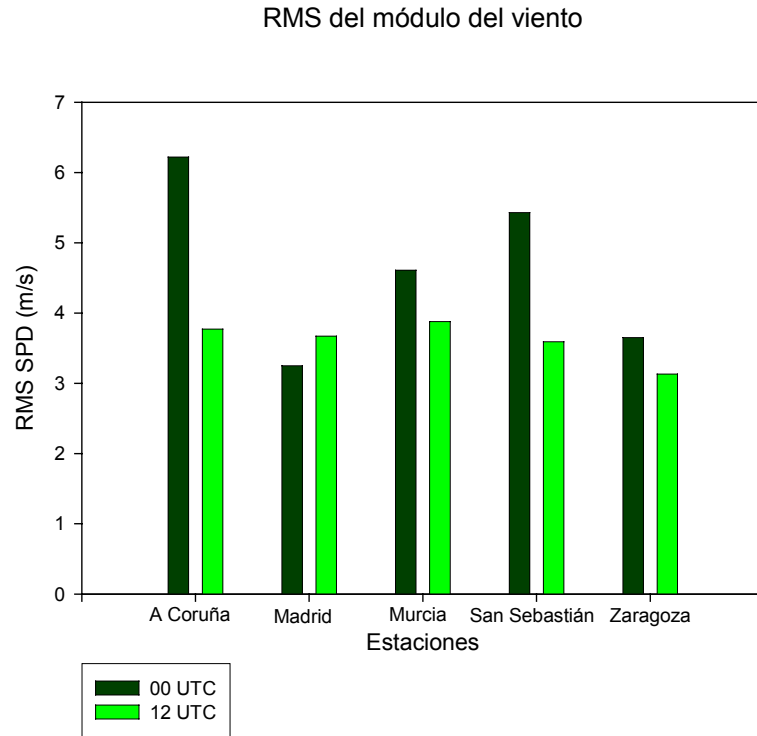


Figura 5.8. Raíz del error cuadrático medio del módulo del viento para cada una de las estaciones a 00:00 UTC y 12:00 UTC en invierno

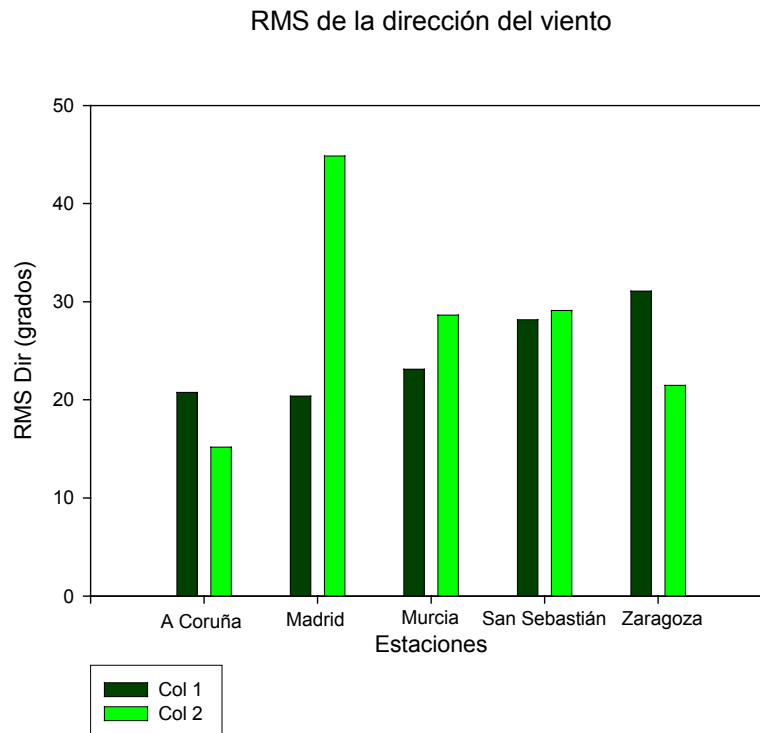


Figura 5.9. Raíz del error cuadrático medio de la dirección del viento para cada una de las estaciones a 00:00 UTC y 12:00 UTC en invierno

	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	18,4	16,9	12,9	13,1	12,7	12,9	13,1	11,4	13,5	11,8
Media SPDs	17,0	17,2	11,3	13,1	11,8	13,2	12,1	11,7	13,7	12,8
Bias SPD	1,5	-0,4	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
Med. SPDvd	7,0	5,3	4,2	4,8	4,6	5,4	5,6	4,3	5,9	3,6
RMSVD	8,2	6,6	4,9	5,9	5,6	4,0	7,9	5,0	6,9	4,4
Bias U	-0,4	-1,5	1,0	1,2	-0,8	0,5	0,5	-1,1	-1,9	-1,6
Bias V	2,2	1,5	1,2	0,9	1,3	1,4	2,2	-0,4	0,9	0,1
RMS U	4,0	4,1	4,0	4,9	3,0	4,3	5,6	3,6	5,5	3,6
RMS V	7,1	5,2	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	0,9	0,87	0,88	0,96	0,92	0,73	0,84	0,88	0,94
Corr V	0,84	0,9	0,95	0,86	0,77	0,98	0,88	0,91	0,86	0,9
Nº datos	153	177	47	68	57	36	155	147	52	76

Tabla 5.5. Valores de la media, bias, RMS, absdev, avvect, RMSVD y corr 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. Periodo de invierno.

#### **5.4. Análisis de algunos perfiles VAD obtenidos en días con precipitación**

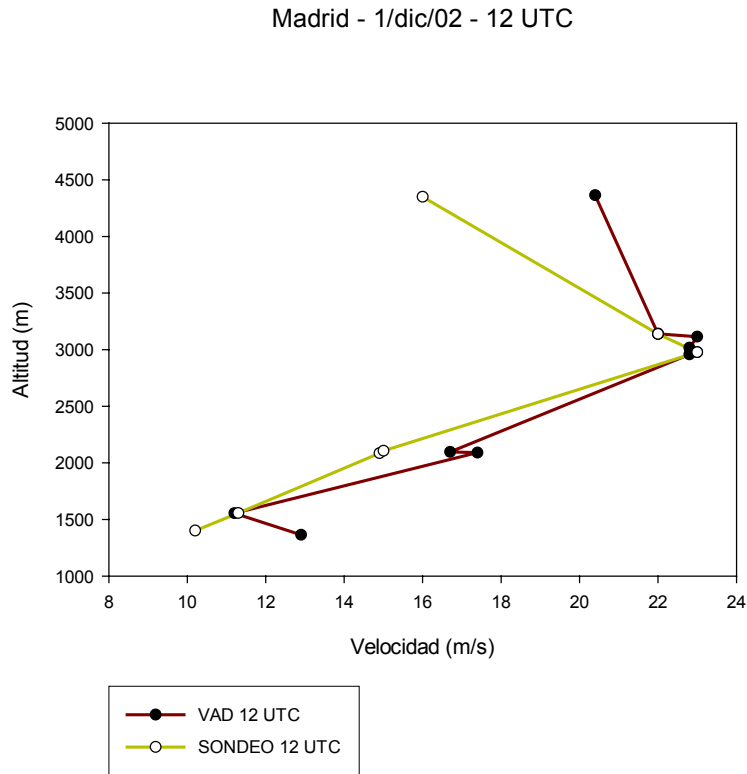
David et al (1995) compararon vientos VAD usando 12 radares WSR-88D con vientos de radiosondeos separados aproximadamente una distancia media de 16 Km. Para un periodo de 9 meses obtuvieron un valor medio de RMSVD de 5.5 m/s. En otoño e invierno se encontraron con un mayor número de vientos anómalos que en el caso de verano, aproximadamente el 18% de los casos de otoño e invierno llevan asociados un RMSVD de 10.1 m/s o superior, frente al 1% de los casos de verano. Para detectar posibles causas de este error separaron los datos, seleccionando solamente aquellos días en que se hubiera producido precipitación (incluyendo tormentas), obteniendo un valor medio del RMSVD para los nueve meses de 4.4 m/s, inferior al de la serie completa, 5.5 m/s.

Por otra parte, eliminaron también todos los días donde hubiera habido inversiones, nieblas o neblinas, dejando los casos donde no se hubiera producido ningún fenómeno significativo y los días con precipitación (el 44% de las observaciones de invierno incluían nieblas o la presencia de inversiones, frente al 16% de las observaciones de verano y el 18% de las de otoño). El RMSVD de los meses de invierno desciende de 6.5 m/s a 4.8 m/s y los casos de vientos anómalos descienden entre un 18% y un 6%.

En nuestro caso no se ha realizado este tipo de estudios, eliminando de las series aquellos días en los que no hubiese precipitación, pero sí se han analizado algunos casos concretos que nos muestran diferencias inferiores a las obtenidas con la serie completa.

Los dos ejemplos que se presentan corresponden a Madrid, 1 de diciembre a 12:00 UTC y A Coruña, el 14 de diciembre a 00:00 UTC, Figuras 5.10 y 5.11 respectivamente. En la Tabla 5.6 se muestra una relación de los estadísticos calculados. En ambos casos se observa la gran similitud existente en módulo y dirección entre los vientos VAD y el sondeo. En Madrid las mayores diferencias, 4 m/s, se encuentran en la intensidad en el nivel más alto, a unos 4500 m., y en dirección en el nivel más próximo a superficie, 20°, coincidiendo con los vientos más débiles. En A Coruña las diferencias entre los vientos VAD y sondeos no alcanzan en ningún momento los 4 m/s en intensidad y los 6° en dirección.

a)



b)

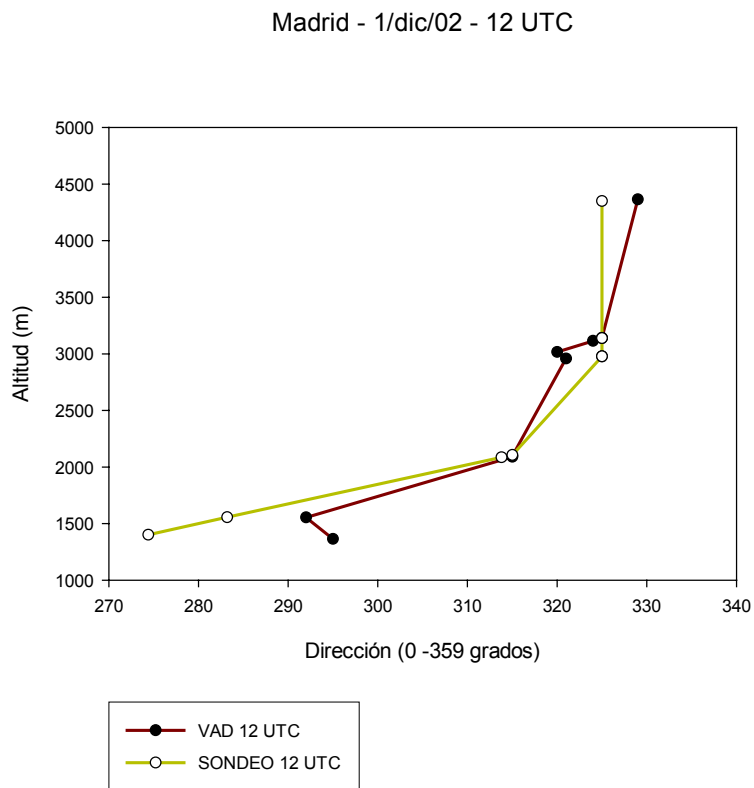
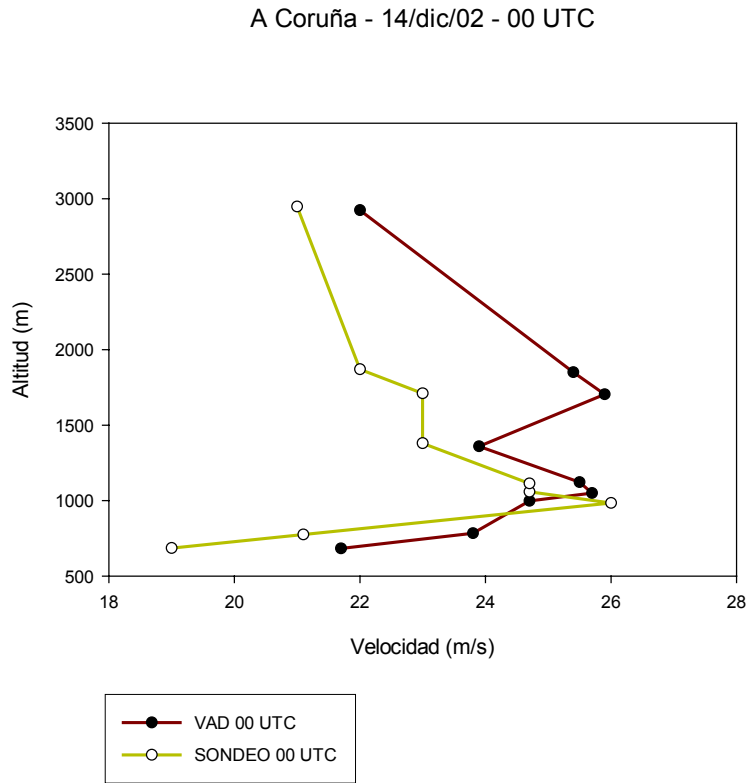


Figura 5.10. Madrid, 1 de diciembre de 2002, 12:00 UTC. Comparación de vientos VAD y sondeo para una situación de precipitación. a) Módulo del viento. b) Dirección del viento

a)



b)

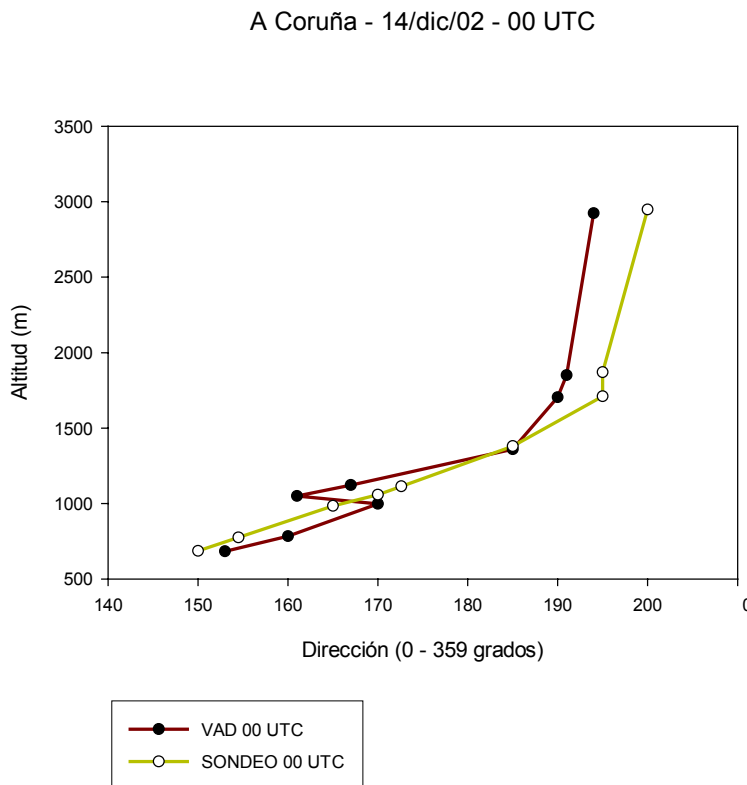


Figura 5.11. A Coruña, 14 de diciembre de 2002, 00:00 UTC. Comparación de vientos VAD y sondeo para una situación de precipitación. a) Módulo del viento. b) Dirección del viento

	Madrid	A Coruña
	12 UTC	00 UTC
Media SPDv	18,8	24,3
Media SPDs	17,5	22,8
Bias SPD	1,3	1,5
RMS SPD	2,0	2,1
RMS Dir	8	5
absdev SPD	1,4	1,8
absdev Dir	5	5
avvect	2,2	2,9
RMSVD	2,7	3,1
Bias U	0,9	-0,9
Bias V	-1,3	1,6
RMS U	1,2	2,0
RMS V	2,4	2,3
Corr SPD	0,95	0,74
Corr Dir	0,96	0,96
Corr U	0,88	0,96
Corr V	0,96	0,82

Tabla 5.6 Valores de la media, bias, RMS, absdev, avvect, RMSVD y corr obtenidos para dos días concretos en los que hubo precipitación, 1 de diciembre de 2002 a las 12:00 UTC en Madrid y 14 de diciembre en A Coruña a las 00:00 UTC.

## 5.5. Conclusiones

En la comparación entre los perfiles de viento VAD y los vientos registrados mediante radiosondeos para otoño (periodo comprendido entre el 1 de septiembre y el 15 de diciembre) y en todas las estaciones salvo en A Coruña, el RMS, tanto del módulo como de la dirección del viento, toma valores más altos a 00:00 UTC que a 12:00 UTC, con valores medios de 4.1m/s y 3.1m/s y de 70° y 46° respectivamente. En A Coruña ambos valores son similares, ligeramente inferiores por la noche.

Los vientos VAD con intensidad inferior a 5m/s muestran errores sensiblemente superiores a los citados anteriormente, tanto en intensidad como en dirección. Analizando la relación entre los P\_VAD en los que se ha eliminados los vientos inferiores a 5m/s y los radiosondeos se obtienen mejores resultados en dirección, el RMS toma valores de 60° a las 00:00 UTC y de 30° a las 12:00 UTC. Si se eliminan también de los P\_VAD aquellos vientos menores de 10m/s el error en dirección disminuye todavía más, hasta 18° a 12:00 UTC.

En la mayor parte de los casos, en general, el sesgo es positivo, lo que nos indica que los vientos obtenidos mediante la técnica VAD son ligeramente más intensos que los de los sondeos, principalmente a 00:00 UTC.

En el estudio llevado a cabo en invierno (periodo del 16 de diciembre de 2002 al 28 de febrero de 2003) el módulo del viento mantiene la tendencia descrita con anterioridad de mejores resultados por el día que por la noche, con un valor medio del RMS alrededor de los 4 m/s, ligeramente más alto que otoño pero proporcionalmente

inferior, ya que la media de la intensidad del viento es en invierno sensiblemente superior. El error medio de la dirección es de unos  $26^\circ$ . Hay que señalar, no obstante, los pocos datos disponibles, por lo que en algunos casos la estadística puede no ser suficientemente significativa.

Se alcanza, por tanto, como conclusión general que las diferencias entre los perfiles VAD y los sondeos son menores a las 12:00 UTC que a las 00:00 UTC y que el RMS medio de la velocidad se encuentra alrededor de los 3-4 m/s. Cuanto mayor es la intensidad del viento menores son las diferencias en dirección, manteniéndose la tendencia de peores resultados de noche. De esta manera, se puede admitir que los vientos VAD poseen la calidad suficiente para ser usados en tareas operativas, siempre y cuando se tengan en cuenta las consideraciones anteriores.

## 6. APLICACIÓN DE LOS DATOS VAD A SITUACIONES ESPECÍFICAS

En este capítulo se presenta un breve estudio de algunas situaciones seleccionadas en las que se pone de manifiesto la utilidad que pueden tener los vientos VAD de cara a las actividades operativas de vigilancia y nowcasting, proporcionando información significativa a la hora de identificar y caracterizar diversos fenómenos de interés, como por ejemplo chorros en bajos niveles, cizalladura del viento, diversas estructuras de precipitación,... etc.

En el estudio de las situaciones descritas a continuación se han utilizado productos generados por la aplicación YRADAR (Martín et al., 2001), en su versión bidimensional y tridimensional.

### 6.1. Chorro en niveles bajos

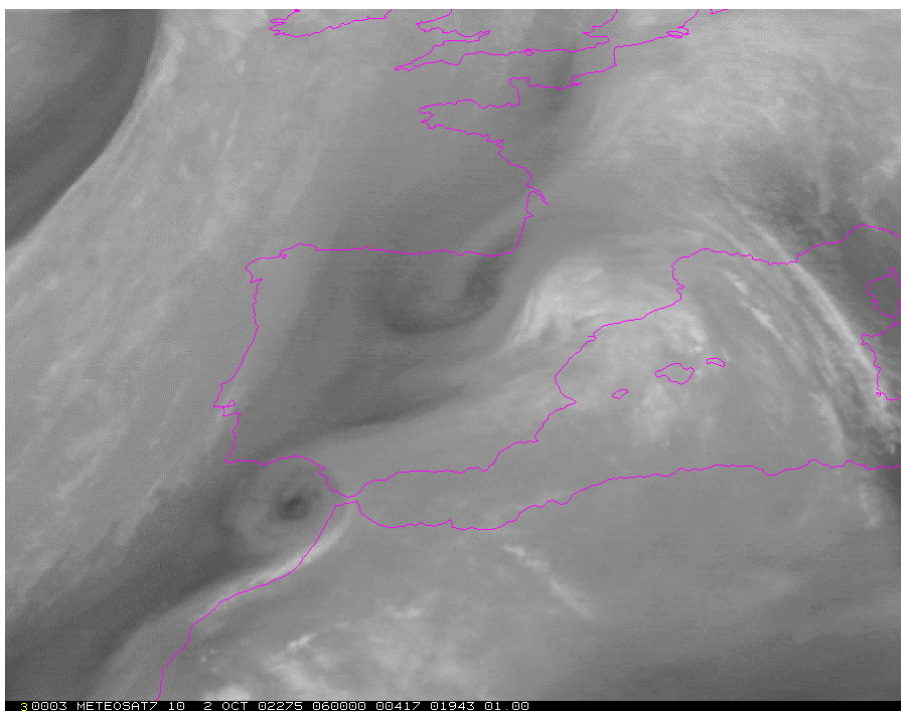


Figura 6.1. Imagen WV de las 5:30 UTC del 2/10/02

Como se puede apreciar en la imagen WV del 2 de octubre de 2002, Figura 6.1, existen dos perturbaciones mesoescalares sobre el cuadrante NE de la Península. La primera situada sobre el Cantábrico Oriental está asociada con un núcleo frío en niveles medios y se desplaza hacia el este. La segunda, por delante de la anterior, se mueve hacia el NE y es la que conduce a la estructura nubosa que está afectando en esos momentos a Cataluña, oeste de las provincias aragonesas y norte de la C. Valenciana, Figura 6.2, dejando precipitaciones, principalmente de tipo estratiforme, como se aprecia en las imágenes del radar de Barcelona, Figura 6.3.

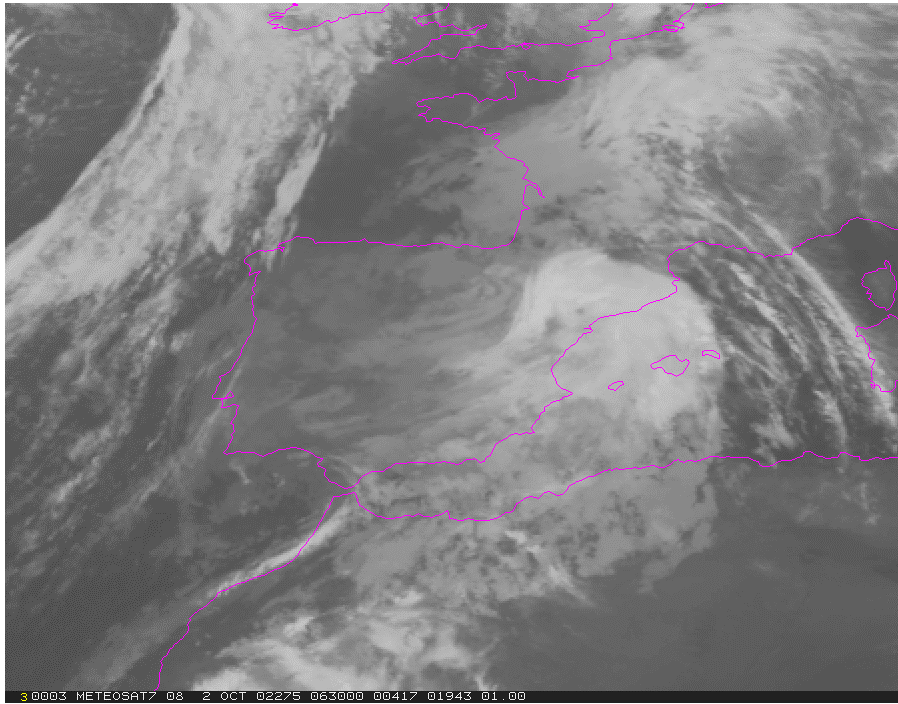


Figura 6.2. Imagen IR de las 06:30 UTC del 2/10/02

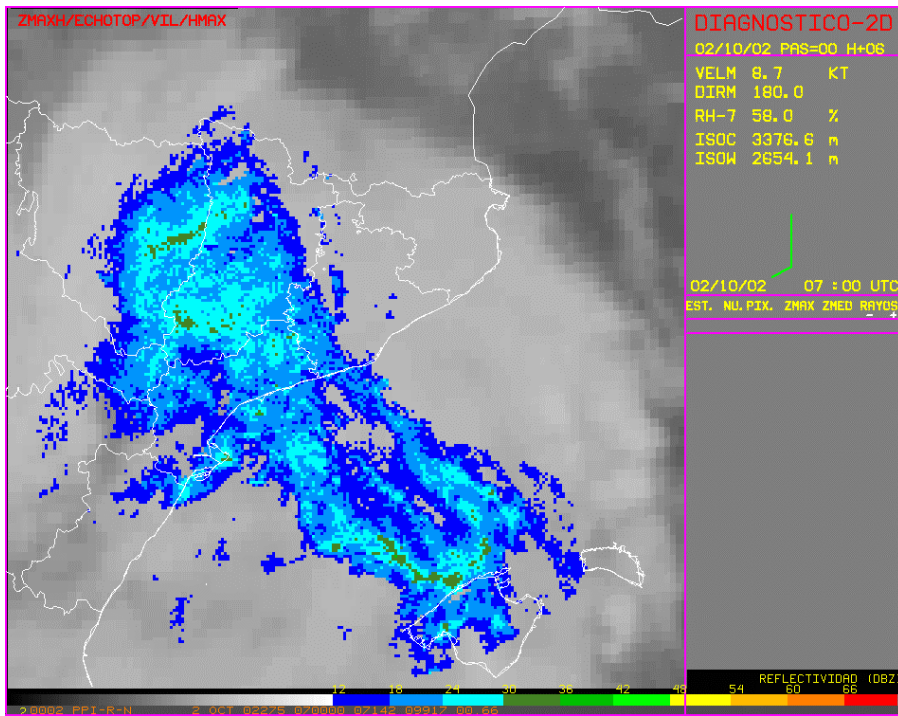


Figura 6.3. Radar de Barcelona de las 7:00 UTC del 2/10/02

Para analizar la estructura del viento en las cercanías del radar se puede utilizar la imagen de viento radial que proporciona el radar de Barcelona en modo Doppler, Figura 6.4. Se observa que en las proximidades del radar y por tanto en capas próximas al suelo, el viento sopla del ESE (tener en cuenta la línea blanca que aparece en la imagen y que marca la división entre el viento que se acerca y aleja respectivamente del radar). Según nos alejamos del radar y, por tanto, la exploración se realiza a altitudes mayores, el viento va rolando hasta alcanzar la dirección SSE.

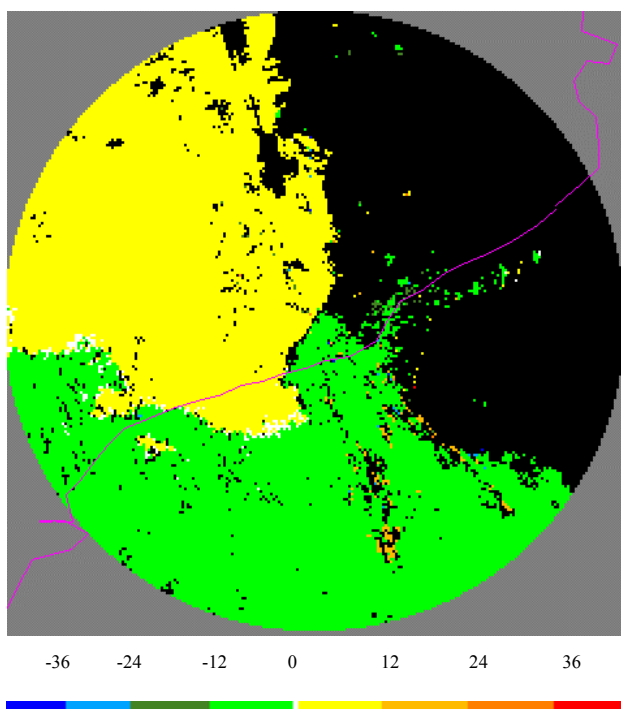


Figura 6.4. Imagen de viento radial Doppler del radar de Barcelona de 06:54 UTC del 2/10/02

Los datos proporcionados por la técnica VAD permiten visualizar de una forma más directa la estructura vertical del viento. En las imágenes con los perfiles verticales de viento VAD, Figuras 6.5 y 6.6, se observa, claramente, la existencia de un chorro en bajos niveles de componente E. Por encima, a unos 2000m, el viento gira a dirección SE para rolar a dirección S a partir de los 3000m.

En situaciones en las que se pueda suponer la existencia de un flujo más o menos uniforme dentro de la cobertura radar, los datos VAD son un complemento fundamental a la imagen de viento radial. En el caso que nos ocupa, y aunque la información obtenida con los datos VAD representa el viento medio en la posición del radar (dentro de un radio de 25 Km), la dirección del viento a diferentes niveles es muy parecida a la información que puede extraerse de la imagen de viento radial, por lo que se podrían extrapolar los resultados obtenidos con la técnica VAD al radio de acción del radar, que en modo Doppler es de 120 Km. Además, bajo estas condiciones de uniformidad, el perfil VAD nos da información del viento en niveles más elevados que los que aparecen reflejados en la imagen de viento radial.

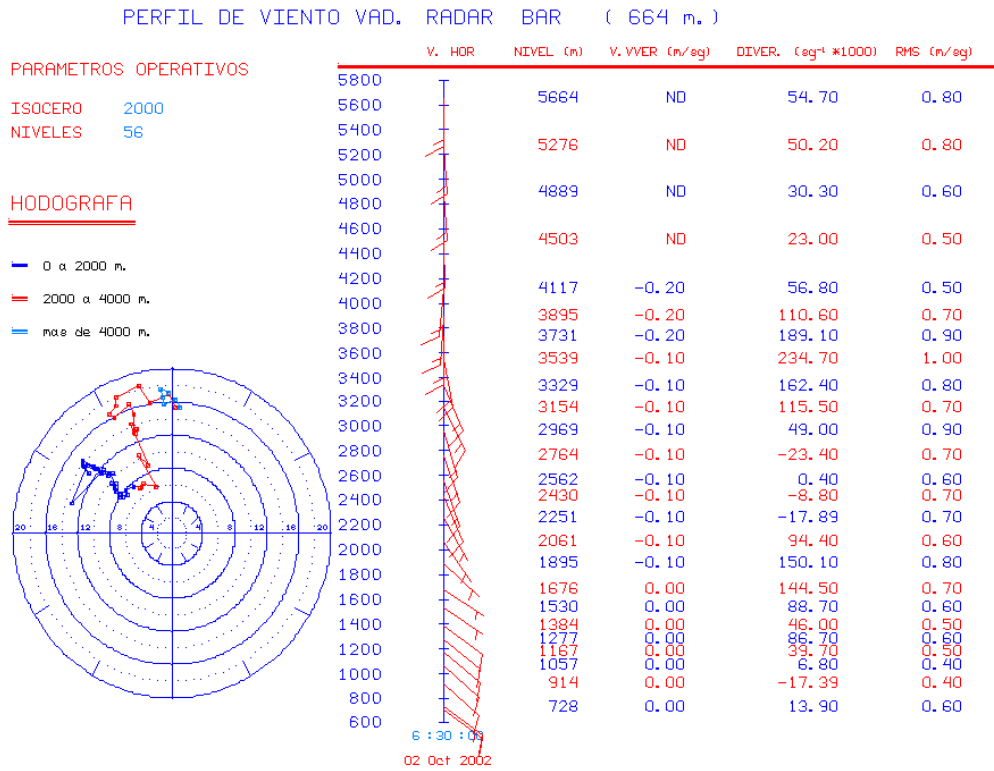


Figura 6.5. Radar de Barcelona. Perfil vertical del viento estimado mediante la técnica VAD a 06:30 UTC del 2/10/02.

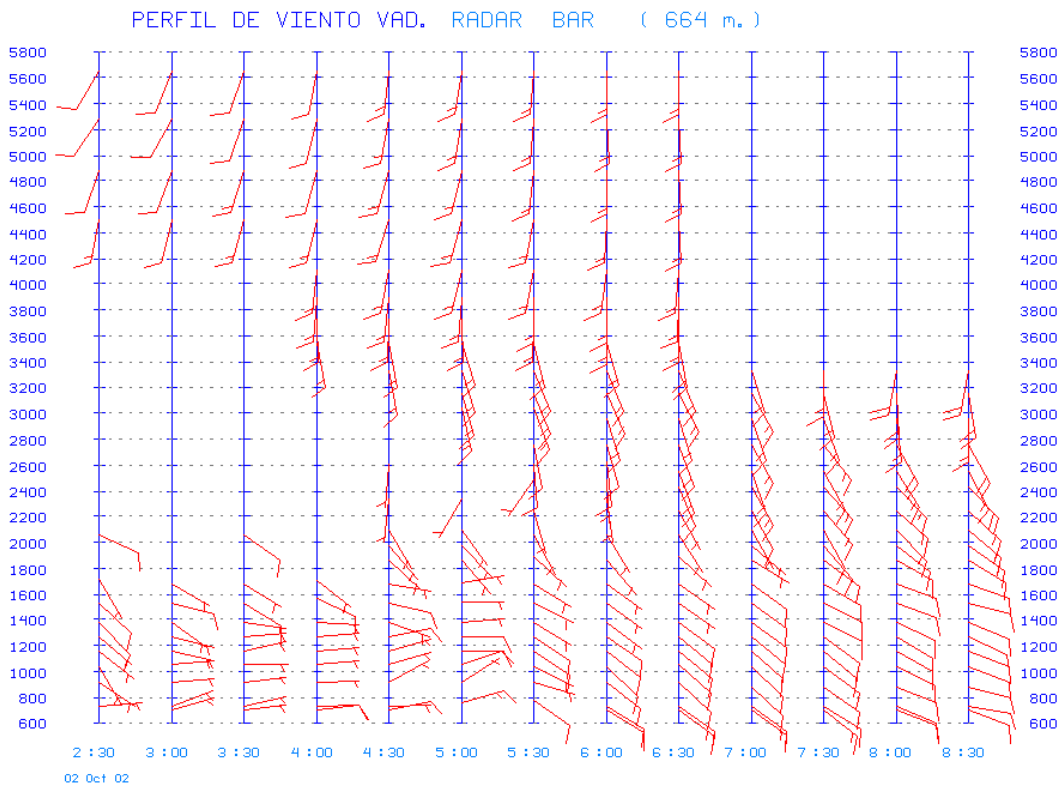


Figura 6.6. Radar de Barcelona . Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD.

## 6.2. Banda de precipitación sobre Madrid

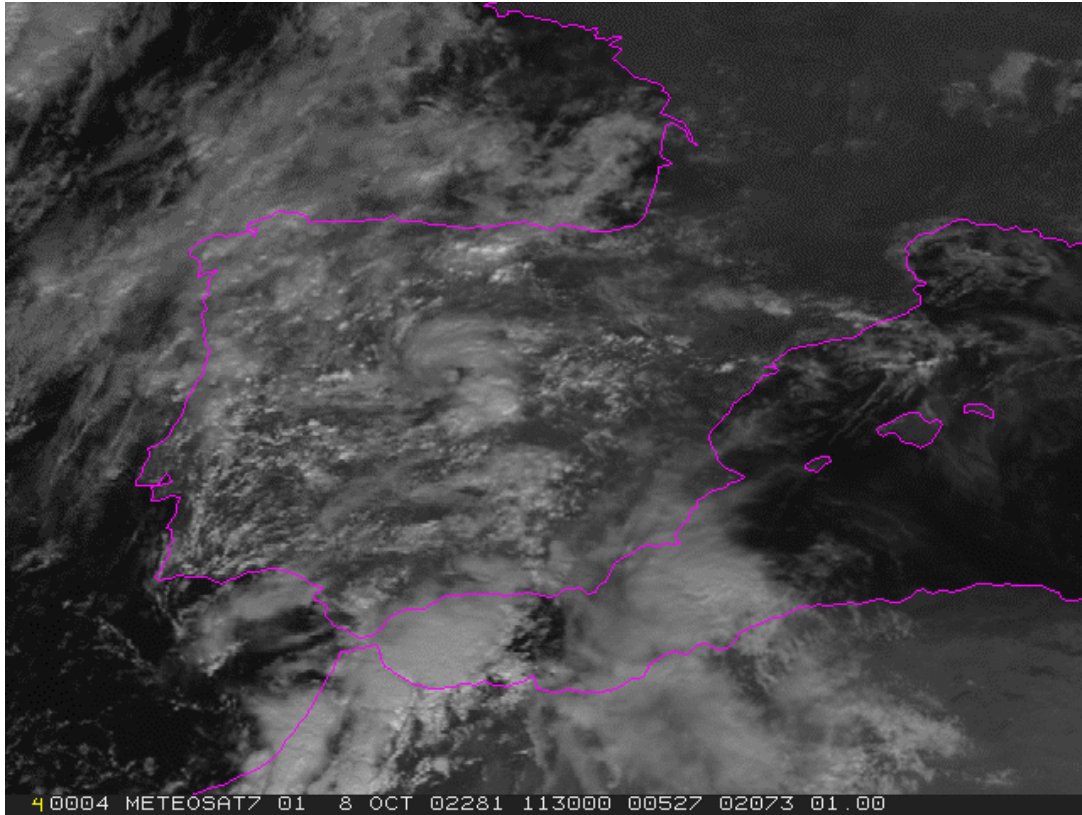


Figura 6.7. Imagen VIS de las 11:30 UTC del 8/10/02

El día objeto de estudio, 8 de octubre de 2002, está caracterizado, en la primera mitad de la jornada, por un flujo predominante de vientos de componente W, con distintas masas nubosas afectando a la Península, exceptuando las regiones del NE.

Como se puede apreciar en la imagen VIS a las 11:30 UTC, Figura 6.7, es evidente una estructura nubosa sobre la zona centro en forma de coma, bien organizada, que se está desplazando desde el SW de la Comunidad de Madrid hacia el NW y que, según se puede comprobar en la imagen del radar de Madrid, Figura 6.8, lleva asociada convección embebida con abundante actividad eléctrica.

En las imágenes 2D y 3D, Figuras 6.8 y 6.9, del análisis radar se observa que el mayor número de núcleos tormentosos, y también los más activos, con mayores reflectividades y echotops que superan los 8 Km, se encuentran en el borde delantero de la estructura. El módulo de diagnóstico de la probabilidad de granizo (San Ambrosio, 2002) indica posibilidad, en distintos momentos, de granizo pequeño, asociado a varias células situadas en la parte más meridional de la banda de precipitación.

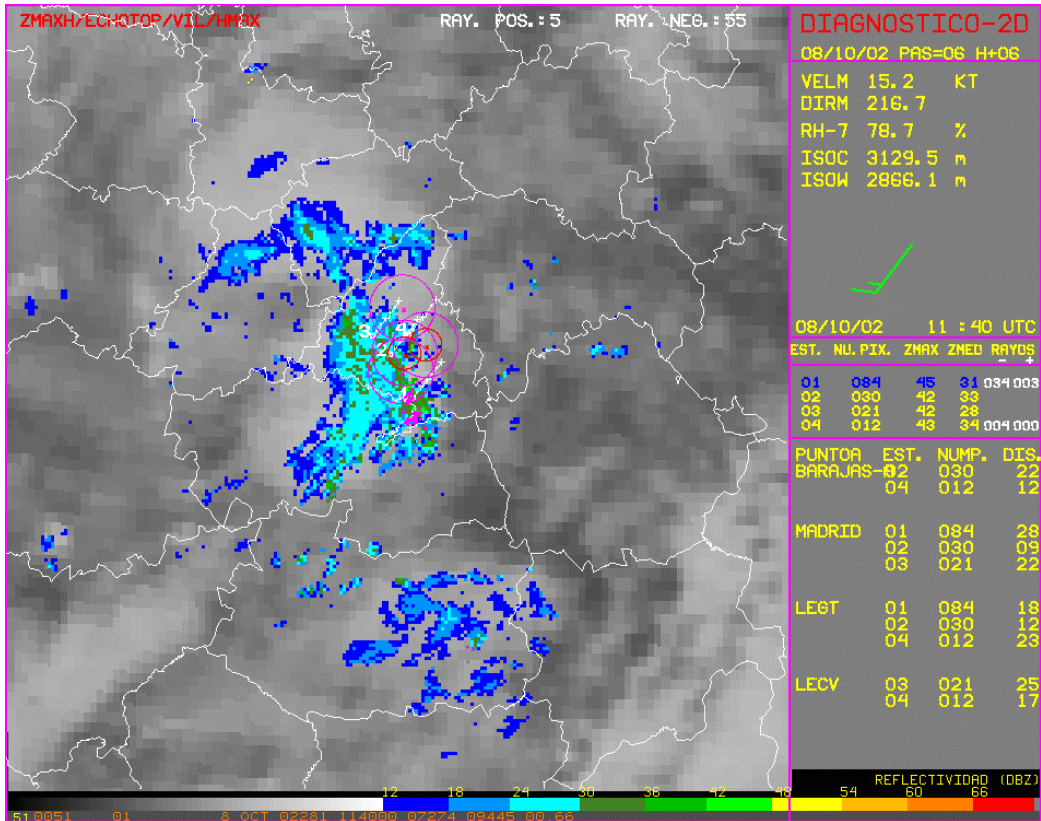


Figura 6.8. Imagen que muestra el análisis 2D del radar de Madrid a las 11:40 UTC del 8/10/02

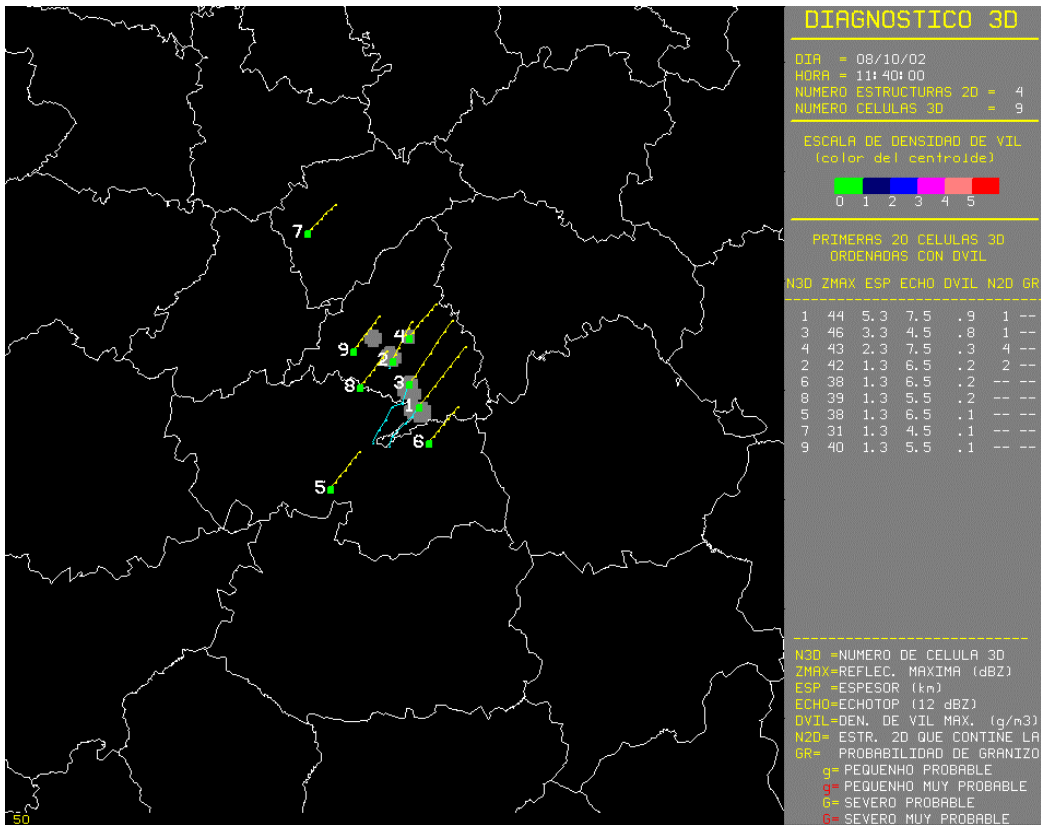


Figura 6.9. Imagen con el análisis 3D del radar de Madrid a las 11:40 UTC del 8/10/02

Utilizando los perfiles estimados mediante la técnica VAD, Figuras 6.10 y 6.11, se observa un cambio en el régimen de vientos en capas bajas, asociado con la llegada de la estructura de precipitación. Mientras que con anterioridad al paso de la misma el flujo por debajo de 1000 m presenta una marcada componente S, en el momento en que la banda afecta a la zona cercana al radar, 11:30 UTC, el viento rola al W y se intensifica. Una vez que la estructura se aleja del radar los vientos rolan a dirección SW. En capas superiores, por encima de los 1500 m, el viento no experimenta apenas variaciones, manteniéndose un flujo casi constante del SW.

Observando los datos Metar, Tabla 6.1, obtenidos en el aeropuerto de Barajas, donde la estructura de precipitación llegó más tarde que a la zona donde se encuentra localizado el radar, se puede apreciar que existen vientos flojos, de dirección variable, hasta las 11:30 UTC. A las 12:00 UTC es cuando se aprecia un fuerte incremento en la intensidad del viento, al tiempo que se establece un flujo de componente W, lo que coincide, salvando el desfase temporal de aproximadamente media hora, con las indicaciones proporcionadas por los vientos estimados mediante la técnica VAD. Posteriormente la fuerza del viento disminuye y vuelven a predominar vientos flojos variables.

En esta situación se pone de manifiesto que la disponibilidad de datos VAD ofrece grandes posibilidades para el nowcasting, permitiendo anticipar con aproximadamente media hora de antelación el cambio de intensidad y dirección del viento en zonas donde todavía no había llegado la perturbación.

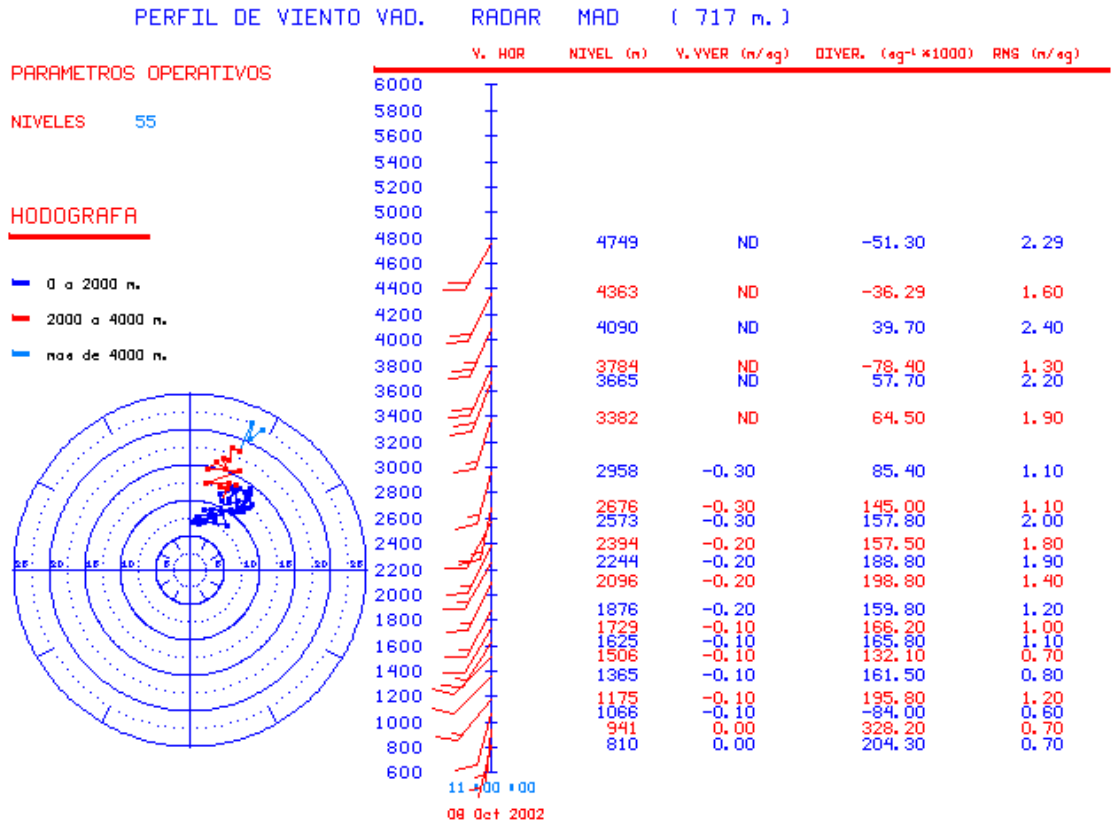


Figura 6.10. Radar de Madrid. Perfil vertical del viento estimado mediante la técnica VAD de 11:00 UTC del 8/10/02.

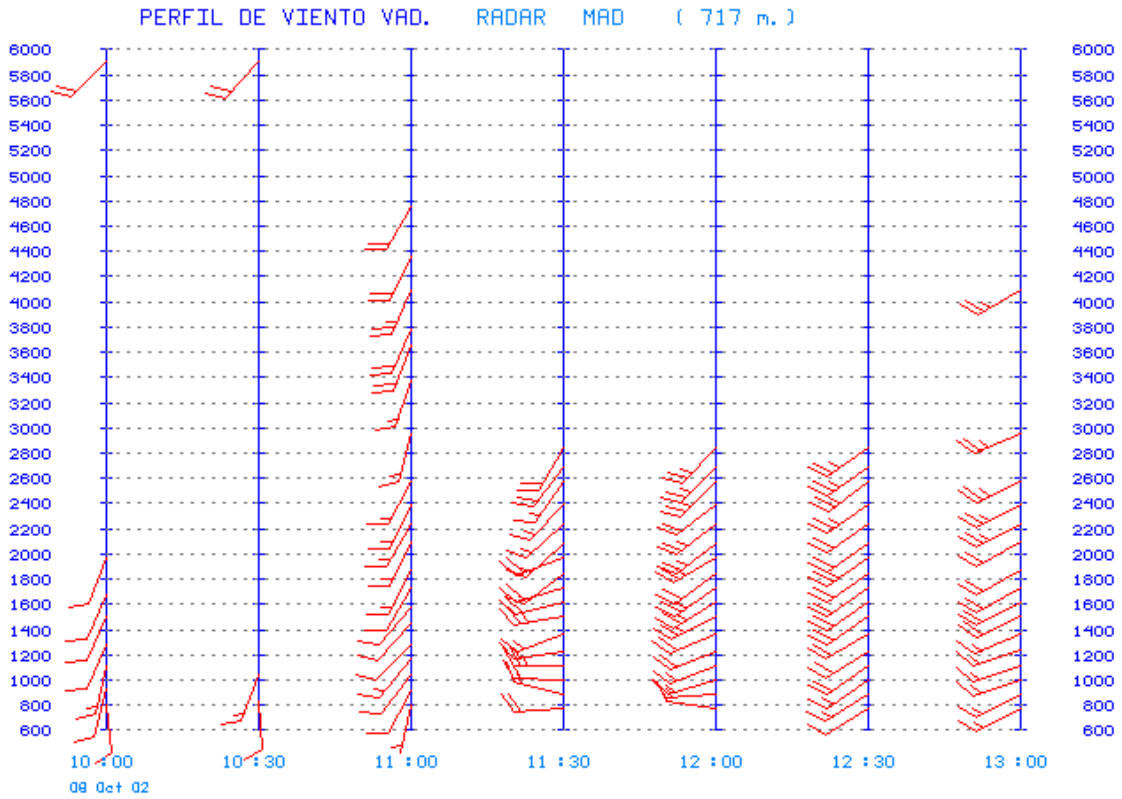


Figura 6.11. Radar de Madrid. Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD.

LISTADO DE DATOS METAR, FECHA: 2002281

ID	TIME	DIR	SP	GU	VIS	W	WX1	CCL1	ZC1	CCL2	ZC2	CCL3	ZC3	CCL4	ZC4	T	TD	PSL	
LEMD	100000	999	02		10000			SCT	3000	BKN	4500					18	13	1011	
LEMD	103000	999	02		9000		RA	FEW	2300	BKN	4000					17	13	1010	
LEMD	110000	360	03		10000			FEW	3000	BKN	7000					18	13	1010	
LEMD	113000	999	02		10000			SCT	3000	BKN	6000					18	13	1009	
LEMD	120000	280	12		1000	+	TSRA	BKN	4000				BKN	2000		15	14	1010	
LEMD	123000	280	06		3000		TSRA	BKN	4000				SCT	2000		14	14	1009	
LEMD	130000	999	01		6000	-	RA	BKN	5000				FEW	2000		15	14	1009	
LEMD	133000	999	02		10000			SCT	5000	BKN	12000			FEW	2000		16	14	1008
LEMD	140000	190	06		10000			FEW	1200	SCT	6000	BKN	12000			17	14	1008	

Number of matches found = 9

Tabla 6.1. Aeropuerto de Barajas. Listado de datos Metar.

### 6.3. Sistema frontal en el NW peninsular

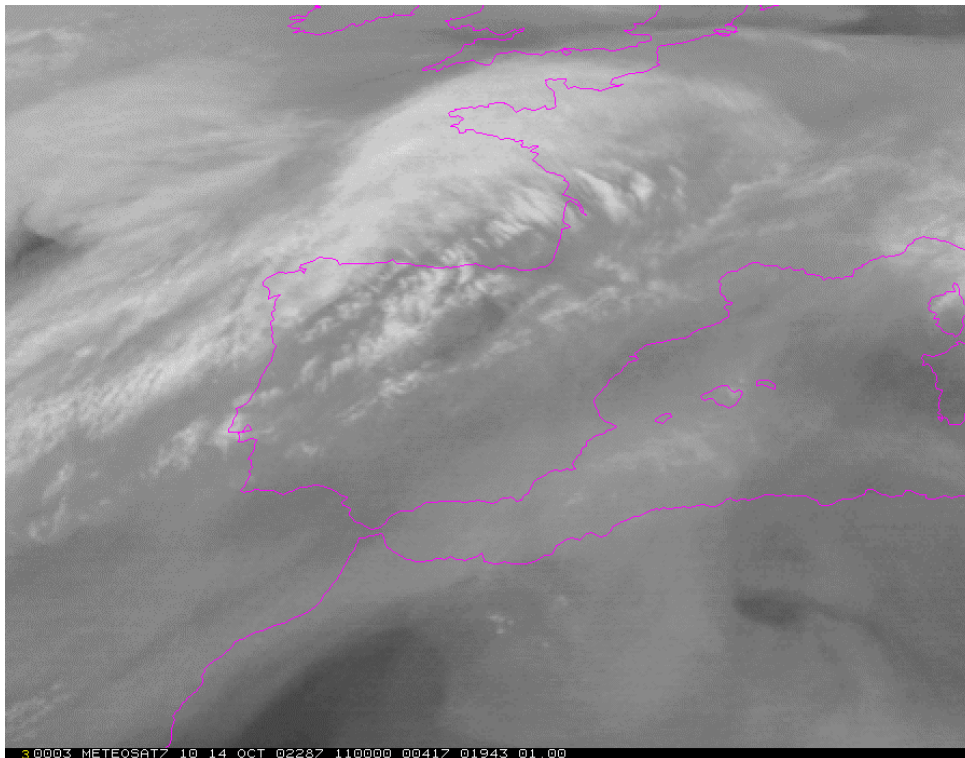


Figura 6.12. Imagen WV de las 11:00 UTC del 14/10/02

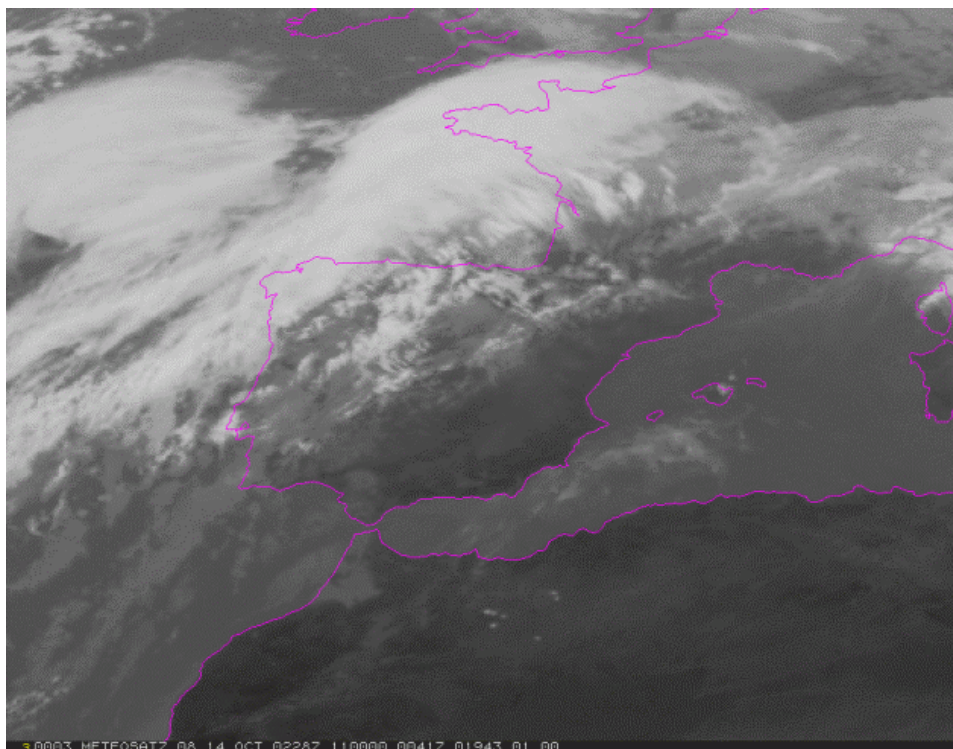


Figura 6.13. Imagen IR de las 11:00 UTC del 14/10/02

Este día, 14 de octubre de 2002, se caracterizó por el paso de un sistema frontal que se aproximó por el Atlántico Norte y barrió todo el NW peninsular.

Para realizar un estudio del régimen de vientos en la zona utilizaremos las imágenes del viento radial en modo Doppler y los perfiles de viento estimados mediante la técnica VAD, destacando la ayuda de estos últimos a la hora de interpretar dichas imágenes radar, en las que la visualización del viento no se realiza de modo directo.

Tanto en la imagen WV, Figura 6.12, como en la del canal IR, Figura 6.13, se puede observar banda una baroclina frontal, que a las 8:00 UTC se encontraba localizada en las costas del NW peninsular y que atravesó en las siguientes horas la comunidad gallega, dejando precipitaciones de tipo estratiforme, Figura 6.14. Por detrás del sistema frontal y casi en el borde de las imágenes se puede observar un proceso de ciclogénesis en aire frío.

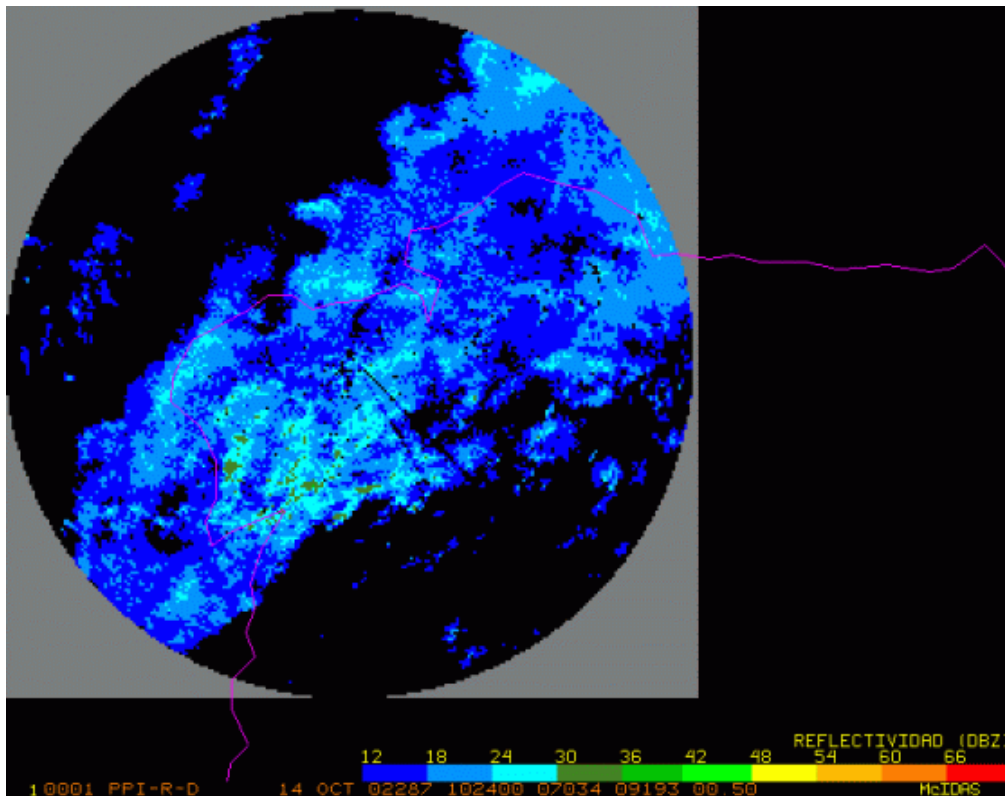


Figura 6.14. Radar Doppler de A Coruña de 10:24 UTC del 14/10/02

Como se puede apreciar en la evolución del viento estimado mediante la técnica VAD, Figura 6.15, entre las 7:00 y las 7:30 UTC se produce un cambio de dirección en capas bajas, por debajo de los 2000 m, con una rotación de componente N a dirección NNE, para pasar en la siguiente media hora a componente E. Esto es un reflejo de la presencia por delante del frente frío del sector cálido, dentro del cual existe una advección de aire cálido. Conforme avanzan las horas y el frente frío se aproxima a Galicia la advección de aire cálido se va limitando a una capa superficial cada vez más estrecha, mientras el flujo en capas superiores va rolando a SSW, hasta afectar prácticamente a toda la troposfera baja.

Este cambio en la dirección del viento coincide con el paso del frente, desapareciendo el flujo del E entre las 11:00 y 11:30 UTC, como se puede observar en el perfil VAD de las 11:00 UTC, Figura 6.16, o en la imagen de viento radial del radar de A Coruña, Figura 6.17.

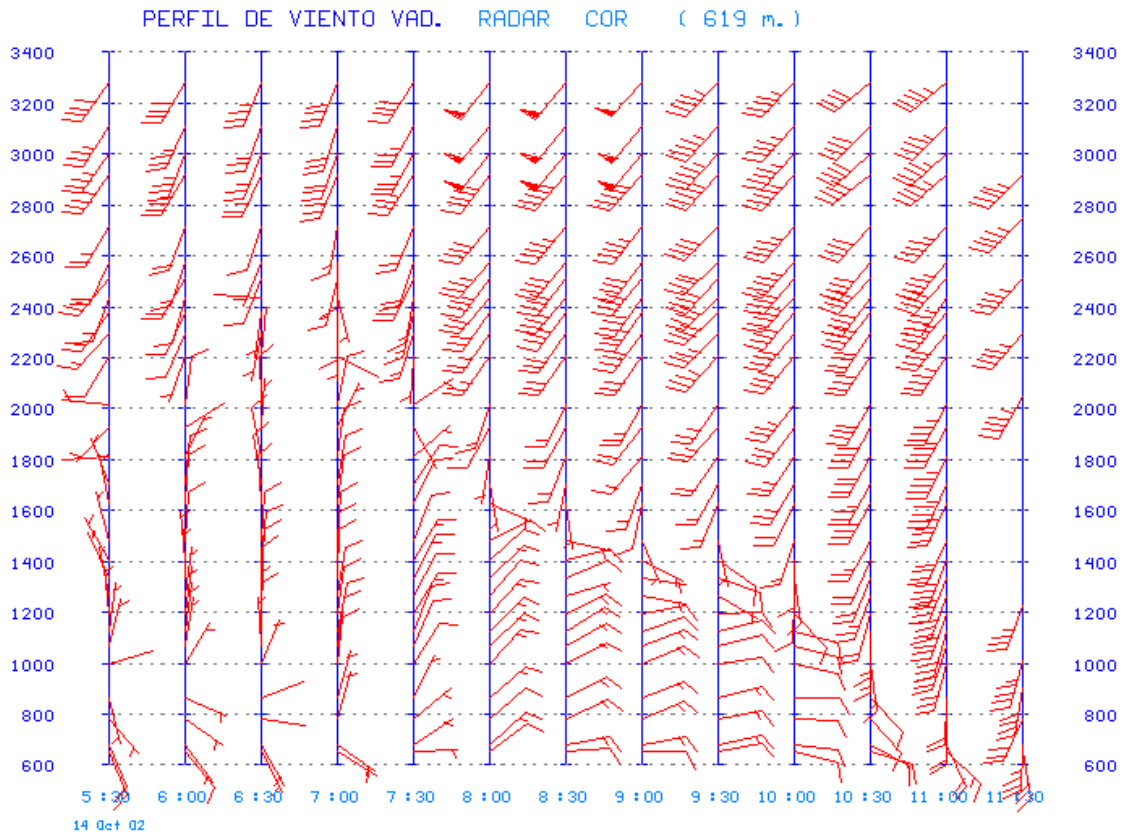


Figura 6.15. Radar de A Coruña. Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD.

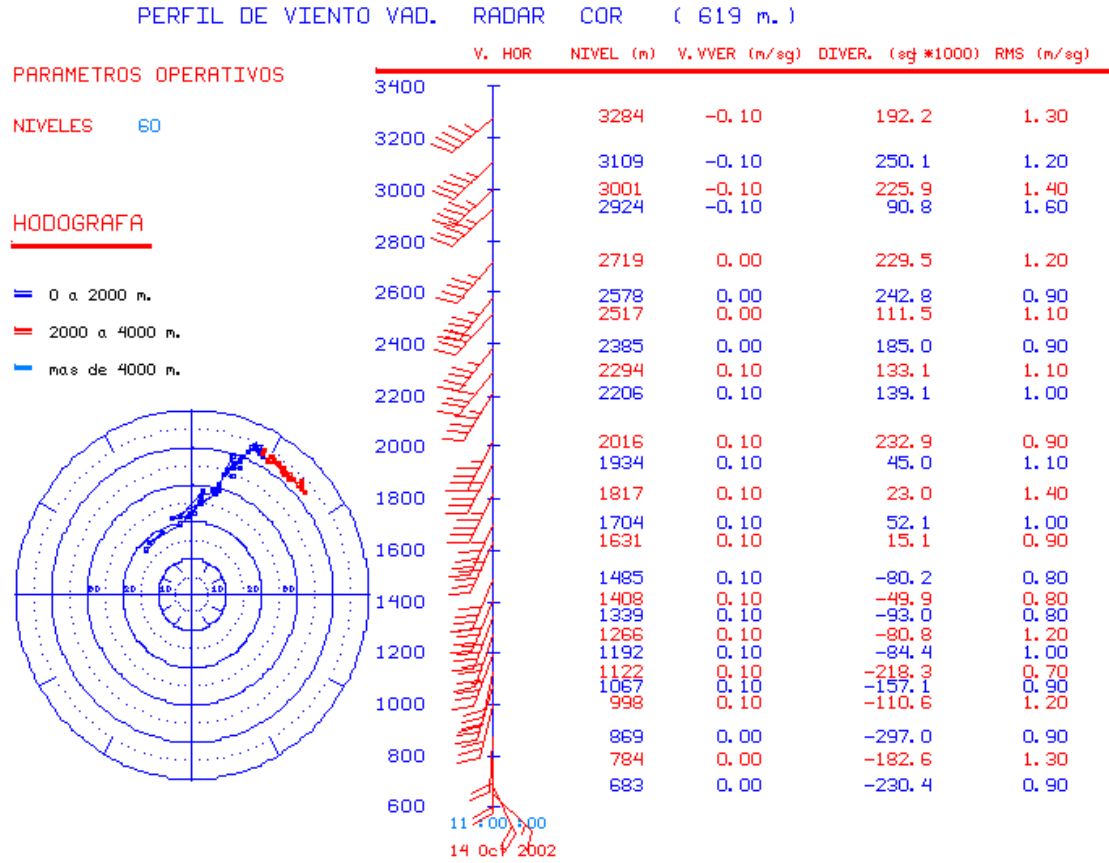


Figura 6.16. Radar de A Coruña. Perfil vertical del viento estimado mediante la técnica VAD de 11:00 UTC del 14/10/02.

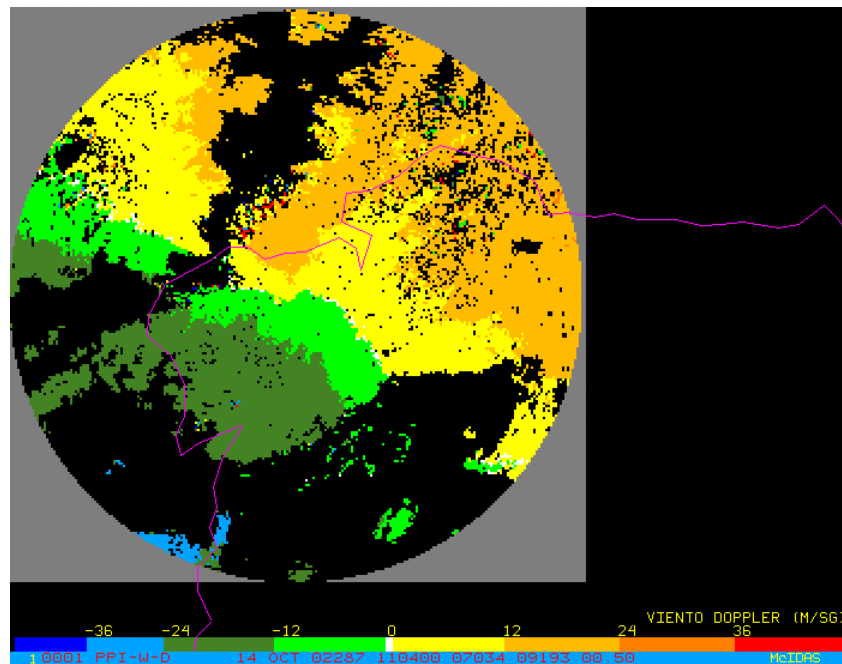


Figura 6.17. Imagen del viento radial del radar de A Coruña de 11:04 UTC del 14/10/02

## 7. USO COMBINADO DE LOS PERFILES DE VIENTO VAD E IMÁGENES DE VIENTO RADIAL DOPPLER. EJEMPLOS

La intención de esta sección es destacar la ayuda que pueden proporcionar los perfiles de viento VAD a la hora de interpretar las imágenes de viento radial Doppler, sin olvidar la información complementaria que ofrecen, principalmente en aquellos niveles donde no es posible obtener información del viento radial. Para ello se han elegido distintas situaciones asociadas a varios fenómenos. No se trata de presentar casos de estudio de esas situaciones, sino ejemplos de cómo se pueden complementar las informaciones ofrecidas la técnica VAD y por las imágenes de viento radial.

### 7.1. A Coruña, 29 de octubre de 2002

La imagen de viento radial Doppler de A Coruña, Figura 7.1, de las 15:04 UTC muestra en las proximidades del radar viento del SW que conforme nos vamos alejando del él (y por tanto elevándonos en altura) va rolando a dirección SSW. Esta rotación del viento con la altura se aprecia claramente con la curvatura de la línea de grises que separa las zonas donde la componente radial del viento se acerca y aleja de la posición del radar. En la evolución de los perfiles de viento VAD, Figura 7.2, se observa cómo hasta las 13:30 UTC existe sobre A Coruña un flujo de componente S en capas inferiores a 1200 m. Entre esta hora y la siguiente se produce un cambio en la dirección del viento que rola a SW en el estrato comprendido entre el nivel del radar y unos 2000 m, además de producirse un incremento de la intensidad. Por encima de este nivel a partir de las 14:00 UTC existe un marcado flujo del SSW.

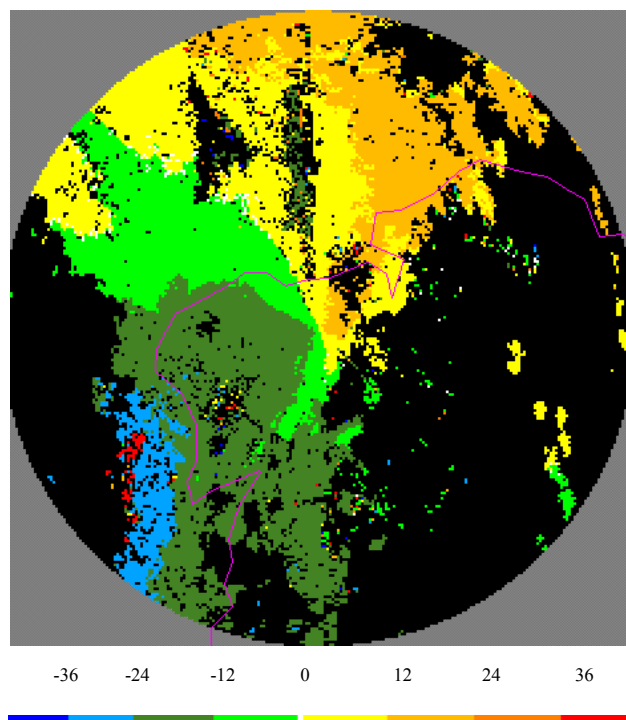


Figura 7.1 Imagen de viento radial del radar de A Coruña de 15:04 UTC del 29/10/02

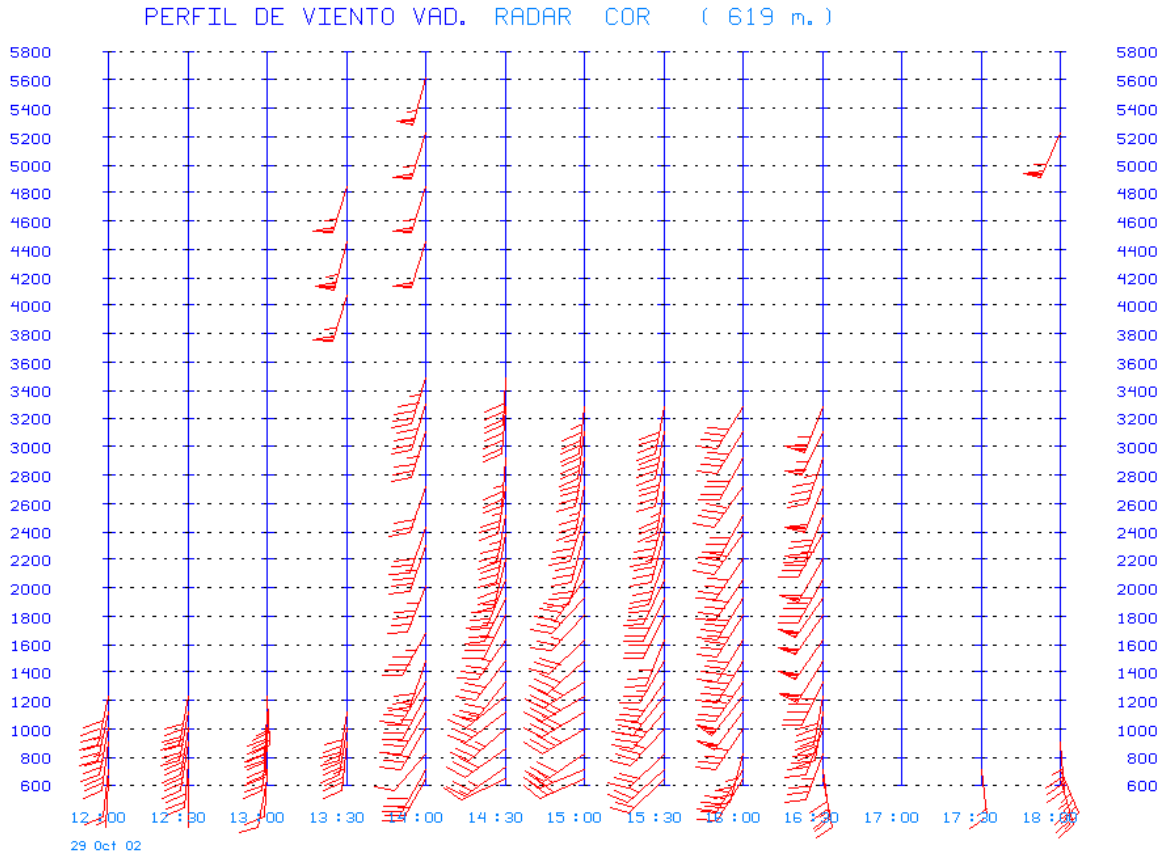


Figura 7.2. Radar de A Coruña. Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD.

## 7.2. Zaragoza, 6 de noviembre de 2002

El fenómeno a destacar es la existencia de cierzo fuerte en el valle del Ebro, recogido por el radar de Zaragoza, con vientos de aproximadamente 40 Kt hasta los 1800 m. y de 50 Kt. a partir de ese nivel, como se aprecia en la evolución de los perfiles de viento VAD, Figura 7.3. En la imagen de viento radial, Figura 7.4, se observa que la dirección del viento, NW, es constante con la altura, al no presentar la línea de grises prácticamente curvatura. Es interesante señalar el máximo de viento que existe a una altura próxima al radar, como se aprecia en la imagen Doppler.

Para facilitar la comprensión de la imagen radar se puede utilizar el modelo conceptual de la Figura 7.5. Modelos conceptuales apropiados que se utilizarán en algunos ejemplos de este apartado pueden consultarse en Online Meteorology Guides de la University of Illinois. En éste la dirección de viento es constante y el módulo va aumentando con la altura hasta la mitad del radio de acción del radar, decreciendo progresivamente en niveles superiores, algo parecido (salvando las distancias) a lo que ocurre entre 900 y 1600 m a las 22:00 UTC.

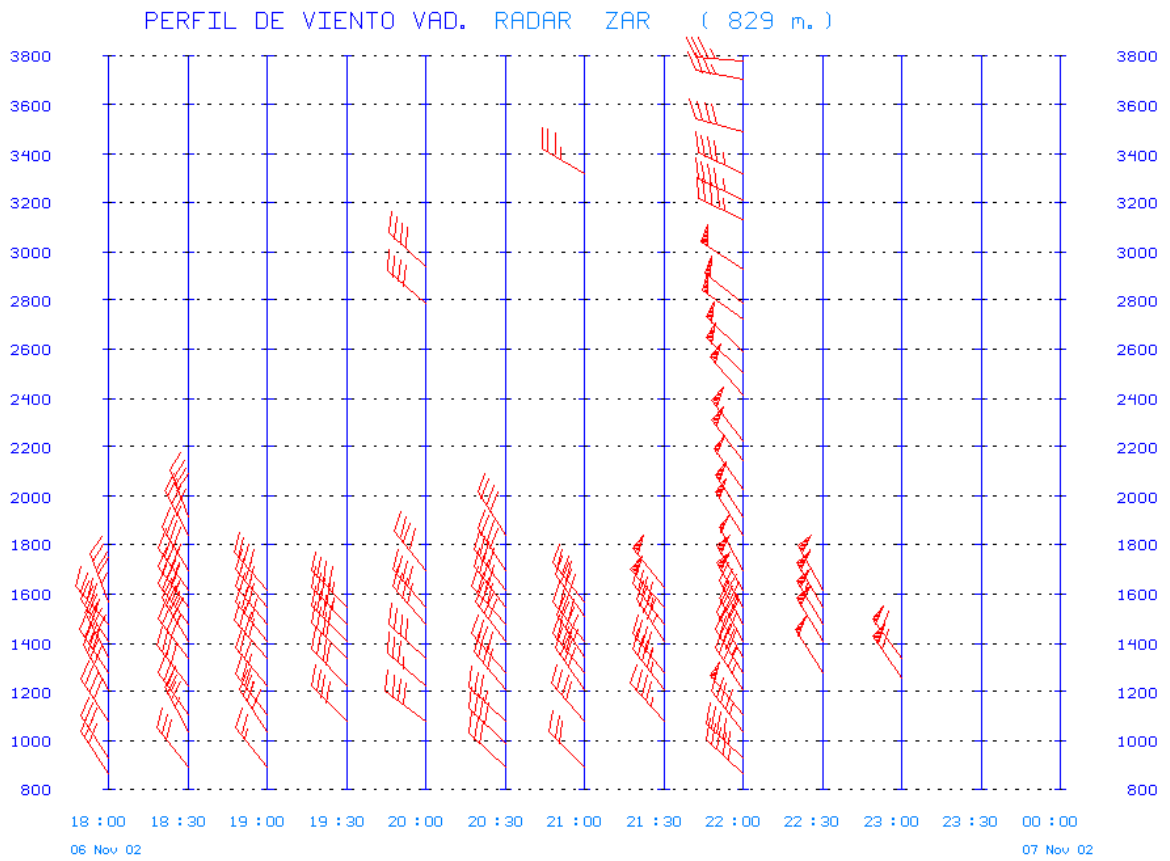


Figura 7.3. Radar de Zaragoza. Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD.

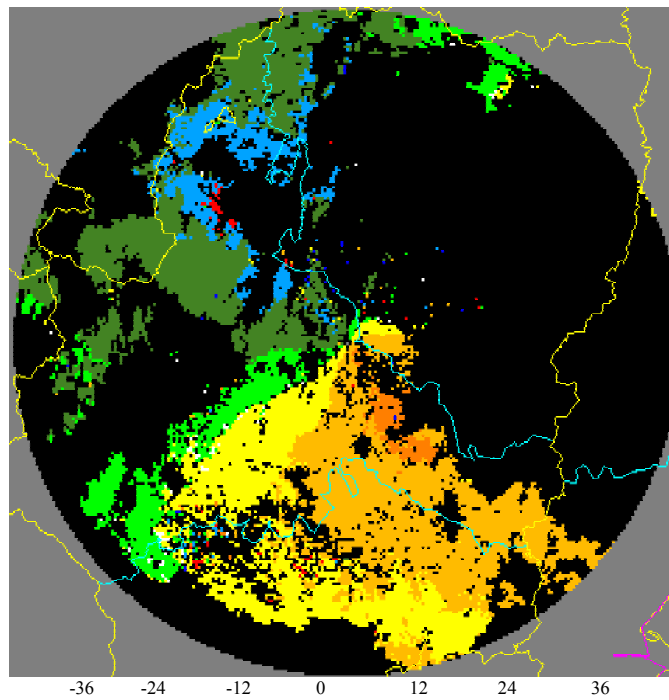


Figura 7.4. Imagen de viento radial del radar de A Coruña de 22:04 UTC del 6/11/02

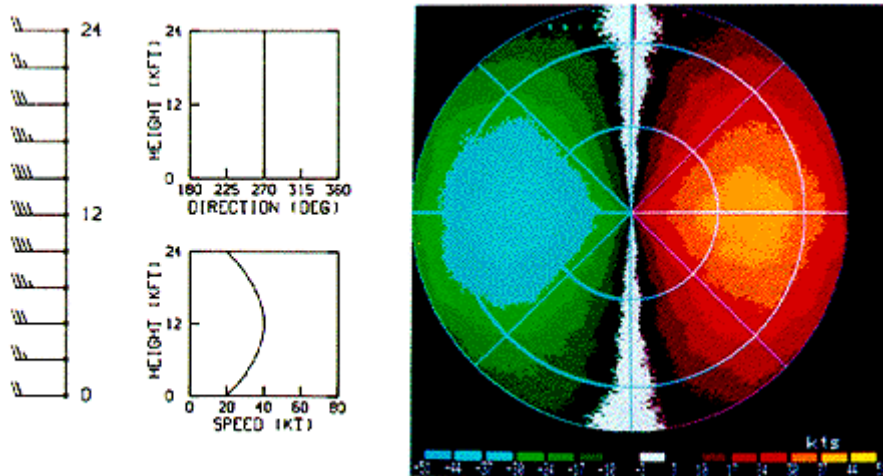


Figura 7.5 Modelo conceptual para la interpretación de imágenes de viento radial: dirección de viento constante del W para todos los niveles y módulo aumentando con la altura hasta la mitad del radio de acción del radar, decreciendo progresivamente después. (Figura extraída de *Online Guides from University of Illinois*)

### 7.3. Sevilla, 14 de noviembre de 2002

En esta situación destaca un estrato de cizalladura significativa en niveles bajos, entre superficie y 2000 m. En la imagen radial Doppler, Figura 7.6, se aprecia claramente a las 6:04 UTC el citado estrato de cizalladura. Mientras que en las proximidades del radar se observa la existencia de vientos de dirección SE, conforme nos alejamos del radar y por consiguiente nos encontramos a una altitud superior el viento rola a dirección SW. Entre ambas direcciones se aprecian en el campo de viento algunas singularidades de menor escala.

Según se observa en la evolución de los perfiles VAD, Figura 7.7, entre las 6:00 y las 9:00 UTC existe un estrato de cizalladura, con vientos por debajo de los 800 m. de dirección SE que rotan rápidamente a dirección SW y aumentan de intensidad a partir este nivel. A partir de las 10:00 UTC desaparece la capa de cizalladura, rotando progresivamente los vientos de dirección SW a W en la capa próxima al suelo.

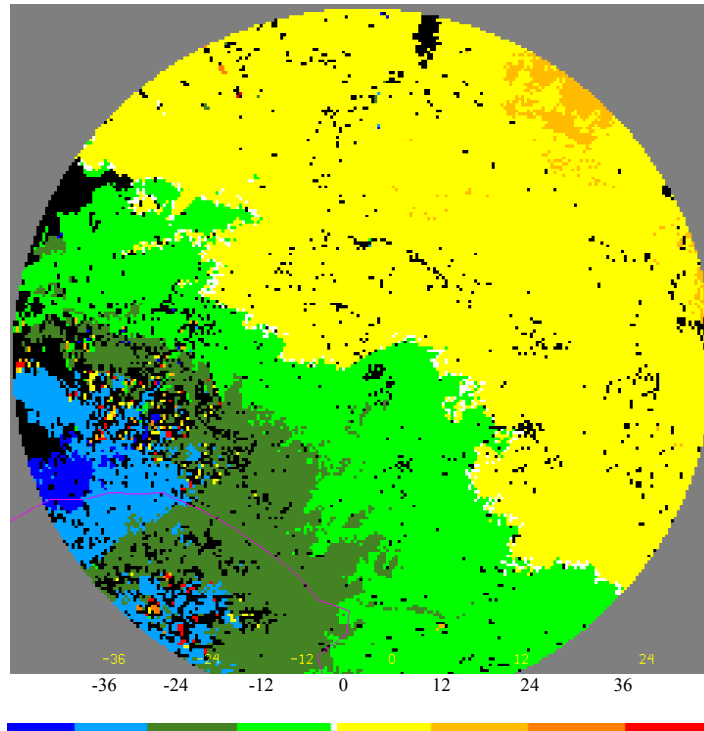


Figura 7.6. Imagen de viento radial del radar de Sevilla de 06:04 UTC del 14/11/02

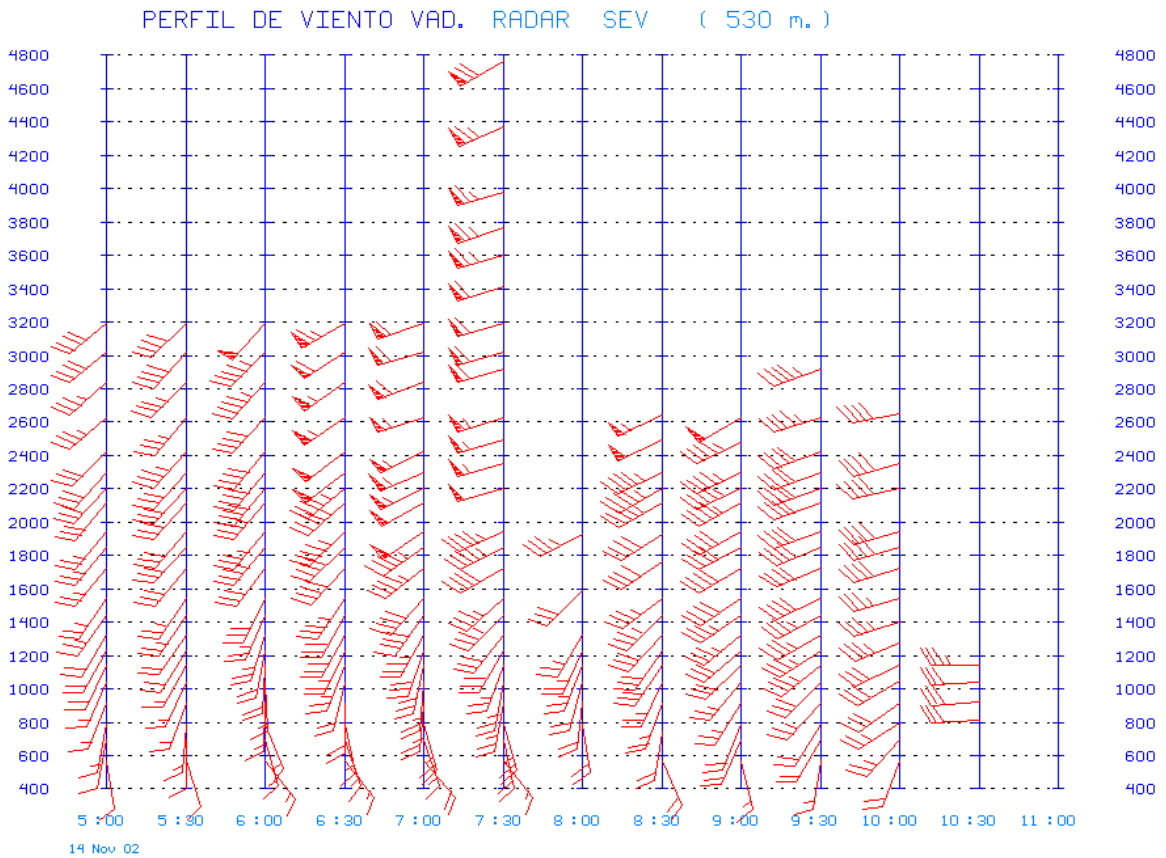


Figura 7.7. Radar de Sevilla. Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD.

#### 7.4. Sevilla, 19 de noviembre de 2002

En la imagen de viento radial Doppler de las 9:34 UTC, Figura 7.8, se aprecia que en las proximidades del radar la línea de puntos grises es horizontal, lo que indica un flujo de vientos de dirección S a nivel del radar. Inmediatamente en niveles superiores se observa como la dirección va cambiando y con ello el flujo de vientos, rolando rápidamente de dirección S a WSW para volver a rolar seguidamente a SW.

Este mismo estrato con cizalladura se puede observar en la evolución del viento VAD, Figura 7.9, concretamente en el perfil correspondiente a las 9:30 UTC. Este perfil vertical de viento nos muestra un débil chorro en capas bajas de dirección S, hasta aproximadamente 600 m. A partir de este nivel el viento rola rápidamente a SW. La evolución de los perfiles VAD muestra que a partir de las 9:30 se produce un giro del viento a dirección WSW por debajo de los 1000 m.

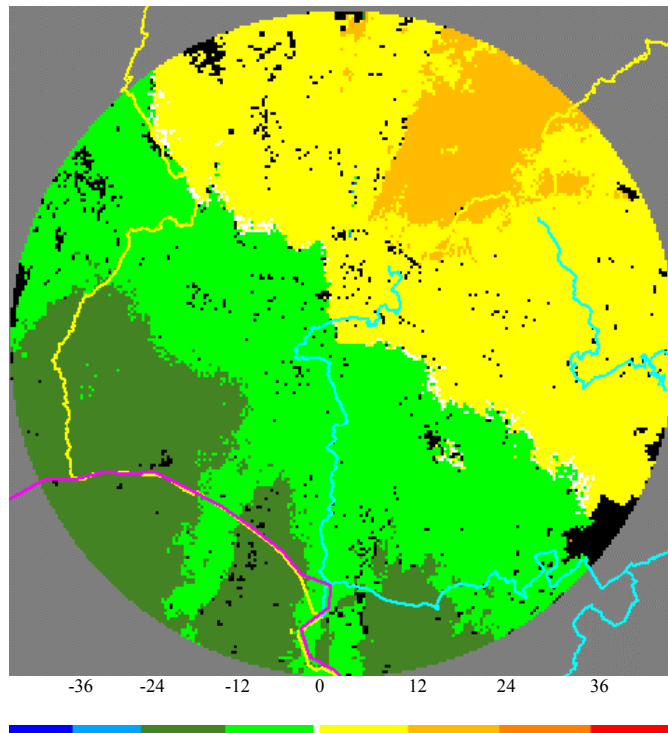


Figura 7.8 Imagen de viento radiar del radar de Sevilla de 09:34 UTC del 19/11/02

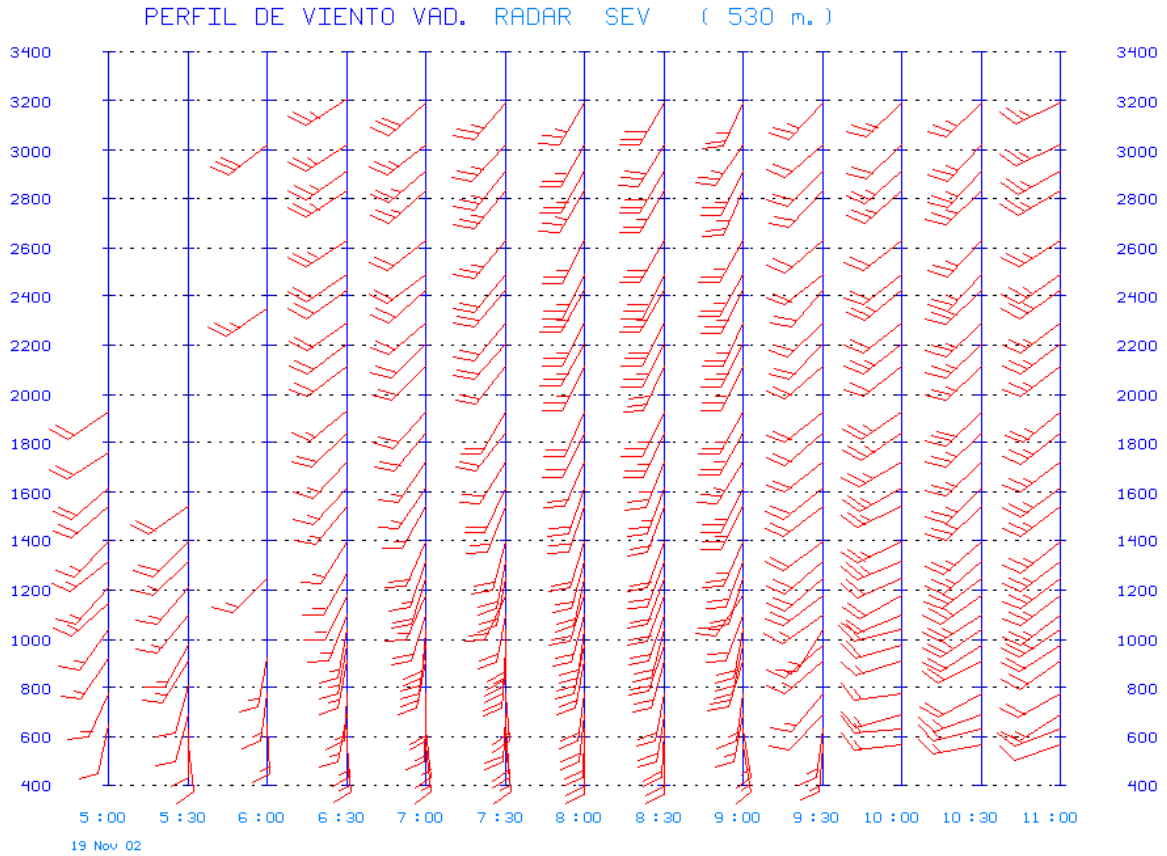


Figura 7.9. Radar de Sevilla. Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD.

### 7.5. Las Palmas, 16 de diciembre de 2002

Observando la imagen de viento radial Doppler, Figura 7.10, se comprueba que la línea gris que separa aquellos vientos que se aproximan y alejan de la posición del radar no tiene prácticamente curvatura, lo que indica que los vientos no varían en dirección con la altura, manteniéndose del SW. Si trazamos una perpendicular a la citada línea de puntos en la posición del radar se aprecia un flujo de vientos uniforme de dirección SW, con intensidad aproximadamente constante conforme vamos alejándonos del radar (elevándonos en altura) y hasta la máxima altura de la que se dispone información.

En la evolución de los perfiles de viento VAD, Figura 7.11, se aprecia desde las 4:30 hasta las 10:30 UTC un flujo de viento del SW muy intenso, prácticamente constante con la altura.

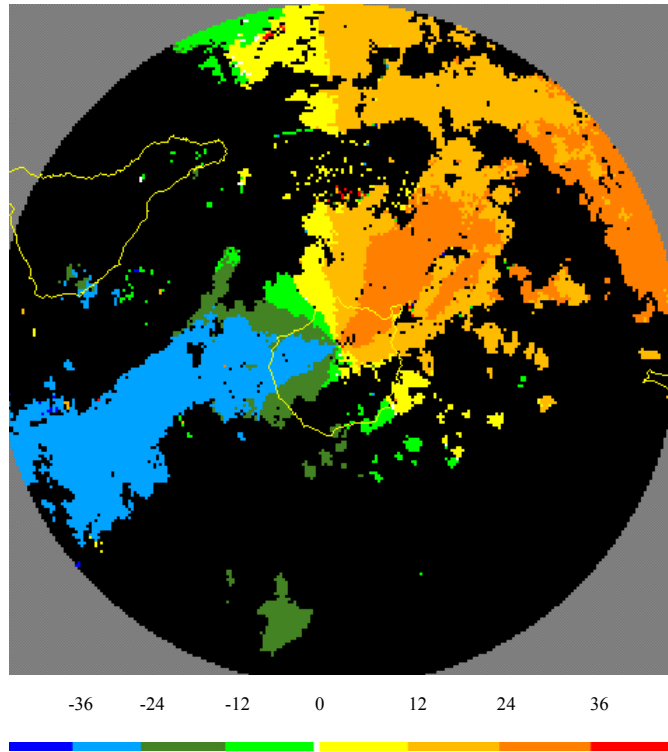


Figura 7.10 Imagen de viento radiar del radar de Las Palmas de 06:04 UTC del 16/12/02

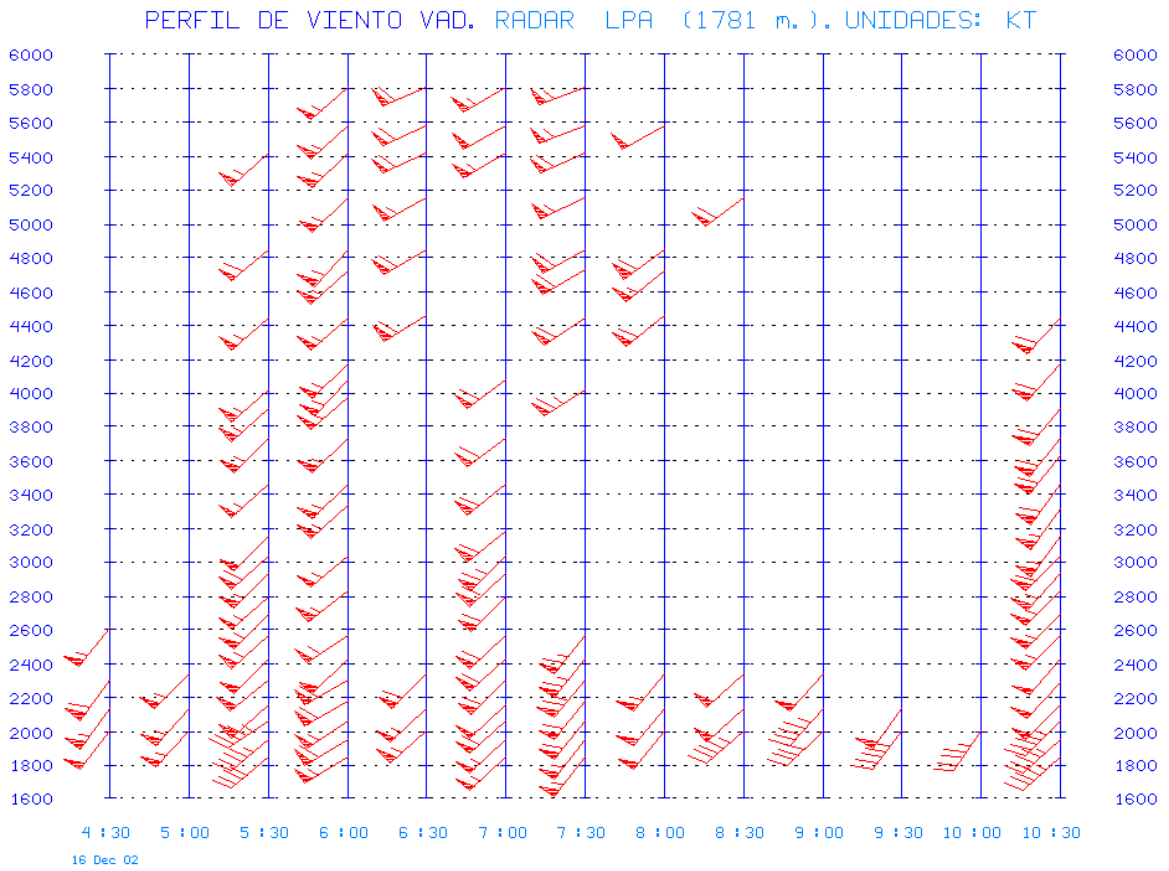


Figura 7.11. Radar de Las Palmas. Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD

### 7.6. Sevilla, 17 de diciembre de 2002

En la imagen de viento radial, Figura 7.12, se aprecia como en las proximidades del radar y, por lo tanto, en niveles verticales próximos a él, la línea de grises es prácticamente horizontal, lo que indica un flujo de componente S. Conforme nos alejamos de la posición del radar la línea se va inclinando, mostrando una rotación de los vientos progresiva de componente S a SW con la altura. Mediante la escala de colores se observa que conforme nos elevamos en altura la intensidad del viento va aumentando.

La evolución de los perfiles verticales VAD, Figura 7.13, muestra entre las 2:30 UTC y las 4:00 UTC vientos moderados de componente S hasta 600-700 m, que van rolando a dirección SW y aumentado en intensidad, alcanzando 50 Kt. por encima de los 1400m.

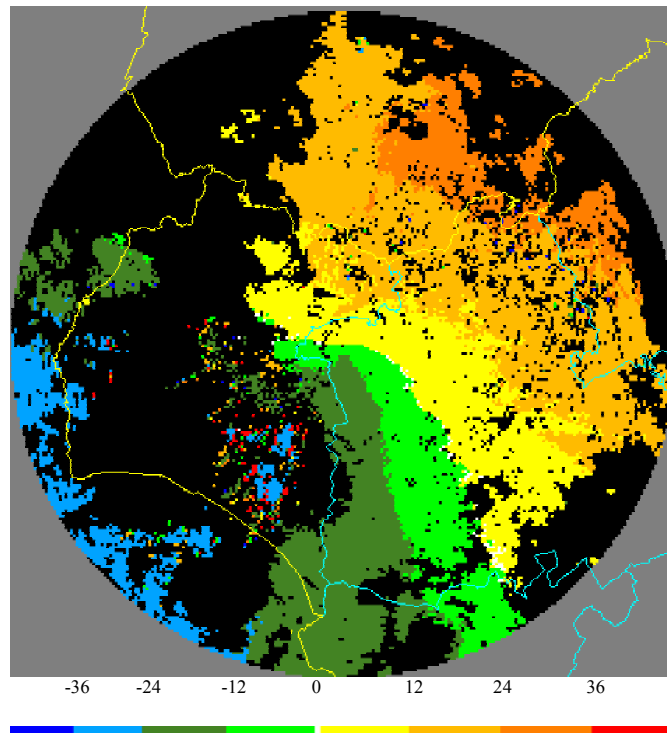


Figura 7.12. Imagen de viento radial del radar de Sevilla 04:04 UTC del 17/12/02

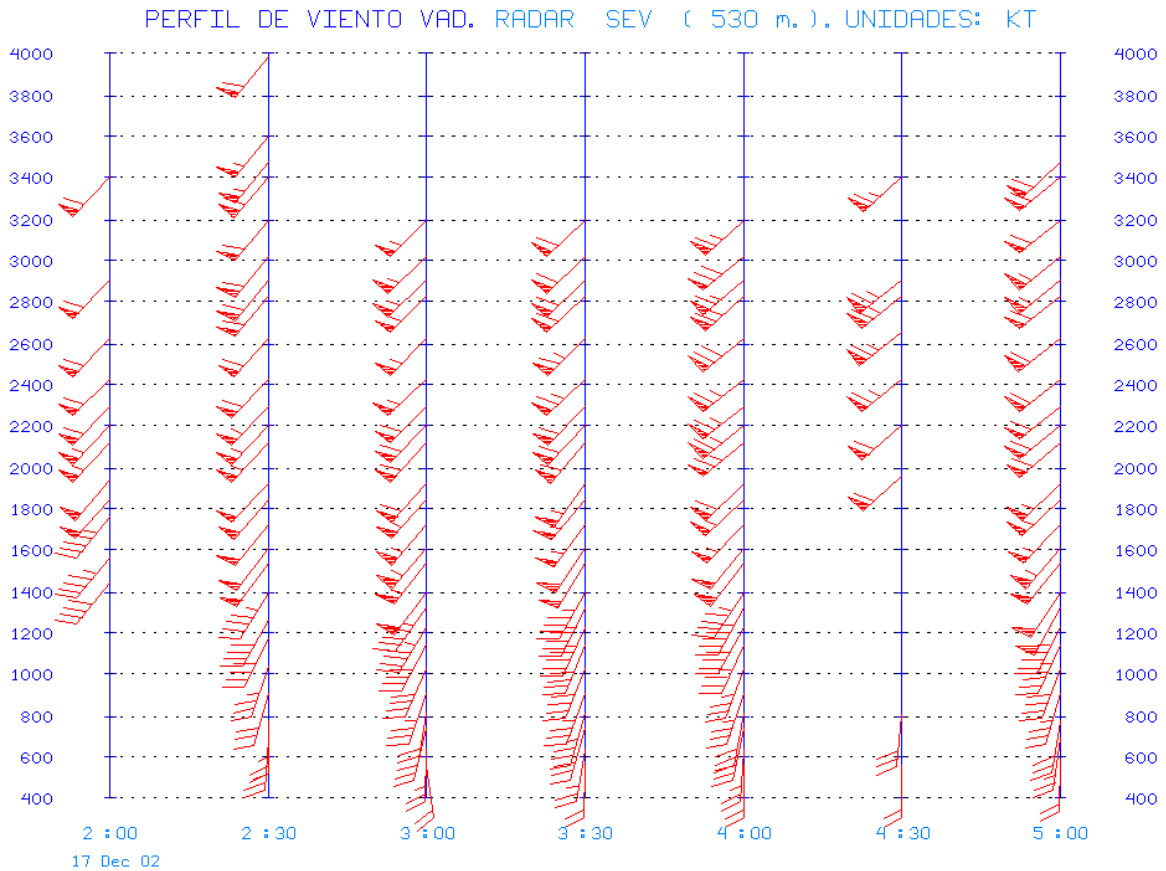


Figura 7.13. Radar de Sevilla. Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD

### 7.7. A Coruña, 20 de enero de 2003

En este caso el fenómeno meteorológico a destacar es el paso de un sistema frontal que barrió el noroeste peninsular. En la imagen de viento radial Doppler de las 6:30 UTC, Figura 7.14, y concretamente en el centro de la imagen se aprecia claramente una estructura de “S” doble, con un flujo que gira anticiclónicamente con la altura, dando lugar a un débil advección cálida, con vientos del SSW a nivel del radar, que van rolando más arriba a dirección SW y W. Si continuamos alejamos del radar nos encontramos con una señal que podría estar asociada al frente, con un flujo del NW por detrás y del SW en la parte delantera. Si continuamos alejándonos de la posición del radar el flujo vuela a rolar a dirección WSW para girar posteriormente a NW. La intensidad prácticamente se mantiene constante con la altura. Para la mejor comprensión de esta imagen y su significado se ha incluido un modelo conceptual en la Figura 7.15.

Los perfiles de viento VAD. Figura 7.16, indican la presencia de vientos constantes en intensidad en la vertical y de dirección SSW a nivel del radar que van rolando a SW con la altura.

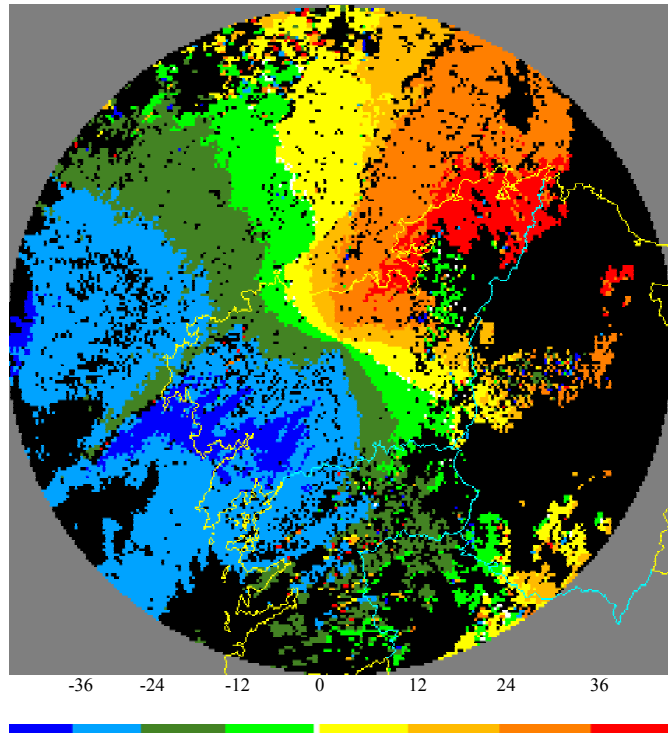


Figura 7.14. Imagen de viento radial del radar de A Coruña de 06:34 UTC del 20/01/03

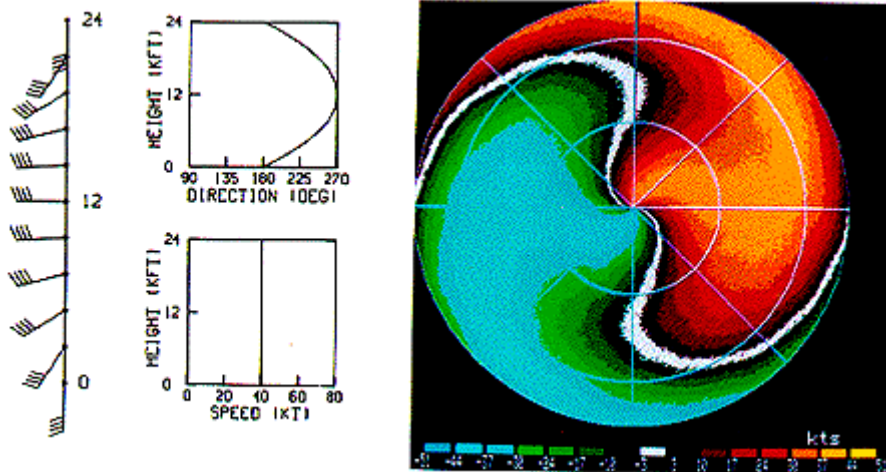


Figura 7.15 Modelo conceptual: patrón característico de una “S” doble. Intensidad constante con la altura. (Figura extraída de *Online Guides from University of Illinois*)

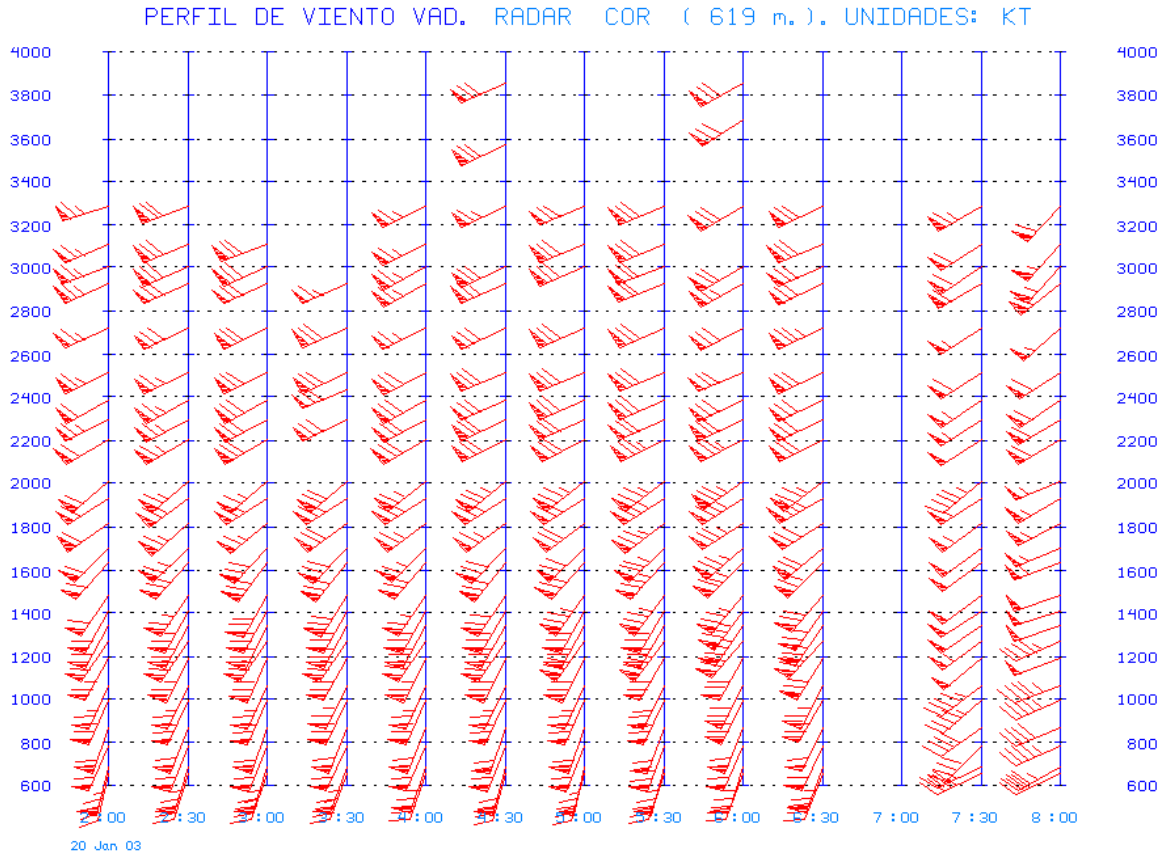


Figura 7.16. Radar de A Coruña. Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD.

### 7.8. Valladolid, 20 de enero de 2003

Se corresponde con la misma situación señalada en el apartado anterior, con el sistema frontal atravesando la zona central de Castilla León sobre las 17:00 UTC. Se puede observar en la imagen de viento radial Doppler, Figura 7.17, el frente frío situado sobre el este de la provincia de Valladolid, con vientos por delante del frente de dirección SW y del WNW por detrás. La intensidad del viento aumenta con la altura.

En la evolución de los perfiles de viento estimados mediante la técnica VAD, Figura 7.18, a las 15:00 UTC se aprecia un flujo fuerte del SW que va creciendo en intensidad con la altura, superando los 55 kt. a 1500m. de altitud.

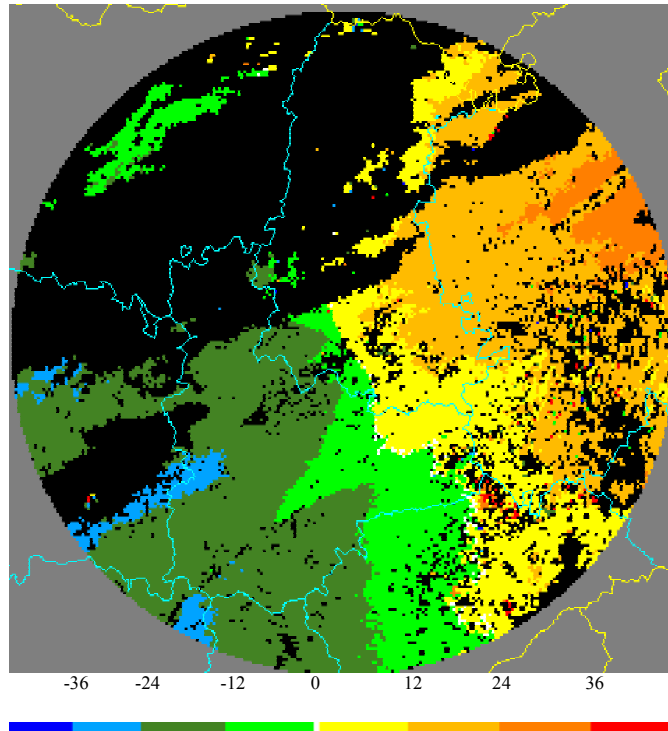


Figura 7.17. Imagen de viento radial del radar de Valladolid de 17:04 UTC del 20/01/03

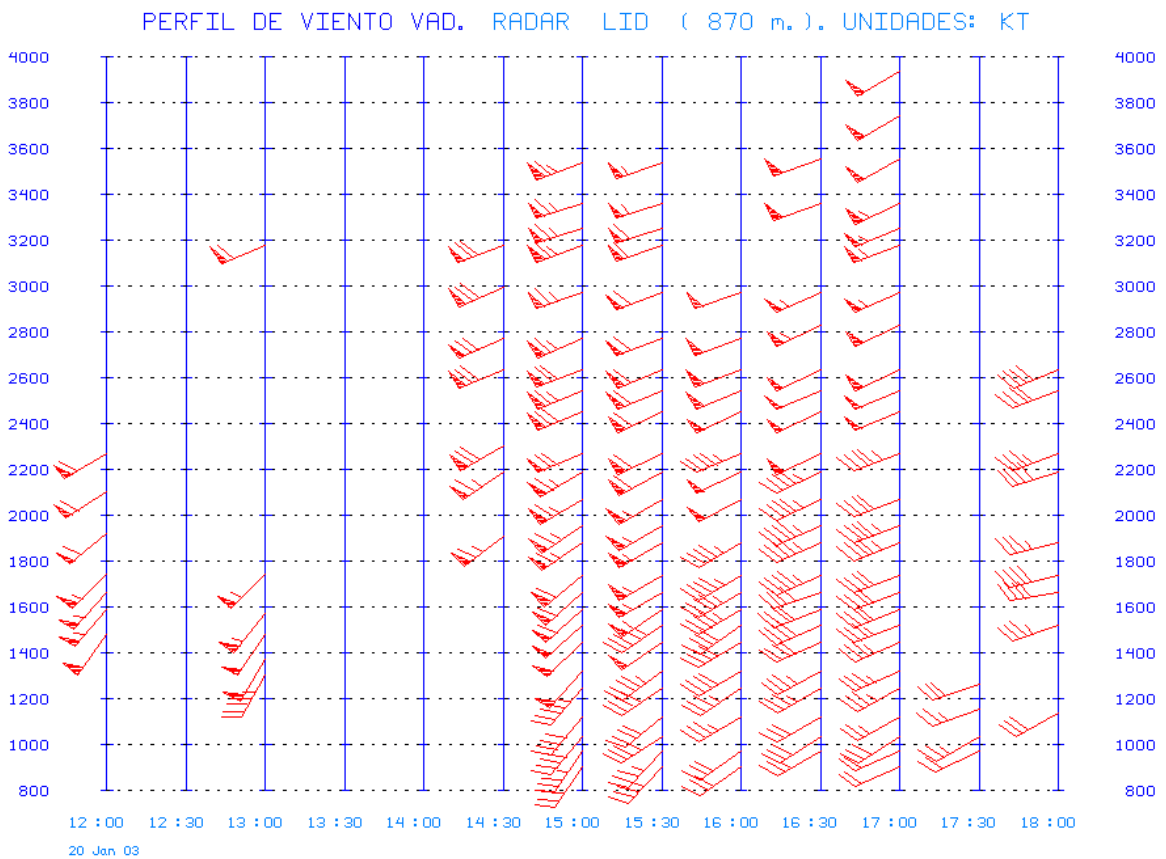


Figura 7.18. Radar de Valladolid. Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD

### 7.9. A Coruña, 22 de enero de 2003

Como se puede observar en la imagen de la Figura 7.19, no es un caso de fácil interpretación. Este es un buen ejemplo de la utilidad que puede tener una aplicación combinada y complementaria los perfiles de viento obtenidos por la técnica VAD y las imágenes de viento Doppler.

En la evolución de los perfiles verticales de viento VAD, Figura 7.20, se observa un flujo dominante del SW, que sobre las 8:00 UTC empieza a rolar en capas bajas, por debajo de los 1200-1300m. a dirección W y disminuyendo en intensidad. En la media hora siguiente en el estrato comprendido en el nivel del radar y los 800 m. nos encontramos con vientos del N que rolan inmediatamente en capas superiores a NNW, girando por encima a NW y W.

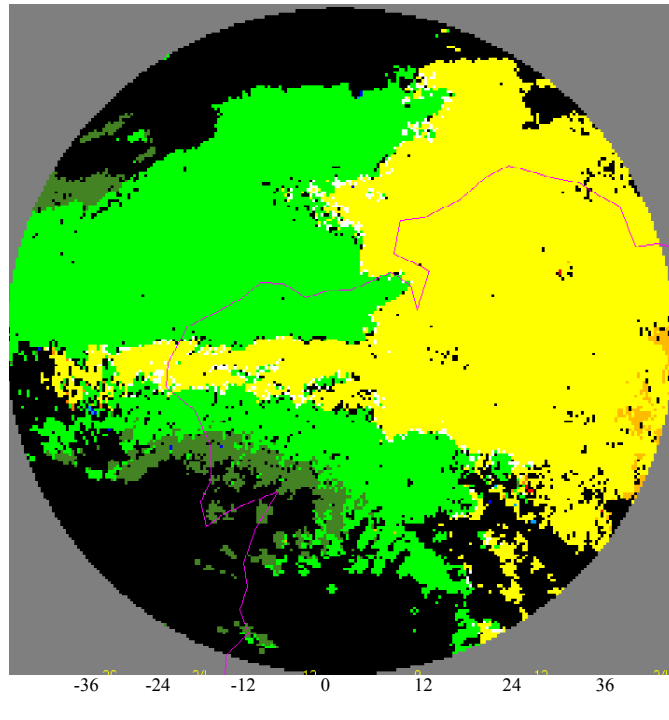


Figura 7.19. Imagen de viento radial del radar de A Coruña de 08:34 UTC del 22/01/03

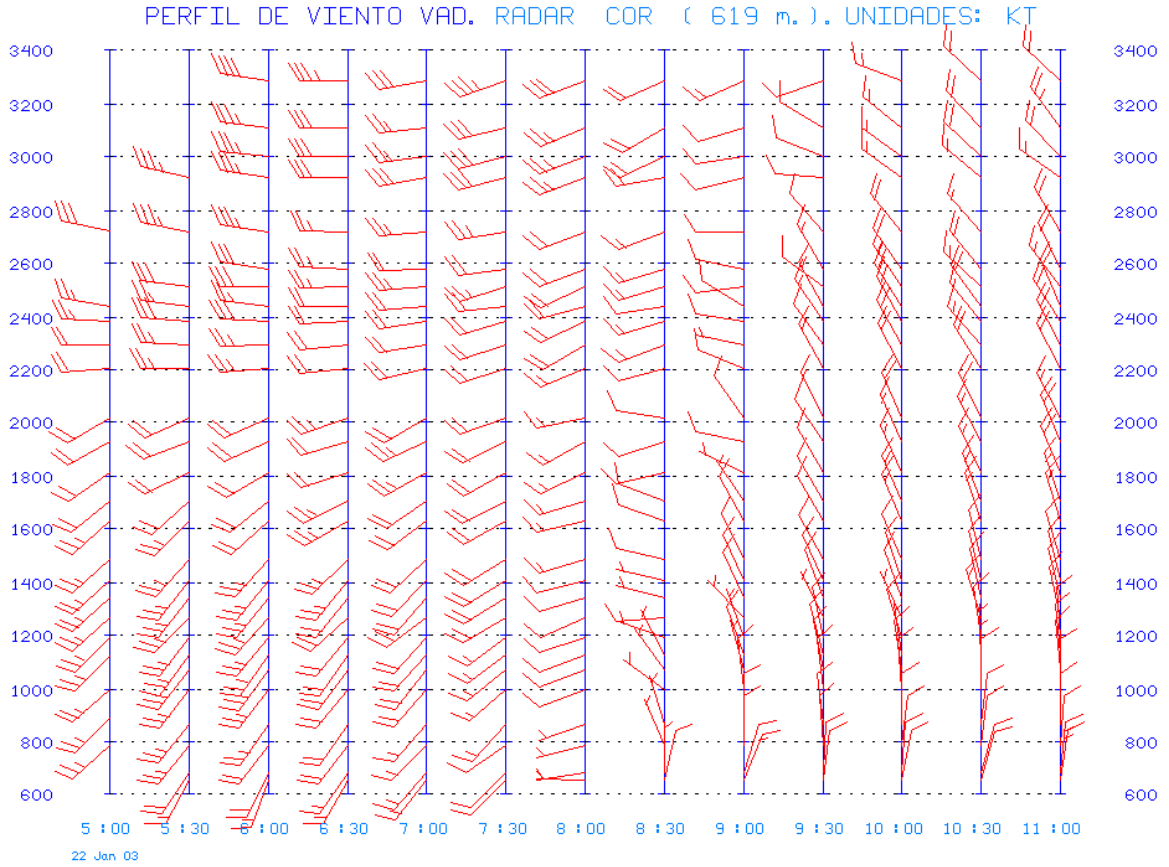


Figura 7.20. Radar de A Coruña. Evolución temporal del perfil vertical de viento estimado mediante la técnica VAD

## **8. CONCLUSIONES**

Se ha desarrollado un procedimiento de almacenamiento de datos VAD en McIDAS, usando una estructura de datos de tipo MD, así como varios comandos McIDAS que permiten la explotación operativa de los vientos estimados por la técnica VAD. El procedimiento hace posible, además, el acceso a los datos de los últimos diez días o de aquellos que se hayan almacenado previamente. El uso de estos nuevos comandos, uno que presenta un perfil vertical y su hodógrafa correspondiente y otro para la obtención de una evolución temporal de perfiles, facilita la incorporación de los vientos VAD al entorno operativo de predicción y puede convertirse en una herramienta fundamental en las actividades de vigilancia y “nowcasting”.

El análisis comparativo de los perfiles de viento VAD con los datos de radiosondeos muestran un valor de la raíz del error cuadrático medio (RMS) de la velocidad de aproximadamente 3-4 m/s, mientras que el RMS medio de la dirección es de 58° en otoño y de unos 26° en invierno. Este error en dirección va decreciendo considerablemente conforme la velocidad del viento es más alta, por lo que, en general, los datos VAD de niveles altos presentan menos diferencia con los datos de sondeos que los de niveles bajos. De esta forma se ha encontrado que, para el periodo de otoño, la eliminación de los perfiles de viento VAD de los vientos inferiores a 5 m/s, provoca un descenso en el RMS medio de la dirección hasta un valor de 45°, y si se eliminan todos aquellos vientos con intensidades menores de 10 m/s el RMS decrece a 30°. Las diferencias entre los perfiles de viento VAD y los radiosondeos son mayores por la noche que por el día, tanto en dirección como en módulo. Por ejemplo en otoño el RMS medio del módulo es a las 00:00 UTC de 4.1 m/s y a las 12:00 UTC de 3.1 m/s. El RMS de la dirección es menor también por el día que por la noche: mientras que a las 00:00 UTC en aquellos perfiles en los que se ha eliminado los vientos inferiores a 5 m/s el RMS de la dirección es de 60°, a las 12:00 UTC es de 30°. Si se suprimen los vientos inferiores a 10 m/s el RMS toma valores de 42° y 18° respectivamente. En general, los vientos estimados por la técnica VAD son ligeramente superiores a los datos de sondeos, principalmente durante la noche.

Los resultados obtenidos en este estudio coinciden, en general, y muestran diferencias del mismo orden de magnitud entre los perfiles de viento VAD y los sondeos que distintos estudios realizados en Suecia y EE.UU. En estos trabajos 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. En situaciones de precipitación, en general, las diferencias entre los vientos VAD y los sondeos son menores. Dado que en nuestro estudio solamente se han podido analizar datos VAD de los meses de otoño e invierno (éstos últimos con muchos menos datos), sería interesante poder contar con un análisis comparativo que abarcara un año completo, para poder analizar las diferencias existentes entre las distintas estaciones del año.

La disponibilidad de los perfiles de viento VAD representa, además, una ayuda inestimable a la hora de interpretar las imágenes de viento radial Doppler, sin olvidar la información complementaria que ofrecen, principalmente en aquellos niveles donde no es posible obtener información del viento radial. Se ha comprobado, mediante el

análisis de distintas situaciones, la utilidad que puede tener los vientos VAD para las actividades operativas de vigilancia y nowcasting, ya que proporcionan información relevante a la hora de caracterizar e identificar diversos fenómenos, como por ejemplo cizalladura vertical del viento, chorros en bajos niveles, bandas de precipitación y sistemas frontales, entre otros.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quisiera expresar mi gratitud a todas las personas que trabajan en el STAP por su apoyo tanto a nivel laboral como personal, en especial a Fermín Elizaga, tutor de esta beca de formación, por su dedicación, estímulo, consejo y confianza, sin cuya colaboración hubiera sido imposible el desarrollo de este trabajo, a Francisco Martín por sus numerosos y acertados comentarios y sugerencias, así como por compartir sus amplios conocimientos sobre los radares meteorológicos y a Ismael San Ambrosio por acudir en mi rescate cada vez que el sistema informático me vencía.

Agradecimientos también al Servicio de Teledetección por poner a nuestra disposición el algoritmo de generación de datos VAD y el comando INFORAD.

Por último, expresar mi agradecimiento a Juliana Mol, del Instituto Meteorológico de Brasil, por permitirnos incluir los resultados de su trabajo de análisis comparativo de los datos VAD y los análisis del modelo HIRLAM.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andersson, T, 1988: 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.
- 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.  
[http://www0.inm.es/wwwj/stapwww/casos\\_significa/vad/vad1.htm](http://www0.inm.es/wwwj/stapwww/casos_significa/vad/vad1.htm)
- Martín, F., F. Elizaga, O. Carretero e I. San Ambrosio. Nota Técnica del STAP, N° 35: Diagnóstico y Predicción de la Convección Profunda. Mayo 2001.
- Michelson, S. A, and N. Seaman, 2000: Assimilation of NEXRAD-VAD Winds in Summertime Meteorological Simulations over the Northeastern United States. *J. Appl. Meteor.*, 39, 367-383.
- Novák, P., 1999: Processing of Doppler Weather Radar Winds. Contribution for the “WDS’99” Conference, Faculty of Mathematics and Physics, Charles University, Prague, 22-25. Jun.
- O’Bannon, T., 1995: Anomalous WSR-88D wind profiles – migrating birds?. *Preprints, 27 th Conf. Radar Meteor.*, Vail, Colorado, 663-665.
- I. San Ambrosio, F. Martín, and F. Elizaga, 2002: A radar-based operational tool for identification of hailstorms: preliminary results. *4th Plinius Conference on Mediterranean Storms*. Mallorca, España, 2-4 October 2002
- Guía del usuario de McIDAS (Man computer Interactive Data Access System). Space Science and Engineering Center, University of Wisconsin, Madison.
- Online Guides from University of Illinois, Remote Sensing Guide.  
[http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/rs/rad/home.xml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/rs/rad/home.xml)