

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

Verificación operativa en AEMET de las salidas de vientos de los modelos HARMONIE y ECMWF en aeropuertos de Andalucía

Autor: Esperanza Maria Laó Amores

Tutor: Manuel Toscano Jiménez

Tutor: Juan de Dios Soriano Romero

Dep. Física Aplicada III
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Aeroespacial

Verificación operativa en AEMET de las salidas de vientos de los modelos HARMONIE y ECMWF en aeropuertos de Andalucía

Autor:

Esperanza María Laó Amores

Tutor:

Manuel Toscano Jiménez

Profesor titular de Universidad

Juan de Dios Soriano Romero

Jefe del Grupo de Predicción y Vigilancia de Sevilla

Dep. Física Aplicada III

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

Proyecto Fin de Carrera: Verificación operativa en AEMET de las salidas de vientos de los modelos
HARMONIE y ECMWF en aeropuertos de Andalucía

Autor: Esperanza María Laó Amores

Tutores: Manuel Toscano Jiménez
Juan de Dios Soriano Romero

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

AGRADECIMIENTOS

Dedico este proyecto a mi familia, por servirme de apoyo y proporcionarme los medios necesarios para realizar estos estudios. Sin su apoyo, paciencia y comprensión no hubiera sido posible.

A la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, por la oportunidad que me brindó a la hora de realizar una estancia en el extranjero, descubriendo que es posible encontrar una familia allá donde vayas.

A todos los profesores, y de una forma especial a D. Manuel Toscano Jiménez por haberme dado la oportunidad de realizar este proyecto junto con el periodo de prácticas.

A todos los empleados de AEMET, especialmente al GPV y su jefe Juan de Dios Soriano, por considerarnos uno más de los empleados y por brindarnos toda su ayuda y paciencia durante la realización las prácticas

A mis amigos, que me han apoyado y animado en los todos momentos vividos en la carrera, sobre todo en los malos, cuando siempre han sido un hombro donde apoyarse.

A mis compañeros de universidad, con los cuales ha sido posible salir de los baches y seguir adelante siempre con una sonrisa y una anécdota que contar. Gracias a ellos, el edificio de la escuela ha sido más un hogar que una universidad.

Mi agradecimiento a todos ellos.

Esperanza María Laó Amores

Sevilla, 2016

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es verificar operativamente las herramientas, concretamente los modelos numéricos de predicción, utilizadas por el conjunto de predictores del Grupo de Predicción y Vigilancia de la Agencia Estatal de Meteorología para emitir sus pronósticos de aeropuertos.

A la hora de realizar los pronósticos de aeropuerto, los predictores tienen unas herramientas limitadas para poder llevar a cabo sus predicciones a los distintos aeropuertos. Entre ellas, están las observaciones en los aeropuertos, las imágenes de radar y satélites y las predicciones de los modelos numéricos.

Entre las variables pronosticadas por los modelos, se ha escogido el viento como magnitud de estudio, por su relevancia en las operaciones de despegue y aterrizaje del avión.

Actualmente cada modelo numérico de predicción tiene una serie de características, que lo hace más adecuado para un tipo de pronóstico u otro, dependiendo, sobre todo, del tipo de fenómeno meteorológico que se quiera predecir. Por ello es importante conocer cada modelo para tener claro lo que se puede esperar de ellos.

Para la verificación operativa de los modelos, primero se han recogido los datos correspondientes a las observaciones meteorológicas en los aeropuertos seleccionados, junto con las predicciones de los modelos numéricos. Estos últimos datos, han sido posible recogerlos gracias a un convenio entre la Escuela Superior de Ingenieros y AEMET, el cual ha permitido realizar un periodo de prácticas en la Agencia. Durante este periodo se ha tenido la oportunidad de recopilarlos y analizarlos, puesto que no son de dominio público, junto con la posibilidad de conocer de primera mano el servicio que presta el Grupo de Predicción y Vigilancia al sector aeronáutico.

La verificación ha sido orientada hacia la cantidad de aciertos de cada modelo, estableciendo previamente unos criterios que se debían cumplir para considerar la predicción del mismo como tal. El análisis ha sido dividido en tres partes: una primera, orientada en general a ver la tasa de acierto de cada modelo; una segunda, relacionando la dirección del viento con la cantidad de aciertos; y una última, enfocada hacia los intervalos horarios donde han tenido lugar los mayores porcentajes de coincidencias entre lo observado y lo pronosticado.

Aparte de realizar el análisis conjunto de cada modelo, se ha analizado particularmente cada aeropuerto, buscando sus singularidades en los tres análisis comentados.

Las conclusiones planteadas en el documento arrojan unas primeras suposiciones sobre el comportamiento de los modelos, sin embargo, el periodo de tiempo analizado es corto. Por ello, aunque no es posible establecer patrones concretos, las suposiciones a las que se ha llegado pueden considerarse como las primeras bases de estudios posteriores.

ABSTRACT

The aim of this work is to verify operatively the tools, specifically the numerical models for weather forecasting, used by the Group of Prediction and Monitoring of the State Meteorological Agency to broadcast its forecasts for airports.

When the Group have to make the airports forecasting, they have limited tools to carry out their predictions to the various airports. Among them, there are the observations in the different airports, radar and satellite images and weather forecast by numerical models.

The numerical models for weather forecasting predict many different variables. Because of its relevance in the most critical airplane operations, take-off and landing, the wind has been chosen as the study-magnitude.

Currently, the features of the different numerical model make each of them particularly suitable for one type of prognosis or another. This depends on the type of weather event to be predicted. Therefore, it is important to understand in depth each model in order to precisely know what can be expected from them.

The first step to be taken in order to operatively verify the models was to collect the non-public domain data from meteorological observations at a selected number of airports along with the predictions of numerical models. This was possible thanks to an agreement between the School of Engineering and AEMET which has allowed a traineeship at the Meteorological Agency. During the two months of this traineeship I have had the opportunity to collect and analyse the before mentioned data.

Verification has been directed to identify the number of hits for each model, previously it has been established a criteria that must be met to consider the prediction of it as correct. The analysis was divided into three parts: a first oriented to detect the success rate of each model; a second, relates the wind direction with the number of hits and a last, focused on finding the time intervals where the percentage of matches between the observed and predicted was the highest.

Apart from the general analysis set for each model, the models have been studied separately for each airport. This way, singularities in the three commented analysis were detected.

The conclusions drawn from the study described in this document generate a first picture on the behaviour of the models. Since the period of time analysed is small, it is not possible to establish specific patterns. However, the assumptions reached, can be considered as basis for further studies.

Agradecimientos	9
Resumen	11
Abstract	13
Índice	15
Índice de Tablas	17
Índice de Figuras	19
1 Introducción	23
1.1 <i>Generalidades de los vientos en la costa de Andalucía</i>	23
1.2 <i>Importancia del viento en los aeropuertos</i>	25
1.3 <i>Servicio meteorológico para la navegación aérea</i>	26
2 Modelos Numéricos de Predicción Meteorológica	29
2.1 <i>Desarrollo de la predicción numérica del tiempo</i>	29
2.1.1 Modelos barotrópicos	30
2.1.2 Modelos baroclinos	30
2.1.3 Modelos de ecuaciones primitivas	30
2.1.4 Modelos de mesoescala.....	30
2.2 <i>Principios generales de los modelos numéricos</i>	31
2.2.1 Ecuaciones del sistema.....	31
2.2.2 Métodos de discretización	33
2.2.2.1 Resolución por diferencias finitas.....	33
2.2.2.2 Resolución por método espectral	33
2.2.2.3 Resolución por elementos finitos	33
2.2.3 Rejillas de integración.....	33
2.2.4 Parametrizaciones físicas	34
2.2.5 Asimilación de datos meteorológicos	34
2.3 <i>Modelos numéricos de predicción</i>	37
2.3.1 Modelo del Centro Europeo (ECMWF)	37
2.3.2 Modelo HARMONIE.....	38
3 Salidas de Modelos	41
3.1 <i>METAR</i>	41
3.2 <i>ECMWF</i>	42
3.3 <i>HARMONIE</i>	43
4 Verificación Operativa	45
4.1 <i>VERIFICACIÓN GENERAL</i>	45
4.1.1 Aeropuerto de Jerez	46
4.1.2 Aeropuerto de Rota.....	47
4.1.3 Aeropuerto de Málaga	48
4.1.4 Aeropuerto de Almería	49
4.1.5 Aeropuerto de Melilla	50
4.1.6 Conclusiones	51
4.2 <i>VERIFICACIÓN POR SECTORES DE DIRECCIÓN</i>	53
4.2.1 Aeropuerto de Jerez	53
4.2.2 Aeropuerto de Rota.....	56
4.2.3 Aeropuerto de Málaga	59

4.2.4	Aeropuerto de Almería	61
4.2.5	Aeropuerto de Melilla	63
4.2.6	Conclusiones	66
4.3	<i>VERIFICACIÓN POR INTERVALOS HORARIOS</i>	67
4.3.1	Aeropuerto de Jerez	69
4.3.2	Aeropuerto de Rota	71
4.3.3	Aeropuerto de Málaga	74
4.3.4	Aeropuerto de Almería	76
4.3.5	Aeropuerto de Melilla	79
4.3.6	Conclusiones	81
5	Conclusiones Generales y Líneas de trabajo futuro	83
	Referencias	85
	ANEXO I	87
	ANEXO II	93
	ANEXO III	99

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Aeropuerto Jerez</i>	46
<i>Tabla 2. Aeropuerto Rota</i>	47
<i>Tabla 3. Aeropuerto de Málaga</i>	48
<i>Tabla 4. Aeropuerto de Almería</i>	49
<i>Tabla 5. Aeropuerto de Melilla</i>	50
<i>Tabla 6. Relación entre los modelos y las tasas de acierto.</i>	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Rosa de los vientos. [19]	23
Figura 1-2. Esquema de los vientos de levante y poniente. a) Viento de Levante con efecto de embudo en el Mar de Alborán y se dispersa en el Golfo de Cádiz. b) Viento de Poniente. Entrada “abierta” en el Golfo de Cádiz y efecto embudo en el Mar de Alborán. [4].	24
Figura 1-3. Esquema del viento en la pista de un aeropuerto. [3].	25
Figura 1-4. Autoservicio meteorológico aeronáutico (AMA)	27
Figura 2-1. Rejilla de integración de un modelo global (negro), un modelo regional (azul) y un modelo mesoescalar (rojo). [8]	34
Figura 2-2. Distribución espacial de observaciones. [8]	36
Figura 2-3. Diferentes tipos de observaciones meteorológicas ingestadas en los modelos de predicción. [8]	37
Figura 2-4. Países miembro del Centro Europeo. [8]	38
Figura 2-5. Dominio geográfico de HARMONIE (área sombreada interior). [13]	40
Figura 3-1. Aeropuertos seleccionados.	41
Figura 3-2. Mapa de viento del Centro Europeo.	42
Figura 3-3. Herramienta HARMONIE – Aeropuertos	43
Figura 3-4. Meteograma del Aeropuerto de Rota del 20-05-2016 de la pasada de las 18:00 UTC.	44
Figura 4-1. Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} . a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt	45
Figura 4-2. Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Jerez. a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt	47
Figura 4-3. . Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Rota. a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt	48
Figura 4-4. Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Málaga. a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt	49
Figura 4-5. Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Almería. a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt	50
Figura 4-6. Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Melilla. a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt	51
Figura 4-7. Comparación entre los diferentes aeropuertos (LEJR: azul cobalto, LERT: azul claro, LEMG: verde, LEAM: naranja y GEML: granate) de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt	52
Figura 4-8. Comparación entre los diferentes aeropuertos (LEJR: azul cobalto, LERT: azul claro, LEMG: verde, LEAM: naranja y GEML: granate) de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 6$ kt.	52
Figura 4-9. Comparación para cada sector de dirección de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt	53
Figura 4-10. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada sector de dirección en el aeropuerto de Jerez.	54
Figura 4-11. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada sector de dirección en el aeropuerto de Jerez.	54
Figura 4-12. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes sectores de dirección variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Jerez. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt	55
Entre los dos modelos, el ECMWF destaca acertando el viento de levante frente al modelo HARMONIE y este último destaca en el viento de poniente. Esto ocurre tanto sin velocidad umbral, como fijando una velocidad umbral de 8 nudos y una de 10 nudos, tal y como se puede ver en la Figura 4-13.	55
Figura 4-13. Comparación entre los diferentes sectores de dirección (N: azul oscuro; NE: azul cobalto; E: turquesa, SE: aguamarina, S: amarillo; SW: naranja; W: rojo y NW: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Jerez. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt	56
Figura 4-14. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada sector de dirección en el aeropuerto de Rota.	57
Figura 4-15. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde)	

junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada sector de dirección en el aeropuerto de Rota. _____	57
Figura 4-16. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes sectores de dirección variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Rota. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt _____	58
Figura 4-17. Comparación entre los diferentes sectores de dirección (N: azul oscuro; NE: azul cobalto; E: turquesa, SE: aguamarina, S: amarillo; SW: naranja; W: rojo y NW: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Rota. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt _____	58
Figura 4-18. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 6$ kt para cada sector de dirección en el aeropuerto de Málaga. _____	59
Figura 4-19. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada sector de dirección en el aeropuerto de Málaga. _____	60
Figura 4-20. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes sectores de dirección variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Málaga. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 6$ kt, c) $V_{METAR} > 8$ kt, d) $V_{METAR} > 10$ kt _____	60
Figura 4-21. Comparación entre los diferentes sectores de dirección (N: azul oscuro; NE: azul cobalto; E: turquesa, SE: aguamarina, S: amarillo; SW: naranja; W: rojo y NW: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Málaga. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 6$ kt, c) $V_{METAR} > 8$ kt, d) $V_{METAR} > 10$ kt _____	61
Figura 4-22. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada sector de dirección en el aeropuerto de Almería. _____	62
Figura 4-23. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada sector de dirección en el aeropuerto de Almería. _____	62
Figura 4-24. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes sectores de dirección variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Almería. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt _____	63
Figura 4-25. Comparación entre los diferentes sectores de dirección (N: azul oscuro; NE: azul cobalto; E: turquesa, SE: aguamarina, S: amarillo; SW: naranja; W: rojo y NW: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Almería. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt _____	63
Figura 4-26. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada sector de dirección en el aeropuerto de Melilla. _____	64
Figura 4-27. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada sector de dirección en el aeropuerto de Melilla. _____	65
Figura 4-28. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes sectores de dirección variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Melilla. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt _____	65
Figura 4-29. Comparación entre los diferentes sectores de dirección (N: azul oscuro; NE: azul cobalto; E: turquesa, SE: aguamarina, S: amarillo; SW: naranja; W: rojo y NW: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Melilla. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt _____	66
Figura 4-30. Comparación entre los diferentes aeropuertos (LEJR: azul cobalto, LERT: azul claro, LEMG: verde, LEAM: naranja y GEML: granate) de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt según cada sector de dirección. _____	67
Figura 4-31. Comparación para cada intervalo horario de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt _____	68
Figura 4-32. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada intervalo horario en el aeropuerto de Jerez. _____	69
Figura 4-33. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada intervalo horario en el aeropuerto de Jerez. _____	70
Figura 4-34. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes intervalos horarios variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Jerez. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt _____	70

Figura 4-35. Comparación entre los diferentes intervalos horarios (06:00-08:59: azul oscuro; 09:00-11:59: azul cobalto; 12:00-14:59: turquesa, 15:00-17:59: aguamarina, 18:00-20:59: amarillo; 21:00-23:59: naranja; 00:00-02:59: rojo y 03:00-05:59: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Jerez. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt	71
Figura 4-36. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada intervalo horario en el aeropuerto de Rota.	72
Figura 4-37. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada intervalo horario en el aeropuerto de Rota.	72
Figura 4-38. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes intervalos horarios variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Rota. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt	73
Figura 4-39. Comparación entre los diferentes intervalos horarios (06:00-08:59: azul oscuro; 09:00-11:59: azul cobalto; 12:00-14:59: turquesa, 15:00-17:59: aguamarina, 18:00-20:59: amarillo; 21:00-23:59: naranja; 00:00-02:59: rojo y 03:00-05:59: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Rota. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt	74
Figura 4-40. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 6$ kt para cada intervalo horario en el aeropuerto de Málaga.	75
Figura 4-41. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada intervalo horario en el aeropuerto de Málaga.	75
Figura 4-42. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes intervalos horarios variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Málaga. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 6$ kt, c) $V_{METAR} > 8$ kt, d) $V_{METAR} > 10$ kt	76
Figura 4-43. Comparación entre los diferentes intervalos horarios (06:00-08:59: azul oscuro; 09:00-11:59: azul cobalto; 12:00-14:59: turquesa, 15:00-17:59: aguamarina, 18:00-20:59: amarillo; 21:00-23:59: naranja; 00:00-02:59: rojo y 03:00-05:59: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Málaga. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 6$ kt, c) $V_{METAR} > 8$ kt, d) $V_{METAR} > 10$ kt	76
Figura 4-44. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada intervalo horario en el aeropuerto de Almería.	77
Figura 4-45. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada intervalo horario en el aeropuerto de Almería.	77
Figura 4-46. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes intervalos horarios variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Almería. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt	78
Figura 4-47. Comparación entre los diferentes intervalos horarios (06:00-08:59: azul oscuro; 09:00-11:59: azul cobalto; 12:00-14:59: turquesa, 15:00-17:59: aguamarina, 18:00-20:59: amarillo; 21:00-23:59: naranja; 00:00-02:59: rojo y 03:00-05:59: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Almería. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt	78
Figura 4-48. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada intervalo horario en el aeropuerto de Melilla.	79
Figura 4-49. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada intervalo horario en el aeropuerto de Melilla.	79
Figura 4-50. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes intervalos horarios variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Melilla. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt	80
Figura 4-51. Comparación entre los diferentes intervalos horarios (06:00-08:59: azul oscuro; 09:00-11:59: azul cobalto; 12:00-14:59: turquesa, 15:00-17:59: aguamarina, 18:00-20:59: amarillo; 21:00-23:59: naranja; 00:00-02:59: rojo y 03:00-05:59: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Melilla. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt	80
Figura 4-52. Comparación entre los diferentes aeropuertos (LEJR: azul cobalto, LERT: azul claro, LEMG: verde, LEAM: naranja y GEML: granate) de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt según cada intervalo horario.	81

1 INTRODUCCIÓN

La atmósfera es un fluido que nunca está en equilibrio y, por lo tanto, las masas de aires están sometidas a fuerzas netas que provocan el movimiento de las mismas, lo que se conoce como viento. De igual forma, el desigual calentamiento del planeta provoca diferencias de densidad en el aire, que implican a su vez diferencias de presiones las cuales generan corrientes de aire, es decir, viento.

El campo de vientos se puede deducir directamente del campo de presiones, estando relacionada su intensidad con el valor del gradiente de presiones, y su dirección con las líneas isobáricas (líneas de presión constante).

La intensidad del viento se expresa generalmente en m/s, nudos o km/h. La dirección del viento es la dirección de procedencia y se indicará mediante el ángulo con respecto al Norte y en sentido horario, o en las

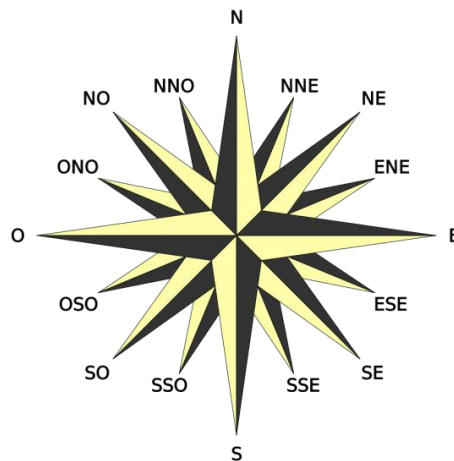


Figura 1-1. Rosa de los vientos. [19]

direcciones de la rosa de los vientos.

Cabe destacar algunos tipos de vientos como son las rachas y las brisas. Las rachas de viento son incrementos bruscos y de notable intensidad tras periodos de relativa calma, mientras que las brisas son vientos locales debido al calentamiento desigual del relieve por el Sol. Este calentamiento da lugar a que se produzcan movimientos verticales de las masas de aire que provocan vacíos y desequilibrios de presión. Las brisas más comunes son las marinas: se localizan en las costas y se producen por el efecto de las diferencias de calentamiento y enfriamiento que experimenta la Tierra y las masas de agua. Soplan del mar a la costa durante el día, y de la costa al mar por la noche.

1.1 Generalidades de los vientos en la costa de Andalucía

El régimen de vientos imperante en las costas de Andalucía está dominado por el viento de levante y por el viento de poniente. Localmente destacan las brisas marinas y el terral.

Los levantes son vientos de componente Este incluidos entre ellos los de rumbo ENE y ESE, lo cual comprende un abanico de 70°-110°. Estos vientos pueden soplar en cualquier época del año, aunque son más frecuentes en primavera y en verano. Con la presencia del levante, en el Golfo de Cádiz se produce una ligera bajada de presiones y una subida de temperaturas. Cuando se produce un aumento en el barómetro, será un indicio de que el levante desaparece.

Este viento se presenta en niveles troposféricos bajos y está muy influenciado por las cordilleras Penibéticas y Rif-Atlas, que actúan como efecto Venturi, acusando confluencia en la embocadura del Mar de Alborán y difluenciando al salir del Estrecho hacia el Golfo de Cádiz. Esto se representa en el siguiente esquema, la Fig. 1-2, a):

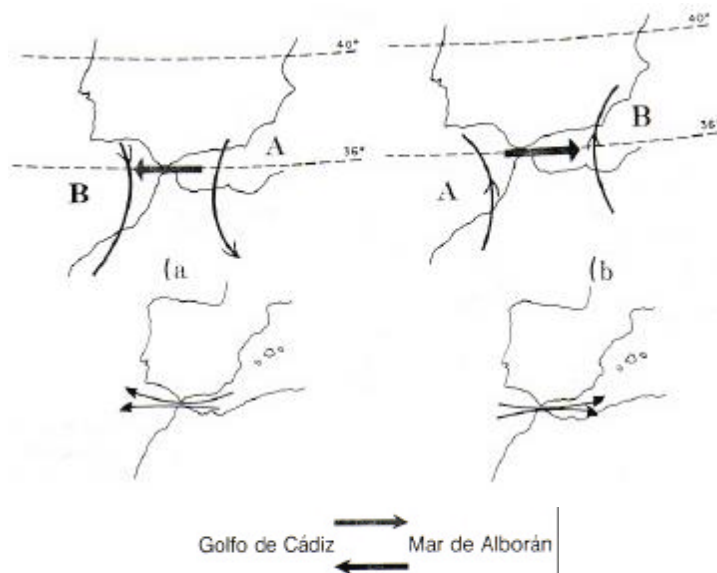


Figura 1-2. Esquema de los vientos de levante y poniente.

- a) Viento de Levante con efecto de embudo en el Mar de Alborán y se dispersa en el Golfo de Cádiz.
 b) Viento de Poniente. Entrada “abierta” en el Golfo de Cádiz y efecto embudo en el Mar de Alborán. [4].

El viento de levante es muy constante y persistente. Puede alcanzar largos periodos de 7 a 10 días consecutivos. En cuanto a su persistencia, una vez que aparece hay una probabilidad del 75% de que se mantenga durante un periodo de tres días y un 50% de que se mantenga siete días. Durante los meses de septiembre-octubre-noviembre no es raro encontrar periodos superiores a las dos semanas. La frecuencia media de presencia al año del viento de levante es de 165 días al año [4].

La velocidad a la que sopla el levante es de 25 nudos (unos 12 m/s) de media, aunque pueden presentar rachas muy duras que sobrepasen los 50 kt (25 m/s). Por ejemplo, durante el año 1988 en Tarifa, la velocidad media anual de los vientos de levante fue 23 kt (11.8 m/s), siendo máxima en verano (27 kt -13.9 m/s) y mínima en invierno (22 kt - 11.1 m/s) [15].

El viento de poniente se caracteriza por ser vientos del Oeste comprendidos entre los rumbos ONO y OSO, abarcando el sector 330°-270°, siendo especialmente frecuentes en invierno. Estos vientos son antagónicos a los de levante en la zona del estrecho, obsérvese la Figura 1-2, b). Soplan de forma transitoria y pasajera, acompañando normalmente el paso de borrascas y sus frentes nubosos, que se desplazan desde el Golfo de Cádiz hasta el mar de Alborán.

El poniente tiene un carácter fuerte y racheado, pero poco persistente, suele durar entre 12 y 36 horas. La frecuencia media de presencia al año es de unos 60 días, siendo menor que el viento de levante [4]. Las estaciones en las que predomina este tiempo son invierno y primavera.

La velocidad a la que sopla el poniente de 30 nudos (unos 15 m/s) de media, con rachas que pueden llegar a los 50 kt (unos 25 m/s). Por ejemplo, para el año 1988 en Tarifa, a velocidad media anual de los vientos de poniente fue 15 kt (7.1 m/s), siendo máxima en invierno (16 kt - 8.2 m/s) y mínima en invierno (13 kt- 6.9 m/s) [15].

El terral se trata de un viento de componente norte o noroeste originado a causa del diferente comportamiento de la tierra y el mar a la hora de absorber el calor atmosférico. Llamado así principalmente en la provincia de Málaga, el terral se genera cuando la radiación solar empieza a disminuir hasta desaparecer por completo.

Cuando sopla en verano tiene un carácter cálido y muy seco y es el responsable de que Málaga registre las

temperaturas más altas de toda España cuando tiene lugar este viento. Cuando en invierno sopla, es un viento seco, fuertemente racheado, que deja el cielo despejado aportando una visibilidad extraordinaria.

La brisa marina es un fenómeno atmosférico causado por el calentamiento y enfriamiento desigual de dos áreas vecinas, marina y terrestre. Es un fenómeno que la Organización Meteorológica Mundial [14] define como “viento de las regiones costeras que sopla durante el día desde una extensión grande de agua (mar o lago) hacia tierra debido al calentamiento diurno desde el suelo”.

Cuando el sol calienta una porción de la superficie terrestre, el aire calentado a su vez en contacto con esta superficie se eleva por convección, creándose un gradiente horizontal de presión que provoca que el aire marítimo –más denso y pesado– se mueva en dirección al área de aire ascendente sobre tierra –más ligero–, para rellenar allí el vacío generado.

La dirección del viento tierra adentro se orienta a lo largo de este gradiente de presión, la brisa de mar es, inicialmente, perpendicular a la costa, de manera que su dirección depende de la orientación de la línea litoral. No obstante, la brisa se mueve acoplada al terreno, razón por la cual puede adoptar direcciones distintas en función de la orografía y la misma morfología litoral.

1.2 Importancia del viento en los aeropuertos

El viento es un elemento esencial para el vuelo de los aviones. Sin corrientes de aire no podrían volar; pero así como es vital para el desarrollo del vuelo, también es un elemento muy peligroso, sobre todo en las fases de despegue y aterrizaje.

La pista es la parte más importante de un aeropuerto, pues permite a las aeronaves que están en tierra llegar a las velocidades necesarias para elevarse en el aire, y permite a aeronaves en vuelo, tomar tierra.

La pista principal debe estar orientada en la dirección del viento predominante del aeródromo, intentando evitar siempre el viento cruzado (ver Fig. 1-3). Un avión necesita, según sus características de peso, aerodinámica y el empuje de sus motores, una velocidad determinada del aire para tomar el vuelo. Esto implica que la velocidad del avión con respecto al terreno sea distinta en función de si el viento sopla en una u

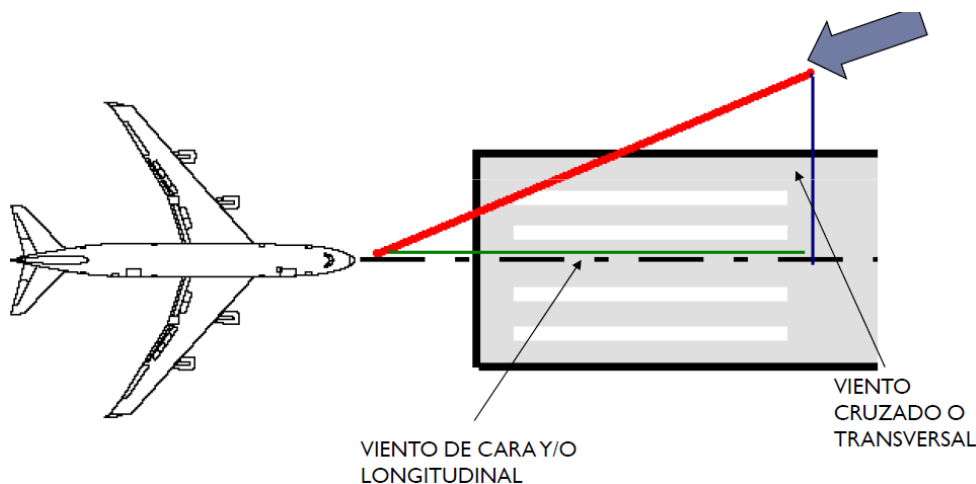


Figura 1-3. Esquema del viento en la pista de un aeropuerto. [3].

otra dirección.

Cuando se despegue o aterrice con el viento en contra, la componente en contra que ofrece el viento se suma a la del aire respecto a las superficies sustentadoras del avión, de manera que para una misma velocidad de despegue o aterrizaje del avión, se necesitará menor longitud de pista para despegar o aterrizar.

Este efecto sería el contrario si se despegue o aterrice con el viento a favor o de cola, aumentando la distancia necesaria para aterrizar/despegar.

Por ello en los aeropuertos la pista en uso cambia en función de la velocidad del viento dominante, usándose una u otra pista o dirección hasta que el viento supera una determinada componente a favor del sentido de despegue/aterrizaje, momento en el que se cambia la pista activa a la más favorable.

La otra componente del viento, la componente transversal, dificulta la maniobra de aterrizaje al sacar al avión de su alineación con el eje de la pista, por lo que debe evitarse.

1.3 Servicio meteorológico para la navegación aérea

Entre las competencias de la Agencia Estatal de Meteorología Española (AEMET) se encuentra la provisión de servicios meteorológicos de apoyo a la navegación aérea, contribuyendo a la seguridad, regularidad y eficiencia del tránsito aéreo, asumiendo entre otras las siguientes funciones:

1. La prestación de los servicios meteorológicos de observación, vigilancia y predicción necesarios para contribuir a la seguridad, regularidad y eficiencia del tránsito aéreo.
2. La provisión a los usuarios aeronáuticos de la información meteorológica necesaria para el desempeño de sus funciones.

Todos los productos de meteorología aeronáutica que genera AEMET, o que recibe internacionalmente, se transmiten por su sistema de conmutación de mensajes a las oficinas de AEMET, a la red AFTN (Red Fija de Telecomunicaciones Aeronáuticas) mediante el nodo de ENAIRE (entidad pública empresarial adscrita al Ministerio de Fomento que gestiona la navegación aérea en España.), a los bancos de datos meteorológicos internacionales, al Autoservicio Meteorológico Aeronáutico (AMA) y a otros usuarios aeronáuticos.

AEMET también lleva a cabo el mantenimiento de los sistemas de generación de productos automáticos, como son los modelos numéricos de predicción, los sistemas de generación de mapas para su uso en análisis y predicción, los mapas significativos de viento y temperatura recibidos desde el WAFC (Centro mundial de pronóstico de área) a través de SADIS-FTP (Sistema de distribución de información meteorológica aeronáutica por satélite - Protocolo de Transferencia de Ficheros), los mapas de viento y temperatura correspondientes a los vuelos nacionales a baja altura, los avisos automáticos de rayos, los pronósticos automáticos de tormentas previstas, la aplicación del AMA, etc.

La Agencia clasifica los servicios que presta a sus usuarios aeronáuticos en función del ámbito al que están destinados, en servicios de aeródromo (observación, predicción y vigilancia para los aeródromos) y servicios de área (predicción y vigilancia para zonas extensas).

Los productos de observación de aeródromo son:

- METAR o METAR AUTO, informes de las observaciones meteorológicas en los aeródromos realizados periódicamente de manera manual o de manera automática
- SPECI, es un informe especial de las observaciones meteorológicas
- Avisos de rayos
- Datos de medidas de sensores de distintas variables meteorológicas

Los productos proporcionados por el servicio de predicción y vigilancia de aeródromo son:

- Pronósticos de aeródromo (TAF) con periodos de validez de 9, 24 o 30 horas.
- Enmienda al pronóstico de aeródromo (TAF AMD).
- Pronóstico de aterrizaje tipo tendencia (TREND), con validez de 2 horas
- Avisos de aeródromo, con periodos de validez de hasta 24 horas.
- Avisos automáticos de tormentas previstas a muy corto plazo (20 minutos).
- Pronósticos Aeronáuticos Meteorológicos Verticales (PAM).
- Pronóstico de despegue, mediante acuerdo con los explotadores.

Los usuarios aeronáuticos tienen acceso a la información aeronáutica de AEMET a través del AMA. Se accede al AMA de AEMET a través de la dirección <http://ama.aemet.es>, que es básicamente un sistema de consulta a los sistemas de difusión de gráficos y boletines de AEMET y proporciona la información METAR, SPECI, TAF, SIGMET, GAMET, AIRMET y de los aeropuertos nacionales e internacionales, así como los mapas de tiempo significativo y de viento y temperatura proporcionados por el WAFC y los elaborados en AEMET.

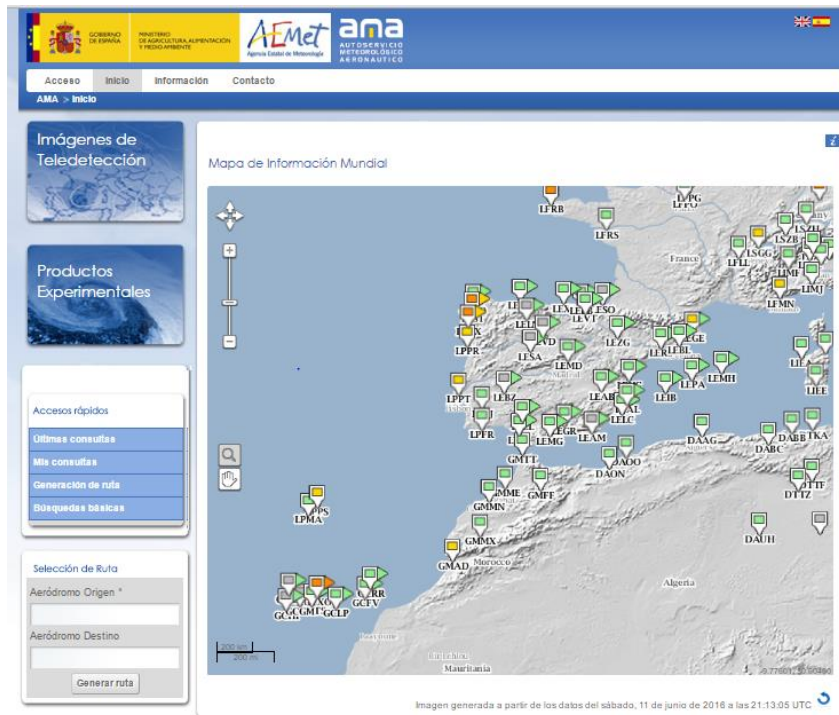


Figura 1-4. Autoservicio meteorológico aeronáutico (AMA)

Todo lo citado anteriormente se encuentra recogido en la Guía de Servicios Meteorológicos para la Navegación Aérea redactada por AEMET en su 7ª edición de Septiembre de 2015 [1].

De entre los servicios prestados por AEMET cabe destacar los TAF y los METAR por su relevancia para la aeronáutica. Los TAF son un pronóstico del tiempo meteorológico que va a hacer en un aeropuerto. Es realizado por los predictores meteorológicos con ayuda de herramientas tales como los modelos numéricos de predicción meteorológica. En los TAF se proporciona la predicción (el comportamiento más probable) de los diferentes parámetros meteorológicos (velocidad y dirección del viento, visibilidad, nubosidad, fenómenos meteorológicos y temperatura) para el aeródromo durante ese periodo, de acuerdo con lo dispuesto en la clave TAF de la OMM (Organización Meteorológica Mundial). Un ejemplo de TAF se muestra a continuación:

TAF LEBG 301100Z 3012/3021 20012KT CAVOK TEMPO 3015/3018 22015G25KT FEW050TCU=

METAR es el nombre de la clave correspondiente a un informe meteorológico rutinario de aeródromo con los diferentes parámetros meteorológicos. Los informes METAR se difunden a intervalos de una o media hora, dependiendo del aeropuerto y utilizan una clave de cifrado muy similar a la clave del TAF.

El METAR es usado por los meteorólogos-predictores, para ayudarse en los pronósticos del tiempo, y fundamentalmente por los pilotos de las aeronaves para conocer la meteorología en los aeropuertos de destino y actuar en consecuencia. Algunos ejemplos de METAR son:

METAR LEZG 201700Z 30010KT 9999 FEW040 10/07 Q1025=

METAR SAZT 012200Z 25017KT 5000 DZ BKN007 07/05 Q1017 =

2 MODELOS NUMÉRICOS DE PREDICCIÓN METEOROLÓGICA

La predicción del tiempo ha sido el motor principal del desarrollo de la meteorología que actualmente conocemos. Desde el desarrollo de los ordenadores a mediados de los años cuarenta, los modelos numéricos de predicción se han convertido en la herramienta fundamental del proceso de predicción del tiempo.

Los modelos numéricos de predicción hacen referencia a los sistemas que usan datos meteorológicos actuales para alimentar complejos modelos físico-matemáticos de la atmósfera terrestre para predecir la evolución meteorológica. El objetivo es conocer con la máxima antelación y con el máximo detalle posible los fenómenos adversos que vayan a ocurrir, es decir, los fenómenos meteorológicos que puedan causar daños graves a la sociedad.

El campo de los modelos numéricos ha tenido un desarrollo muy importante en los últimos cuarenta años, pero aún queda mucho camino por recorrer para poder considerar que las predicciones de fenómenos adversos son lo suficientemente exactas para satisfacer las necesidades de la sociedad actual.

Existe un gran número de modelos de predicción que han sido desarrollados por diversas agencias y organismos meteorológicos. Los distintos modelos emplean diversas metodologías para pronosticar la evolución de las diversas variables meteorológicas.

2.1 Desarrollo de la predicción numérica del tiempo

Tal y como se comentaba en el primer capítulo, la atmósfera es un fluido por lo que las ecuaciones fundamentales de la dinámica de fluidos son las que se utilizan para resolver el problema de la evolución de los fenómenos meteorológicos en la atmósfera terrestre, es decir, para predecir el tiempo. Las ecuaciones de la dinámica de fluidos son ecuaciones diferenciales en derivadas parciales (EDP), que no tienen una solución exacta y por lo tanto deben resolverse por métodos numéricos. Desde un punto de vista matemático, el problema de predicción del tiempo es un problema de valores iniciales.

Una de las claves para obtener una buena solución aproximada del sistema de ecuaciones diferenciales que rige los movimientos atmosféricos es obtener una buena descripción de las condiciones iniciales en la atmósfera, lo que quiere decir que es necesario tener un conocimiento lo más exacto posible de la situación meteorológica en el instante inicial, haciendo necesario reunir observaciones meteorológicas realizadas en todo el mundo. Por este motivo, las comunicaciones han jugado un papel muy importante en el desarrollo de la predicción del tiempo ya que han facilitado la obtención de las observaciones de todo el mundo.

Como se ha comentado, el sistema de EDP que rige los movimientos atmosféricos, aún después de simplificarse, debe resolverse por métodos numéricos, siendo la cantidad de cálculos numéricos tan grande que es imposible abordarlo por métodos convencionales. Por ello la evolución de la predicción numérica ha estado emparejada a los aumentos significativos en la potencia de cálculo de los ordenadores. Sin embargo, esta correspondencia está llegando a su fin pues los modelos numéricos han alcanzado tal grado de desarrollo que las nuevas mejoras deben basarse en nuevas investigaciones y no meramente en el aumento de la potencia del ordenador en el que se integran los modelos o en el aumento de su resolución horizontal.

Si se repasa la evolución histórica de la predicción numérica, que se basa fundamentalmente en la disminución de las hipótesis necesarias para simplificar el sistema de ecuaciones diferenciales (EDP) y permitir que éste sea resuelto en un tiempo razonable con el ordenador disponible, se pueden diferenciar los siguientes modelos meteorológicos:

2.1.1 Modelos barotrópicos

Estos modelos fueron desarrollados en Estados Unidos en los años cuarenta para poder ser usados en los primeros calculadores electrónicos. Se trata del modelo más simple y se basa en lo que se conoce como hipótesis barotrópica que consiste en suponer que las superficies isobáricas (presión constante) coinciden con las superficies de densidad constante, de manera que el gradiente isobárico de temperatura es cero y el viento geostrofico no varía con la altura.

Esta hipótesis es muy restrictiva y reduce el sistema de EDP a una única ecuación diferencial para la vorticidad que se resuelve en un único nivel vertical ya que la atmósfera barotrópica no tiene estructura vertical.

El modelo era lo suficientemente simple para que pudiera ejecutarse en ordenadores poco potentes, pero los resultados nunca fueron demasiados fiables. El principal inconveniente era la ausencia de modelaje en la estructura vertical de la atmósfera.

2.1.2 Modelos baroclinos

Una atmósfera baroclina se define como aquella en la que las superficies isobáricas y las isopícnicas (densidad constante) no coinciden, por lo tanto, el gradiente isobárico de temperatura es distinto de cero y el viento geostrofico sí varía con la altura pero sólo en módulo y no en dirección. De este modo, los modelos baroclinos tienen en cuenta una cierta estructura vertical de la atmósfera y proporcionan magnitudes que varían verticalmente.

El primer modelo se integró en Estados Unidos y era un modelo con tres niveles verticales cuyos resultados fueron insuficientes para ser usados en la predicción diaria del tiempo.

2.1.3 Modelos de ecuaciones primitivas

Los modelos de ecuaciones primitivas supusieron el primer tipo de modelos numéricos cuyos resultados eran lo suficientemente fiables para usarse en los servicios meteorológicos en la predicción diaria. Actualmente, todos los modelos numéricos operativos que se utilizan son modelos de ecuaciones primitivas.

Estos modelos usan las EDP atmosféricas simplificadas pero manteniendo las variables que son directamente observadas: temperatura, humedad y componentes de la velocidad. Los modelos anteriores se basaban en el uso de la vorticidad y de la divergencia del viento para obtener los valores de temperatura y componentes del viento. Asimismo, este modelo considera ya una estructura vertical de la atmósfera completa.

A partir de los primeros modelos desarrollados de este tipo se comprobó que las deficiencias en los resultados ya no eran debidas a una deficiente formulación de las ecuaciones diferenciales para la construcción del modelo, sino a dos causas principales:

- La resolución horizontal y vertical de la rejilla de integración. No se podía pretender describir el tiempo en un lugar exacto con una rejilla que tenía 200 km entre dos puntos contiguos o con sólo diez niveles verticales.
- Procesos atmosféricos. No podían tenerse en cuenta procesos que tenían lugar en la atmósfera cuya escala espacial y temporal era claramente inferior a las resoluciones. Por ejemplo, la convección, siendo la escala de las grandes nubes convectivas del orden de varios kilómetros, es evidente que sus efectos no podían incluirse directamente en modelos con una resolución de 200 km.

La propia formulación de las ecuaciones en los modelos también es fuente de errores, ya que para su resolución se utilizan métodos aproximados, lo que no permite resolverlas de modo exacto

Las soluciones adoptadas para paliar estos dos efectos han sido las que han marcado la evolución de los modelos numéricos en los últimos 20 años, siempre con un ritmo marcado por el aumento de la potencia de cálculo de los ordenadores.

2.1.4 Modelos de mesoescala

El aumento de la resolución horizontal y vertical de los modelos operativos ha sido constante en las últimas dos décadas. A medida que se ha ido aumentando la resolución horizontal de un modelo, se mejora la

representación de la orografía de la superficie que tiene el modelo. Como el efecto de la orografía es muy importante en la atmósfera, los resultados de los modelos mejoran notablemente a medida que se pasan de resoluciones de 100 km a incluso 10 km. Sin embargo, por debajo de los 10 km aproximadamente, se plantea otro problema ya que el simple hecho de aumentar la resolución vertical y horizontal ya no supone necesariamente una mejora de los resultados.

Este nuevo problema es la hipótesis hidrostática incluida en los modelos de ecuaciones primitivas que empieza a perder su validez a esas resoluciones. Del mismo modo, algunos esquemas de parametrizaciones físicas deben reformularse para adaptarse a resoluciones de más de 5 km.

A este tipo de modelos, usados en resoluciones de más de 5 km y que ya no incluyen la hipótesis hidrostática en su formulación, se les suele llamar modelos de mesoescala. Éstos están aún en fase de investigación y su uso operativo está restringido, ya que todavía no están suficientemente probados.

2.2 Principios generales de los modelos numéricos

El sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales sobre el que se formulan los modelos numéricos no es más que una simplificación de las ecuaciones que rigen la dinámica de fluidos particularizadas para el fluido atmosférico.

Los fenómenos físicos más relevantes que hay que introducir en las ecuaciones de la dinámica atmosférica son: humedad del aire, interfase tierra-atmósfera, la convección intensa, efectos combinados de la radiación solar, de la radiación atmosférica y de la radiación terrestre, las precipitaciones de gran escala, los efectos de las ondas gravitatorias orográficas y los transportes turbulentos horizontales.

En la formulación se desprecian las fuerzas moleculares y se tienen en cuenta la fuerza del gradiente de presión, fuerza de Coriolis, fuerza gravitacional y fuerza de rozamiento. Estas ecuaciones se discretizan para que puedan resolverse numéricamente, ya que no tienen solución exacta. En el proceso de discretización debe elegirse una rejilla espacial en la que se representen los valores de las variables del modelo y en ella misma se resuelvan las ecuaciones, obteniéndose así valores de las variables meteorológicas para un instante futuro en todos los nodos de la rejilla de integración.

Se debe tener en cuenta también aquellos procesos que se producen en la atmósfera y cuya escala espacial y temporal es mucho menor que la resolución en la que se ha formulado el modelo. Estos procesos son muy importantes y se introducen normalmente en los modelos a través de esquemas de parametrizaciones físicas que intentan contabilizar los efectos de estos procesos en las variables del modelo.

2.2.1 Ecuaciones del sistema

Las ecuaciones se deducen a partir de la aplicación de las leyes de Newton, considerando un sistema de coordenadas esféricas y que se mueven con la rotación de la Tierra. La ecuación correspondiente al vector velocidad del viento es la siguiente:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \sum \frac{\vec{F}_i}{m} = -\frac{1}{\rho}\vec{\nabla}p + \vec{g} + \vec{F}_r$$

Donde

\vec{V} = Velocidad del viento

\vec{F}_i = Fuerzas sobre cada elemento del fluido de masa m

ρ = Densidad

p = Presión

\vec{g} = Gravedad

\vec{F}_r = Fuerza de rozamiento

Como el sistema de referencia gira solidario con la Tierra, es decir, es un sistema no inercial, se debe incluir en la ecuación una fuerza aparente, llamada Fuerza de Coriolis, que no realiza trabajo y cuyo efecto es desviar el flujo hacia la derecha en el Hemisferio Norte y a la izquierda en el Sur:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \sum \frac{\vec{F}_i}{m} = -\frac{1}{\rho}\vec{\nabla}p + \vec{g} + \vec{F}_r - 2\vec{\Omega} \times \vec{V}$$

Donde

$\vec{\Omega}$ = Velocidad angular de la Tierra

La siguiente ecuación que se debe tener en cuenta es la ecuación del balance energético. Ésta se obtiene a partir del Primer Principio de la Termodinámica teniendo en cuenta que el conjunto Atmósfera – Tierra funciona como una máquina térmica que convierte la energía procedente de la radiación solar en movimiento (viento) y en el alimento del ciclo hidrológico (evaporaciones y condensaciones del vapor de agua en la atmósfera).

$$dQ' = C_p dT - \alpha dp$$

Donde

Q = Cantidad total de transferencia de calor desde o hacia el sistema

T = Temperatura

C_p = Capacidad calorífica específica a presión constante

α = Volumen específico

Teniendo en cuenta que la energía aportada por los cambios de fase del vapor de agua, la ecuación queda:

$$dQ - L \frac{dq}{dt} = c_p \frac{dT}{dt} - \alpha \frac{dp}{dt}$$

Donde

q = Variación del vapor de agua por unidad de masa contenido en una parcela de aire

L = Calor latente de la sustancia, depende del tipo de cambio de fase

c_p = Calor específico a presión constante

En el término dQ se incluyen los efectos de la radiación solar, calor de fricción, el flujo de calor sensible desde la superficie, etc.

Una aproximación muy utilizada en los modelos numéricos consiste en suponer un equilibrio de fuerzas en la vertical, de forma que la aceleración según dicha componente sea nula. Esta simplificación facilita la resolución del sistema de ecuaciones y se conoce como aproximación hidrostática. Con esta hipótesis, la componente vertical de la ecuación del movimiento se reduce a:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$$

Por último, hay que tener en cuenta la Ley de Conservación de la Masa que da lugar a la ecuación de continuidad:

$$\frac{1}{\rho_m} \frac{d\rho_m}{dt} + \vec{\nabla} \cdot \vec{V} = \frac{1}{1-q} \frac{dq}{dt}$$

Con esta ecuación se obtiene un sistema de EDP que al ser no lineal, no tiene solución exacta. Para hallar soluciones, se deben utilizar métodos numéricos que discreticen las derivadas parciales en los nodos de una rejilla de integración, en la cual se resuelven las ecuaciones, obteniéndose entonces los valores de las variables del modelo en un tiempo futuro.

2.2.2 Métodos de discretización

Como se ha comentado con anterioridad, el sistema obtenido no tiene una solución exacta y, por lo tanto, se debe aproximar dicha solución mediante métodos de discretización de las citadas ecuaciones. Dependiendo de la discretización elegida, tanto para las derivadas espaciales como temporales, se elegirá la rejilla en la que se va a resolver el sistema de EDP.

Cada uno de los esquemas tiene sus ventajas e inconvenientes, entonces la elección de uno u otro para resolver el sistema dependerá de las características del problema que se quiera resolver.

2.2.2.1 Resolución por diferencias finitas

Este esquema es el más empleado en los modelos numéricos modernos y se basa en la aproximación de las derivadas parciales por diferencias entre los valores de la variable en cuestión en dos nodos de la rejilla próximos entre sí.

2.2.2.2 Resolución por método espectral

Se trata de un método alternativo que aprovecha las propiedades de las EDPs de los modelos numéricos. Las soluciones pueden obtenerse como series de funciones ortogonales. Estas funciones pueden ser series de Fourier, aunque en el caso de la esfera, éstas son armónicos esféricos, por ser más adecuados a la geometría del problema.

Esta resolución presenta ventajas matemáticas, aunque presenta la desventaja de que el modelo debe cambiar entre el espacio espectral y el de la rejilla en cada paso de tiempo lo que obliga al ordenador a consumir más tiempo.

2.2.2.3 Resolución por elementos finitos

Este esquema se basa también en representar las variables del modelo en una serie de funciones base que sean ortogonales, conocidas como funciones de forma. Éstas son distintas de cero en los alrededores del nodo de la rejilla considerado y son cero en el resto del dominio. Las funciones de forma pueden ser polinomios de primer orden o superior.

2.2.3 Rejillas de integración

Las rejillas de integración son una herramienta que se utiliza para la resolución de ecuaciones de manera aproximada. Las rejillas son tridimensionales de manera que en cada nodo se deben calcular los valores de las variables del modelo, de sus derivadas parciales discretizadas y de las fuerzas que intervienen en las ecuaciones del modelo.

Como resultado, se obtienen los valores en cada nodo de las variables básicas: temperatura, humedad específica y componentes del viento, y de las variables derivadas: precipitación, nubosidad, etc., previstas para un tiempo futuro.

Para elegir la rejilla de integración del modelo se debe tener en cuenta la geometría del problema y escoger entonces aquella que se adapte mejor a las propiedades del esquema de discretización elegido.

Por ejemplo, para un modelo de circulación general de la atmósfera, se necesita elegir una rejilla global, es decir, que cubra todo el planeta. Sin embargo, estas rejillas tienen el inconveniente de que al aumentar la resolución horizontal del modelo, aumenta el número de nodos de la rejilla, lo que implica que el número de operaciones aumenta drásticamente y por tanto el tiempo de cálculo del ordenador.

Otra opción diferente puede encontrarse cuando el área de interés es mucho menor, lo que se conoce como modelos de área limitada, los cuales consideran la rejilla de integración en una parte de la superficie del planeta. El inconveniente de estos modelos es que para poder resolver las ecuaciones del sistema en los puntos del borde del área de integración, se necesitan conocer los valores de las variables fuera del área cubierta por la rejilla. Para subsanar ese problema, se usan los valores de otro modelo cuya rejilla incluya la anterior.

En la siguiente figura (Fig. 2-1), puede verse la diferencia entre una rejilla de un modelo global (en negro) y dos rejillas de modelos de área limitada (en azul y rojo).

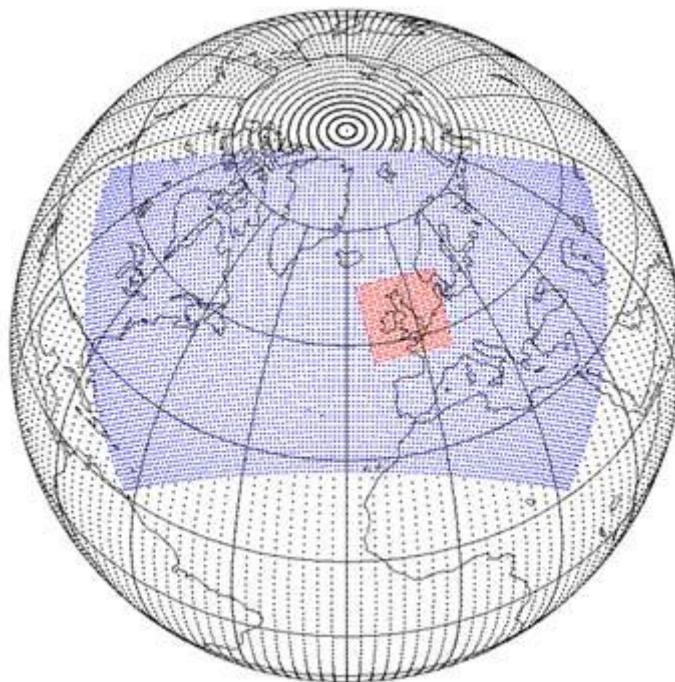


Figura 2-1. Rejilla de integración de un modelo global (negro), un modelo regional (azul) y un modelo mesoescalar (rojo). [8]

2.2.4 Parametrizaciones físicas

En la atmósfera existe una multitud de fenómenos cuyos efectos sobre las variables atmosféricas son muy importantes y cuya escala típica es mucho menor que la resolución de los modelos numéricos típicos. Para poder tener en cuenta sus efectos se deben establecer una serie de hipótesis sobre su funcionamiento de manera que a través de ellas puedan incluirse en los modelos.

La hipótesis básica consiste en suponer que existe un equilibrio estadístico entre los fenómenos y las variables resueltas por el modelo. De esta forma, no interesan los detalles de los fenómenos sino sólo sus efectos estadísticos sobre el flujo general. Al mismo tiempo, se debe de buscar la manera de obtener dichos efectos a partir de las características del flujo atmosférico resueltas por el modelo.

Este proceso es el proceso de parametrizar los fenómenos físicos cuya escala típica es menor que la del modelo en cuestión. Los principales procesos que se incluyen en los modelos numéricos son:

- Radiación
- Convección
- Intercambio atmósfera superficie del suelo
- Turbulencia
- Condensación a gran escala
- Frenado por ondas gravitacionales

Todos estos procesos son los que forman la llamada física del modelo y en su conjunto son muy importantes para la fiabilidad de las predicciones obtenidas de los mismos.

2.2.5 Asimilación de datos meteorológicos

Como se señaló al principio, matemáticamente hablando, el problema de la predicción numérica del tiempo es un problema de valores iniciales, es decir, que para poder resolverlo se debe resolver el sistema de EDPs, una de cuyas condiciones fundamentales es el valor que toman inicialmente las variables del modelo. En términos

meteorológicos, significa conocer los valores de todas las variables del modelo en todos los puntos de la rejilla de integración en el instante inicial de tiempo. A eso se le llama análisis meteorológico y consiste en calcular los campos meteorológicos a partir de las observaciones meteorológicas que se hacen en todo el mundo. Este proceso se conoce modernamente como *asimilación de datos*.

La irregular distribución espacial de las observaciones complica mucho el proceso de asimilación de las mismas. El hecho de que no haya casi ninguna observación sobre gran parte del área de integración hace que se considere que la incertidumbre en las condiciones iniciales sea la mayor fuente de error de los modelos numéricos de predicción del tiempo a corto y medio plazo. Dado el carácter caótico del sistema atmosférico, pequeños errores iniciales se amplifican con el paso del tiempo.

En la siguiente figura (Fig. 2-2), se muestra la distribución espacial de observaciones un día cualquiera sobre el área de integración de un modelo operativo de AEMET (los puntos amarillos representan las distintas observaciones).

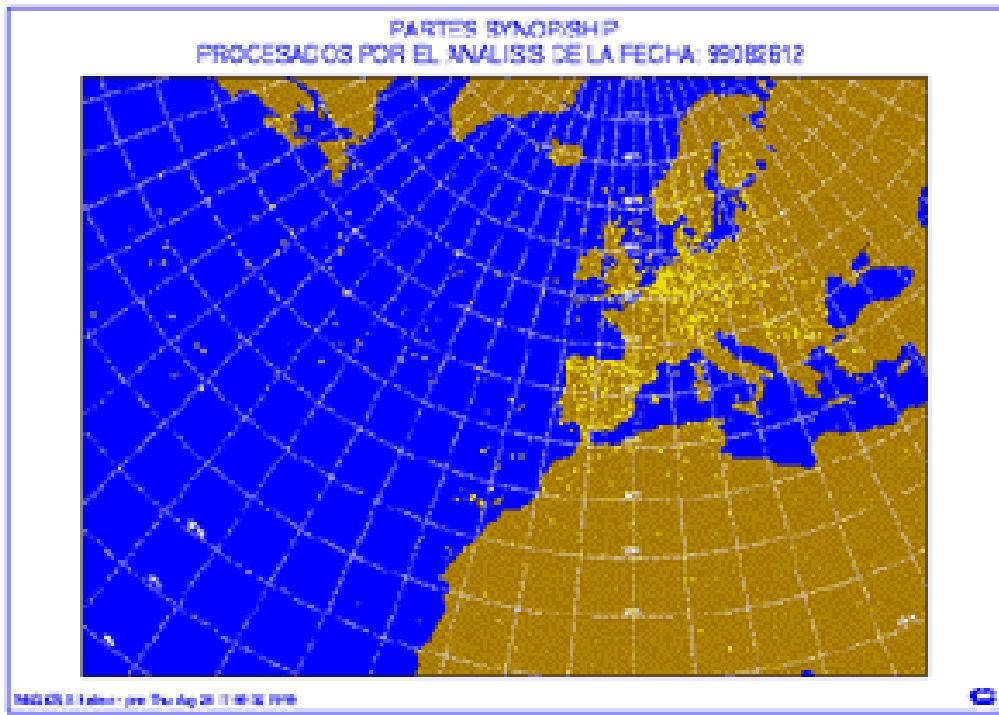


Figura 2-2. Distribución espacial de observaciones. [8]

Por otra parte, no existe solo un tipo de observaciones. Hay observaciones de superficie, de altura, desde satélites meteorológicos, desde aviones comerciales, etc., de manera que la variedad de factores a tener en cuenta complica los métodos de asimilación de datos. En la siguiente figura (Fig.2-3), se representa de manera esquemática los diferentes tipos de observaciones meteorológicas que suelen tenerse en cuenta en los modelos modernos.

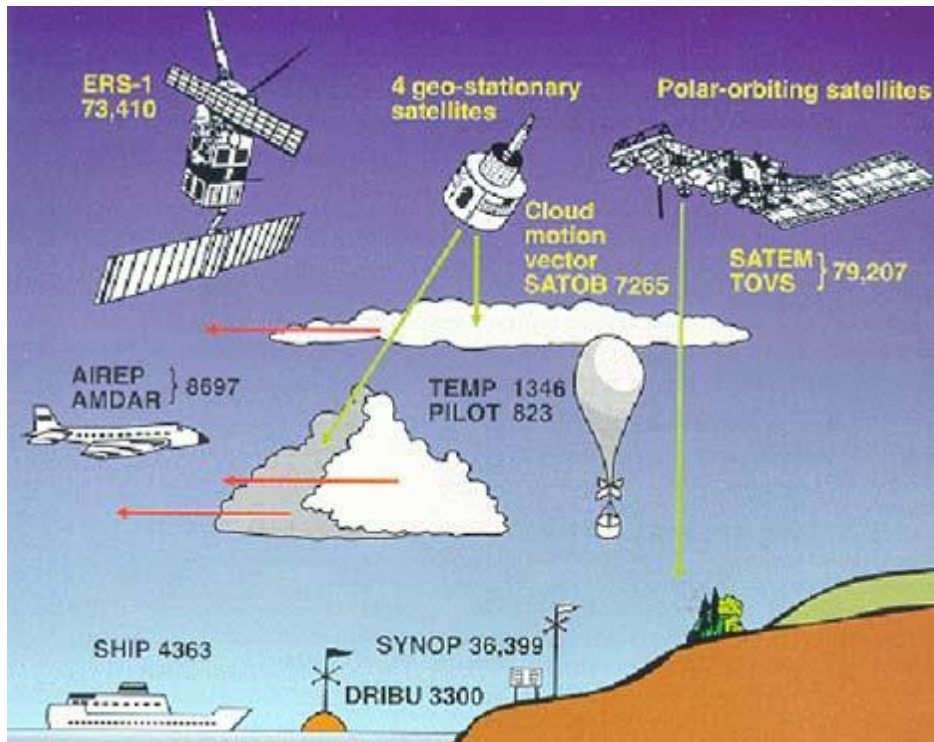


Figura 2-3. Diferentes tipos de observaciones meteorológicas ingestedas en los modelos de predicción. [8]

2.3 Modelos numéricos de predicción

Existe un gran número de modelos de predicción que han sido desarrollados por diversas agencias y organismos meteorológicos en todo el mundo. Los mismos implementan diversas metodologías para pronosticar la evolución de las diversas variables meteorológicas.

En el caso de Europa, se han realizado “modelos comunitarios”, destinados a varias categorías de usuarios de los distintos servicios meteorológicos. Entre estos modelos, AEMET utiliza tres modelos diferentes: el modelo del Centro Europeo, el modelo HARMONIE y el modelo HIRLAM, éste último se opera con dos resoluciones distintas.

El modelo HIRLAM no se va a analizar, ya que actualmente en meteorología aeronáutica se utiliza cada vez más HARMONIE, junto con el ECMWF.

2.3.1 Modelo del Centro Europeo (ECMWF)

El Centro Europeo de Predicción a Medio-Plazo (ECMWF) proporciona previsiones meteorológicas a sus Estados miembros y Estados cooperantes a un plazo entre 3 y 15 días. Estos son utilizados por los servicios meteorológicos nacionales para proporcionar alertas de fenómenos adversos a sus clientes, incluidos los organismos de protección civil y el público en general.

ECMWF es una organización intergubernamental con el apoyo de más de 30 estados (21 países miembro y otros 13 que cooperan a otro nivel). Su principal objetivo es producir pronósticos del tiempo con hasta dos semanas de adelanto y difundir esta información a los servicios meteorológicos nacionales de sus Estados miembros, que pueden verse en la Fig. 2-5.

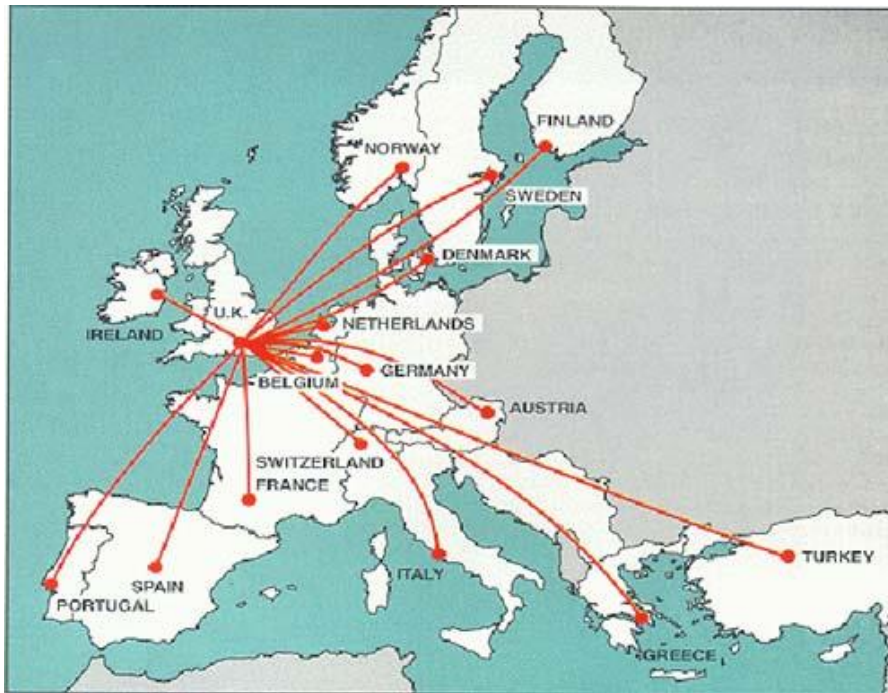


Figura 2-4. Países miembro del Centro Europeo. [8]

El sistema de predicción ECMWF proporciona a los usuarios un pronóstico global dos veces al día (00:00 y 12:00 UTC) para el medio plazo. Los pronósticos de alta resolución del modelo tienen una resolución de 16 km y, verticalmente, posee 91 niveles desde la superficie hasta una altura de 80 km. Actualmente, desde marzo de 2016, el modelo se ha actualizado y la resolución horizontal ha aumentado a 9 km [9]. Esta mejora ha permitido:

- Proporcionar mejores predicciones de temperatura, humedad y velocidad del viento
- Disminuir los errores de la mayoría de los parámetros de la atmósfera en un 2/3 %
- Modelar los accidentes geográficos con mejor resolución
- Definir detalles tales como los ojos o las bandas de precipitación de los ciclones tropicales con mayor resolución
- Poder pronosticar la lluvia engelante

2.3.2 Modelo HARMONIE

HARMONIE es un modelo espectral no hidrostático de alta resolución para predicciones a corto plazo. Se comenzó a desarrollar en 2005 por el grupo HIRLAM y el Consorcio ALADIN, que buscaban un nuevo sistema destinado para la modelización operativa a una resolución de kilómetros. El nuevo sistema, llamado HARMONIE por la comunidad HIRLAM, se ha desarrollado principalmente por Météo-France y el Consorcio ALADIN en colaboración con ECMWF y el grupo HIRLAM.

Hay varias configuraciones posibles en el sistema HARMONIE, dependiendo de la resolución deseada:

- Resoluciones inferiores a 2.5 km: AROME [18] diseñado para resoluciones que permiten la convección.
- Resoluciones entre 2-9 km: configuración ALARO.
- Resoluciones superiores a 10 km: configuración ALADIN, HIRLAM o la física ECMWF

Las parametrizaciones adoptadas por HARMONIE son las mismas que las adoptadas por el modelo francés AROME. Las parametrizaciones de la física de la atmósfera implementadas operacionalmente hasta el momento son un esquema de la radiación, convección poco profunda, un esquema de microfísica para la descripción de nubes calientes, de hielo y condensación, y un esquema de la turbulencia. Opcionalmente se

pueden incluir parametrizaciones de las otras configuraciones posibles.

Con el fin de ser capaz de simular la interacción entre la atmósfera y la superficie, HARMONIE incluye, además de la parte atmosférica, otros modelos que simulan los procesos que influyen en la atmósfera. Uno de estos modelos es SURFEX que simula los procesos en la superficie y en el suelo, por ejemplo, la temperatura y el balance hídrico, balance de radiación y la transferencia de calor.

Como se trata de un modelo de área limitada, HARMONIE necesita la predicción del desarrollo de las condiciones meteorológicas en los límites del dominio, para ello se nutre de las predicciones del modelo global del Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo.

AEMET está utilizando HARMONIE con la configuración AROME con una resolución horizontal de 2.5 km desde Octubre de 2011, aún en modo experimental diariamente. Existen diferencias entre la configuración usada por AEMET y la descrita por [8]. Las diferencias principales son que las secuencias de comandos de control, el mantenimiento del código, verificación y vigilancia se heredan de sistema HIRLAM.

Con este modelo y a esta resolución, se pueden simular de forma explícita algunos procesos que son importantes para las nubes y la precipitación, como por ejemplo, el movimiento vertical de las parcelas de aire, lo que mejora la simulación de las corrientes verticales de aire permitiendo que el modelo pueda simular grandes nubes convectivas y la precipitación convectiva (lluvia y nieve). Además, permite que el modelo pueda simular mejor los fenómenos meteorológicos ascendentes y descendentes, por ejemplo, en relación con los frentes meteorológicos afilados, las ondas de montaña y otros impactos de la orografía en el flujo atmosférico.

El modelo se hace funcionar en AEMET 4 veces al día, las horas de inicio son las 00:00, 06:00, 12:00 y las 18:00 UTC, con previsiones para las siguientes 48 horas. La implementación de este modelo ha supuesto una mejora significativa comparándolo con el modelo HIRLAM y el ECMWF. Algunos ejemplos interesantes son las inundaciones que tuvieron lugar durante el otoño de 2011 y una línea de turbonada que cruzó la isla de Mallorca, el 4 de noviembre del mismo año [13].

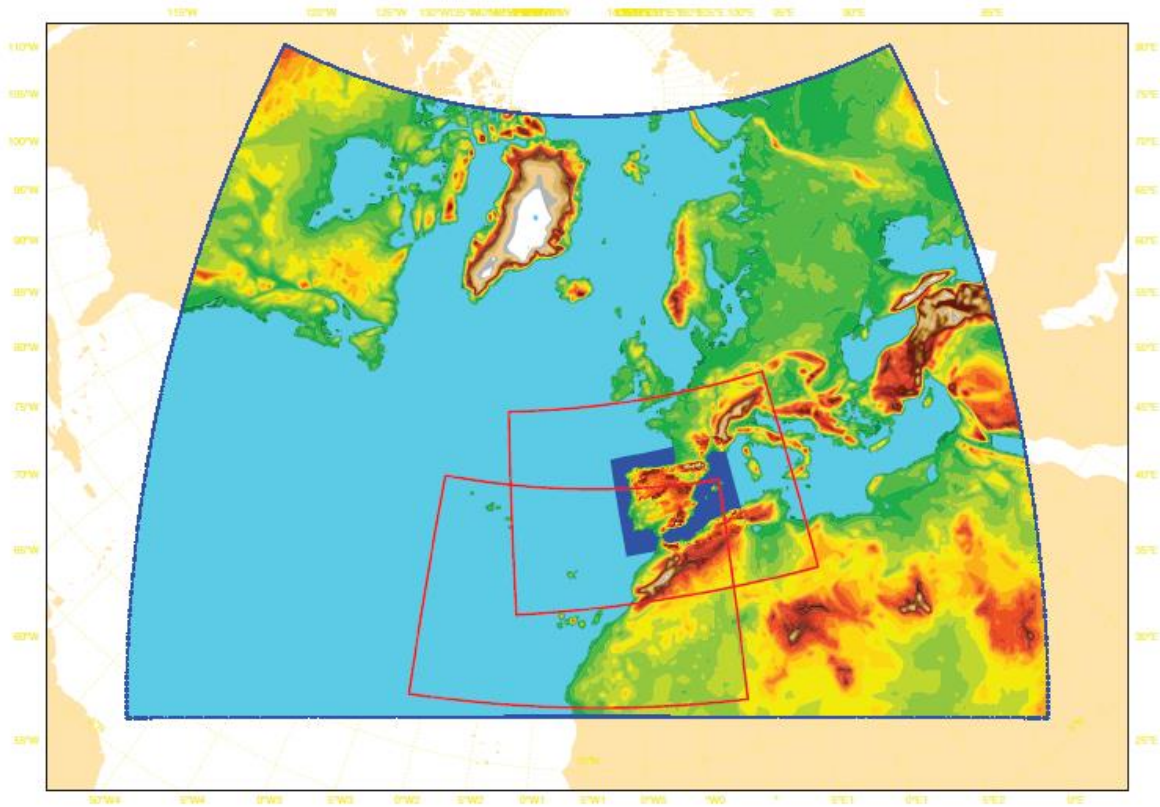


Figura 2-5. Dominio geográfico de HARMONIE (área sombreada interior). [13]

3 SALIDAS DE MODELOS

Para llevar a cabo la verificación operativa de los modelos numéricos de predicción utilizados por AEMET se ha trabajado con los datos de cinco aeropuertos de Andalucía.

Los aeropuertos seleccionados han sido los aeropuertos civiles de Jerez, Málaga, Melilla y Almería, y el aeropuerto militar de la base aérea de Rota. A estos cinco aeropuertos AEMET les presta servicio tanto desde su grupo de predicción situado en Sevilla, como desde los propios aeropuertos con los grupos de observación. En el siguiente mapa se señalan los aeropuertos:



Figura 3-1. Aeropuertos seleccionados.

Los códigos de los aeropuertos son los asignados por la OACI, donde:

- LEJR: Aeropuerto de Jerez
- LERT: Aeropuerto de Rota
- LEMG: Aeropuerto de Málaga
- LEAM: Aeropuerto de Almería
- GEML: Aeropuerto de Melilla

Se han recogido datos de viento desde el 26-Abril-2016 hasta el 31-Mayo-2016, en el Grupo de Predicción y Vigilancia (GPV) de la oficina de AEMET en Sevilla. Se han recogido los datos METAR y las predicciones de los modelos para cada aeropuerto.

3.1 METAR

Los METAR se emiten cada media hora o cada hora según el aeropuerto. Para este análisis se han tomado los datos de cada hora en punto. En el caso de los aeropuertos de Jerez y Málaga, donde los METAR eran emitidos cada media hora, se ha tomado el dato más desfavorable en el intervalo de tiempo, entendiéndose por

el más desfavorable aquel que tuviera la mayor intensidad de viento.

En caso de algún SPECI, un informe meteorológico especial de aeródromo debido a un cambio (mejora o empeoramiento) de las condiciones meteorológicas del aeródromo que trascienda los umbrales fijados para el mismo, se ha seguido el mismo criterio que en los aeropuertos con METAR cada media hora, tomándose el dato más desfavorable en el intervalo de una hora.

A horas determinadas del día, los aeropuertos de Jerez, Almería y Melilla no emitían METAR, por lo que la cantidad de datos analizados ha sido menor que en los otros aeropuertos.

Los METAR AUTO son aquellos que no los emite un observador, sino que se emiten directamente a partir de los datos de los sensores del aeropuerto. Durante el análisis realizado, los METAR AUTO de las semanas de prueba en Almería, Jerez y Melilla no se han tenido en cuenta, ya que están aún en periodo de validación.

3.2 ECMWF

Los datos del modelo del Centro Europeo a Medio – Plazo se han obtenido de la página Web del Centro Europeo. Los datos son mostrados en mapas, donde cada 3 horas se muestra el valor de la intensidad en nudos y dirección del viento en función de la rosa de las vientos.

Introduciendo las coordenadas de cada aeropuerto, la web mostraba las magnitudes el viento, dentro de un rango menor de 5 km, alrededor del punto señalado.

Los datos recogidos son de la última actualización del modelo, por lo que la resolución horizontal es de 9 km, equiparándose a la resolución de un modelo de mesoescala.

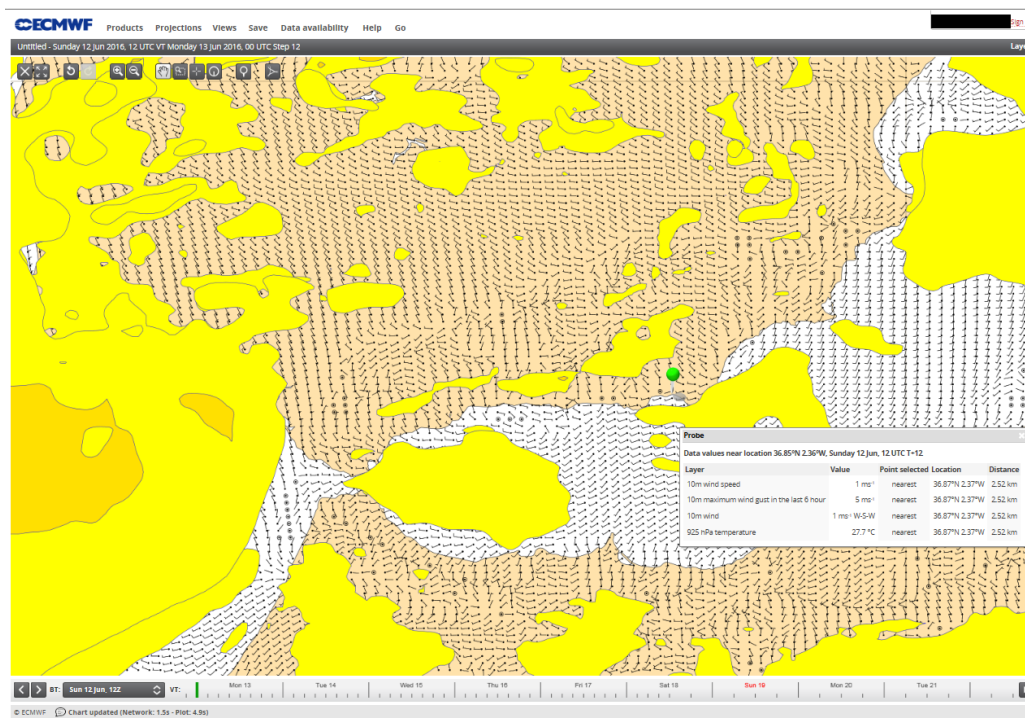


Figura 3-2. Mapa de viento del Centro Europeo.

El modelo se ejecuta dos veces al día con un pronóstico de 10 días, sin embargo solo se han tomado las primeras 24 horas de cada pasada del modelo. Esto ha sido así, porque se están analizando las herramientas de los predictores y, por normal general, sólo utilizan esas primeras 24 horas para realizar sus predicciones.

Ambas pasadas del modelo, la de las 00:00 y la de las 12:00 UTC muestran datos a partir de las siguientes seis horas, por tanto, el intervalo de datos tomado corresponde al intervalo de tiempo de 06:00-03:00(+1) UTC

para la pasada de las 00:00 y el intervalo de 18:00 – 15:00(+1) UTC para la pasada de las 12:00.

3.3 HARMONIE

Los datos del modelo HARMONIE se han obtenido de la herramienta HARMONIE-Aeropuertos de AEMET. A partir de los meteogramas generados por esa herramienta, se han sacado los datos de intensidad de viento y dirección del viento para las primeras 24 horas a partir de la hora de la pasada del modelo.

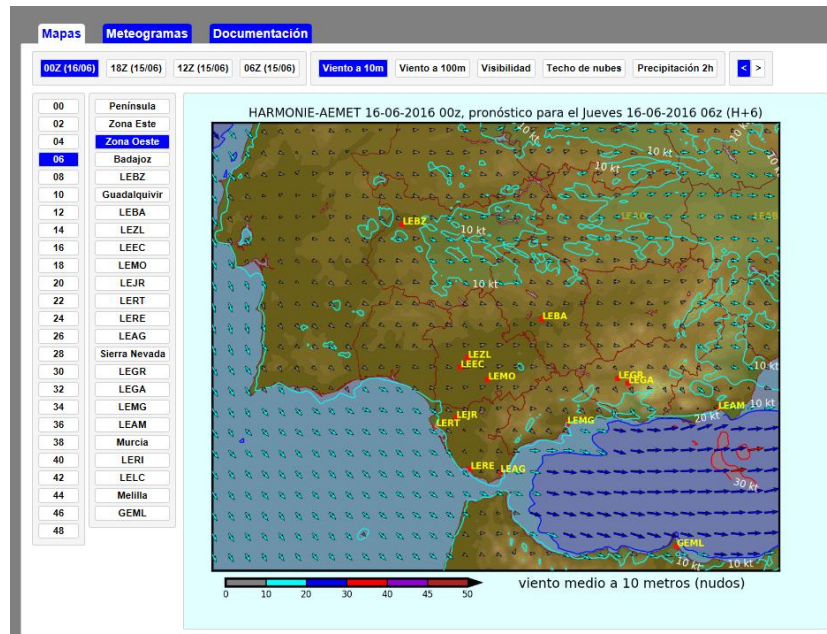


Figura 3-3. Herramienta HARMONIE – Aeropuertos

El dato seleccionado es para el viento en superficie (10 m) y en un radio de 5 km alrededor del aeropuerto. Para recopilar los datos de los meteogramas, se ha desarrollado un programa de tratamiento de imágenes.

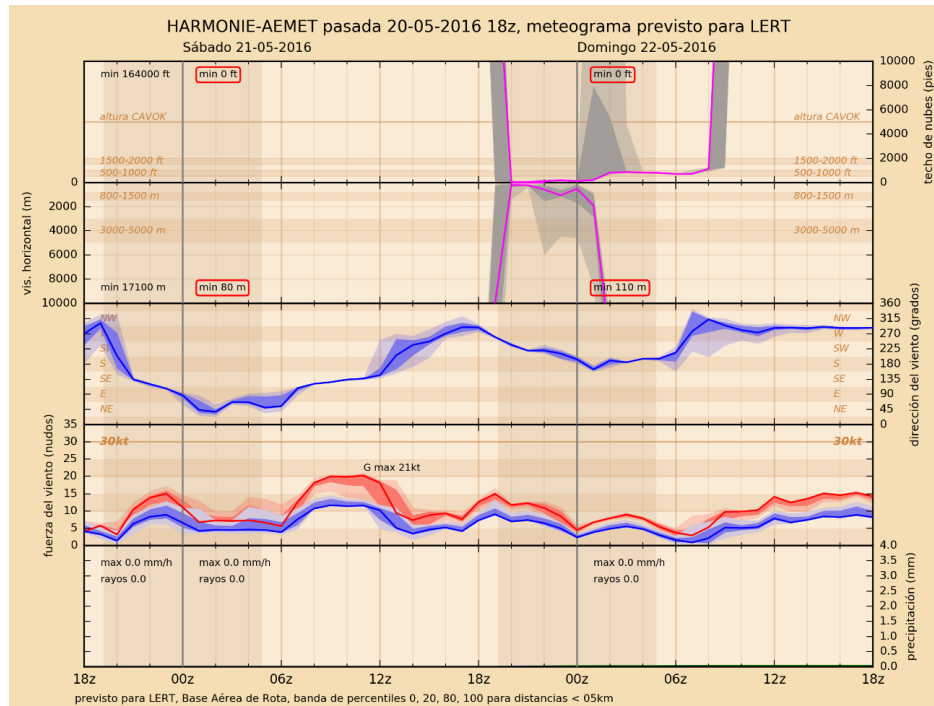


Figura 3-4. Meteograma del Aeropuerto de Rota del 20-05-2016 de la pasada de las 18:00 UTC.

En los meteogramas, para cada magnitud (techo de nubes, visibilidad horizontal, dirección del viento, fuerza del viento y precipitación), se muestran diferentes bandas variando la tonalidad del color. Cada una de estas bandas muestra una banda de percentiles, desde el 0 al 100, siendo la banda de percentil 100 la que tiene el color más vivo, azul para el caso de dirección e intensidad de viento y rojo para el valor de la intensidad de las rachas.

Para el estudio realizado se han tenido en cuenta únicamente los datos de la banda de percentil 100, puesto que son los que se tienen en cuenta a la hora de realizar las predicciones.

4 VERIFICACIÓN OPERATIVA

Como veníamos indicando, el análisis realizado de los datos recopilados ha sido enfocado hacia la cantidad de aciertos de cada modelo. El criterio seleccionado para considerar un acierto ha sido aceptar un 30% de error relativo en el valor de la intensidad y una diferencia de máximo 30° en la dirección, entre el valor del METAR y el correspondiente dato de los modelos de predicción, fijando previamente un valor umbral de 10 nudos para la intensidad del viento del METAR.

En el análisis particular de cada aeropuerto, cabe destacar que, en el aeropuerto de Málaga se ha bajado el umbral a 6 nudos, pues allí el acuerdo entre AEMET y el aeropuerto sobre avisos de aeródromos y grupos de cambio en las predicciones, marca esa velocidad como velocidad significativa.

A la hora de analizar solo se han considerado aquellas horas en las que había tanto dato del METAR como dato del modelo.

4.1 VERIFICACIÓN GENERAL

El primer análisis ha consistido en calcular la tasa general de aciertos para cada pasada de cada modelo en cada aeropuerto, para compararlas posteriormente entre sí.

El caso de dirección variable (VRB) cifrada en el METAR, se ha considerado acierto mientras que el valor de la intensidad cumpla el margen de 30% de error relativo.

Comparando en general las pasadas de los modelos en todos los aeropuertos, se puede observar que la pasada del HARMONIE de las 12 UTC funciona algo mejor seguida de la pasada de las 18 UTC del mismo modelo. Por lo que, el modelo del Centro Europeo obtiene peores tasas de acierto en general, siendo la pasada de las 12 UTC la de mayor acierto.

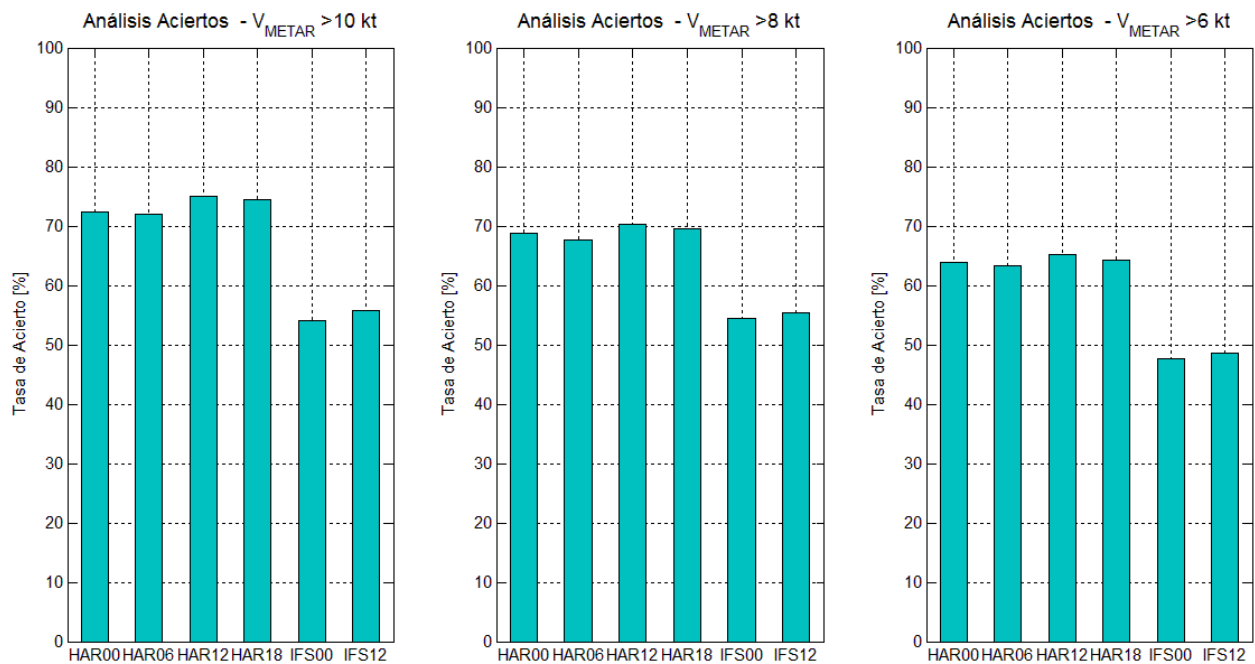


Figura 4-1. Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} . a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt

La cantidad de datos y su distribución por sectores se puede consultar en las tablas del Anexo I.

4.1.1 Aeropuerto de Jerez

Fijando el umbral de que la V_{METAR} sea mayor o igual de 10 nudos, de los 839 datos tomados solo hay 211 horas que cumplen esa condición. En la Tabla 1 se puede ver cuántas veces ha habido modelo y los errores que ha habido.

Tabla 1. Aeropuerto Jerez

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
$V_{METAR} > 10$ kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
$V_{METAR} > 10$ kt	211	211	211	211	211	211
Hay dato del Modelo	163	159	170	162	66	66
Acierto	114	114	129	128	45	45
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	49	45	41	34	21	21
Errores por Dirección	8	10	4	9	6	5
Errores por Intensidad	41	35	37	25	15	16
Sobreestimado	17	11	10	10	2	1
Subestimado	24	24	27	15	13	15
% Acierto	70	72	76	79	68	68

A raíz de estos datos, se puede ver que la pasada del HARMONIE de las 18 UTC es la que tiene la mayor tasa de acierto en este aeropuerto. Un poco menor es la tasa de acierto de ECMWF, aunque esta diferencia es apenas de un 10% comparándolo con la mejor pasada de HARMONIE.

También se observa, que en general ambos modelos, cuando fallan, es debido a una subestimación de la intensidad del viento.

Si cambiamos el umbral de V_{METAR} a 8 y 6 nudos, se aprecia que la tasa de acierto disminuye (Figura 4-2), aunque se mantiene que la pasada de las 18 UTC del HARMONIE tiene el mayor porcentaje de acierto.

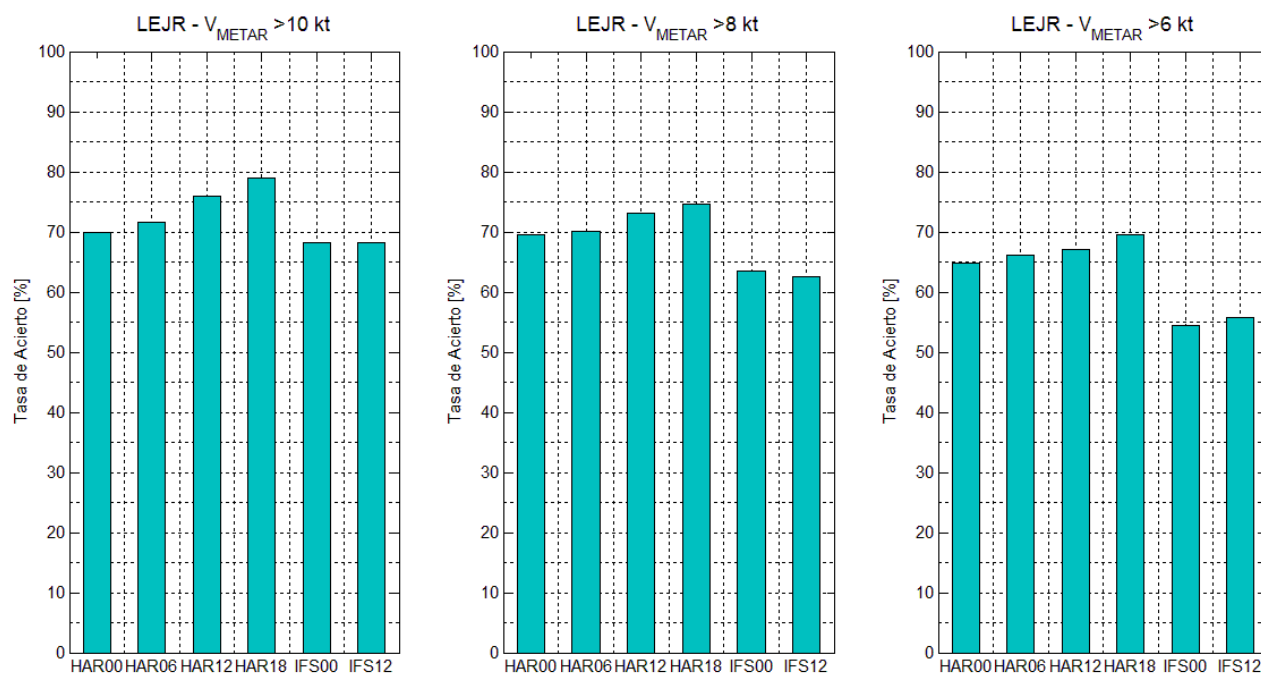


Figura 4-2. Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Jerez. a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt

4.1.2 Aeropuerto de Rota

En el caso del aeropuerto de Rota, se puede ver que el número de ocasiones en las que V_{METAR} es mayor que 10 nudos es superior que en el aeropuerto de Jerez y que la pasada de las 00 UTC del HARMONIE es la que tiene el mayor porcentaje de acierto alcanzando un 75%.

Tabla 2. Aeropuerto Rota

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
$V_{METAR} > 10$ kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
$V_{METAR} > 10$ kt	352	352	352	352	352	352
Hay dato del Modelo	273	257	284	267	115	116
Acierto	205	188	208	188	77	75
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	68	69	76	79	38	41
Errores por Dirección	14	10	12	15	7	8
Errores por Intensidad	54	59	64	64	31	33
Sobrestimado	15	11	14	17	22	21
Subestimado	39	48	50	47	9	12
% Acierto	75	73	73	70	67	65

En este aeropuerto, se observa que cuando el modelo HARMONIE falla, es debido a una subestimación de la velocidad y por el contrario, el Centro Europeo tiende a sobrestimar la intensidad del viento.

Variando el umbral de V_{METAR} , se aprecia que la tasa de acierto vuelve a disminuir cuando se reduce la

velocidad umbral, aunque se mantiene que el modelo con más fiabilidad es la pasada de las 00 UTC del HARMONIE. Sin embargo, la peor no siempre es la misma, varía entre las pasadas de las 00 y las 12 UTC del ECMWF.

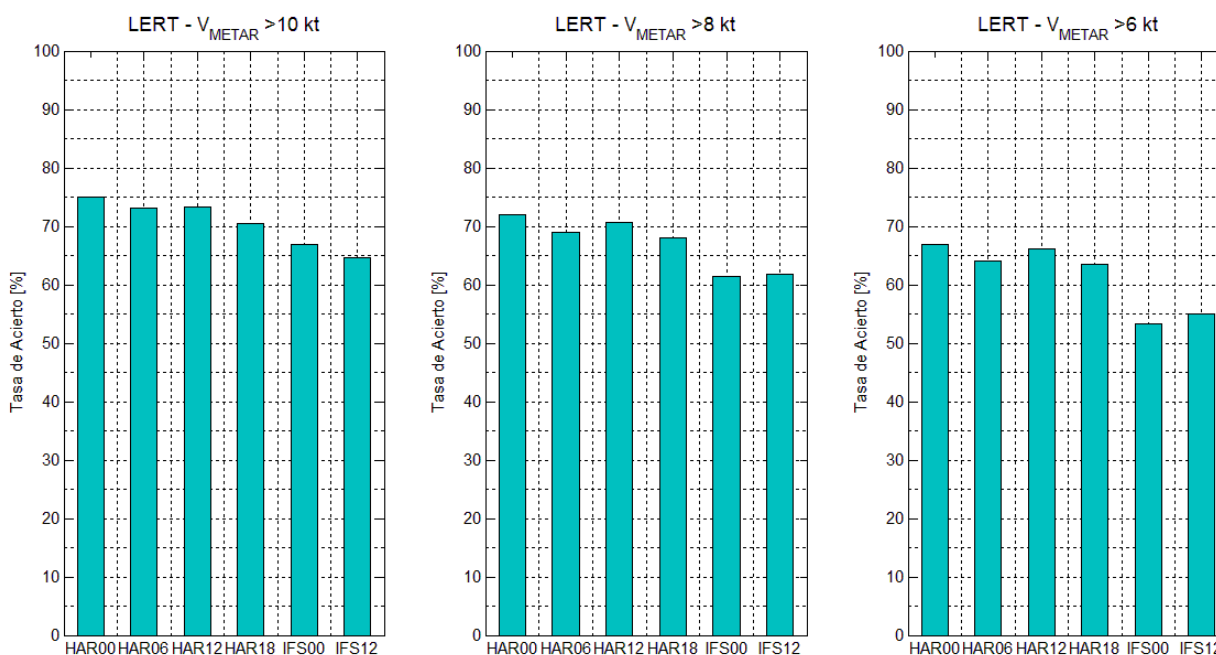


Figura 4-3. . Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Rota. a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt

4.1.3 Aeropuerto de Málaga

En este aeropuerto, la velocidad umbral del METAR es de 6 nudos y es por ello que el porcentaje de acierto a primera vista parece menor en la tabla comparándola con los otros aeropuertos. Con este valor umbral, la pasada de las 12 UTC del HARMONIE es la que mejor acierta en sus pronósticos de viento.

Cabe destacar la diferencia existente entre el modelo del Centro Europeo y el HARMONIE. Normalmente las diferencias entre los modelos es de un 10%, máximo un 20% y en el caso de Málaga, la tasa de acierto varía casi un 40%.

Tabla 3. Aeropuerto de Málaga

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
$V_{METAR} > 6$ kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
$V_{METAR} > 6$ kt	475	475	475	475	475	475
Hay dato del Modelo	388	372	396	375	159	158
Acuerdo	251	236	259	241	45	38
Acuerdo - VRB	1	1	1	1	0	0
Errores Totales	136	135	136	133	114	120
Errores por Dirección	25	22	27	26	28	28
Errores por Intensidad	111	113	109	107	86	92
Sobrestimado	33	28	31	32	13	23
Subestimado	78	85	78	75	73	69

% Acierto	65	63	65	64	28	24
------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

En Málaga se vuelve a dar el mismo caso que en el aeropuerto de Jerez, donde los errores de ambos modelos en la intensidad del viento son en general por subestimación.

Al variar las velocidades umbrales (Figura 4-4), se puede ver que en Málaga no sigue la tendencia esperada, y que al subir el umbral, aumente los aciertos, sino que para el Centro Europeo, al aumentar el umbral a 10 nudos, la tasa de acierto disminuye.

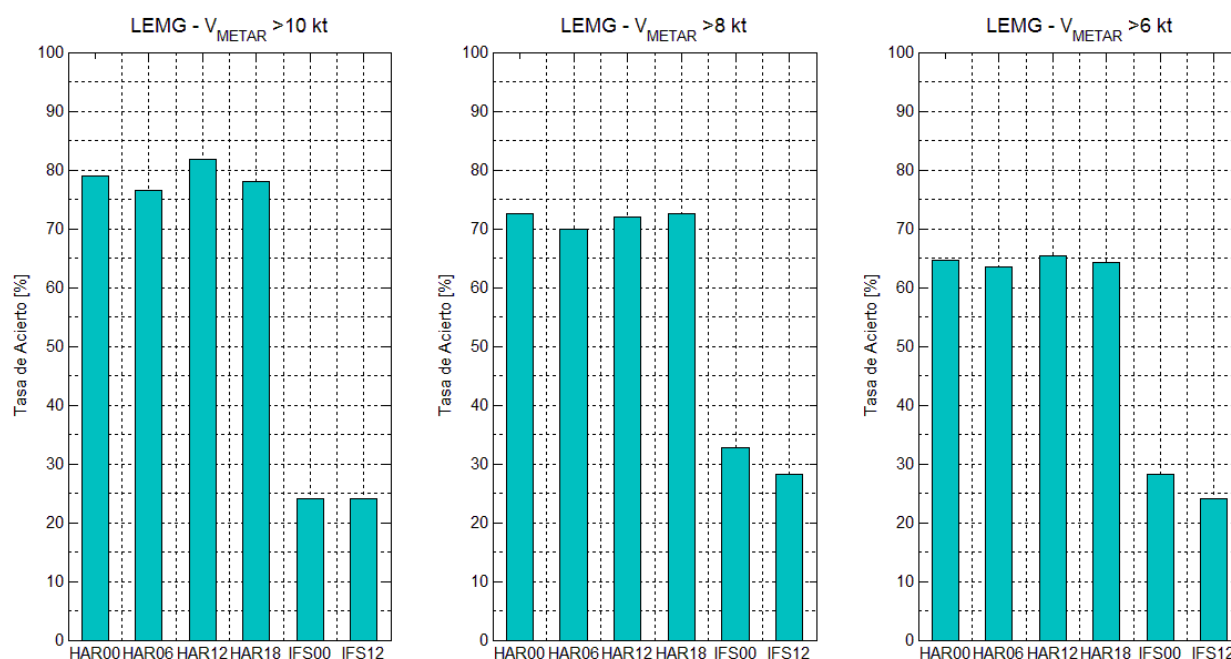


Figura 4-4. Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Málaga. a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt

4.1.4 Aeropuerto de Almería

En este aeropuerto, la pasada de las 18 UTC repite como la que tiene mayor tasa de acierto, tal y como ocurría en el aeropuerto de Jerez. Tras lo observado en el GPV, se tenía la sensación de que la implementación de la herramienta HARMONIE – Aeropuertos había supuesto una mejora significativa respecto al modelo del Centro Europeo; se puede ver que actualmente la diferencia para velocidades altas es apenas un 5 - 10%. Esto es así porque desde marzo de 2016 el Centro Europeo ha duplicado su resolución, su rejilla actual es de 9 km, mejorando sus predicciones.

Tabla 4. Aeropuerto de Almería

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
$V_{METAR} > 10$ kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
$V_{METAR} > 10$ kt	249	249	249	249	249	249
Hay dato del Modelo	196	201	212	209	81	81
Acierto	129	133	148	152	50	56
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0

Errores Totales	67	68	64	57	31	25
Errores por Dirección	9	7	9	10	10	6
Errores por Intensidad	58	61	55	47	21	19
Sobreestimado	26	32	29	22	4	2
Subestimado	32	29	26	25	17	17
% Acierto	66	66	70	73	62	69

Aquí no queda claro el caso de subestimación o sobreestimación del modelo, ni para el ECMWF ni para el HARMONIE, como sí se daba en los aeropuertos anteriores.

En la siguiente gráfica (Figura 4-5), se puede ver que variar la velocidad umbral no repercute intensamente en la tasa de aciertos de los modelos.

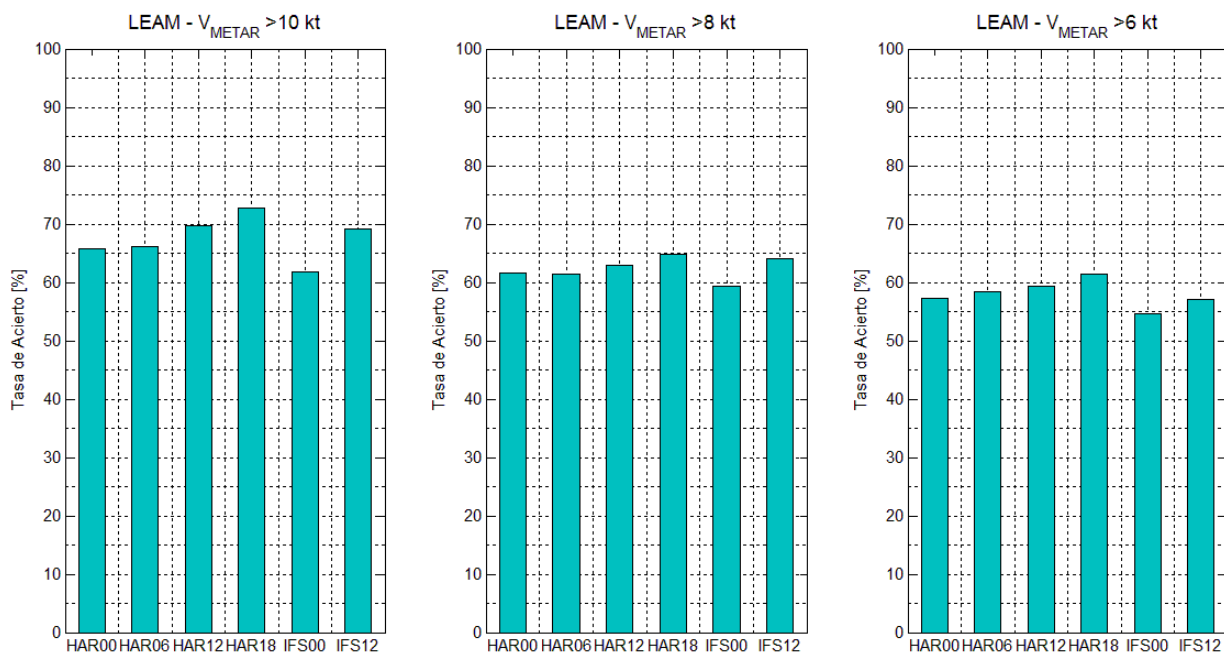


Figura 4-5. Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Almería. a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt

4.1.5 Aeropuerto de Melilla

En el aeropuerto de Melilla, la pasada de HARMONIE de las 12 UTC es la que da la mayor tasa de acierto y el Centro Europeo de las 00 UTC es la que da la menor.

Tabla 5. Aeropuerto de Melilla

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
$V_{METAR} > 10$ kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
$V_{METAR} > 10$ kt	153	153	153	153	153	153
Hay dato del Modelo	131	119	133	115	53	53

Acierto	94	86	99	83	26	28
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	37	33	34	32	27	25
Errores por Dirección	1	2	1	1	9	10
Errores por Intensidad	36	31	33	31	18	15
Sobreestimado	0	0	0	0	2	2
Subestimado	36	31	33	31	16	13
% Acierto	72	72	74	72	49	53

Los errores de ambos modelos vuelven a ser por subestimación de la velocidad del viento, como ocurría en el aeropuerto de Jerez y de Málaga.

Si se varía la velocidad umbral del METAR, se puede ver que al disminuirla a 8 nudos, se reduce la diferencia entre los modelos ECMWF y HARMONIE, lo que quiere decir que el rango de velocidades entre 6-8 nudos, el modelo del Centro Europeo presenta mejores resultados que para otros rangos de intensidades.

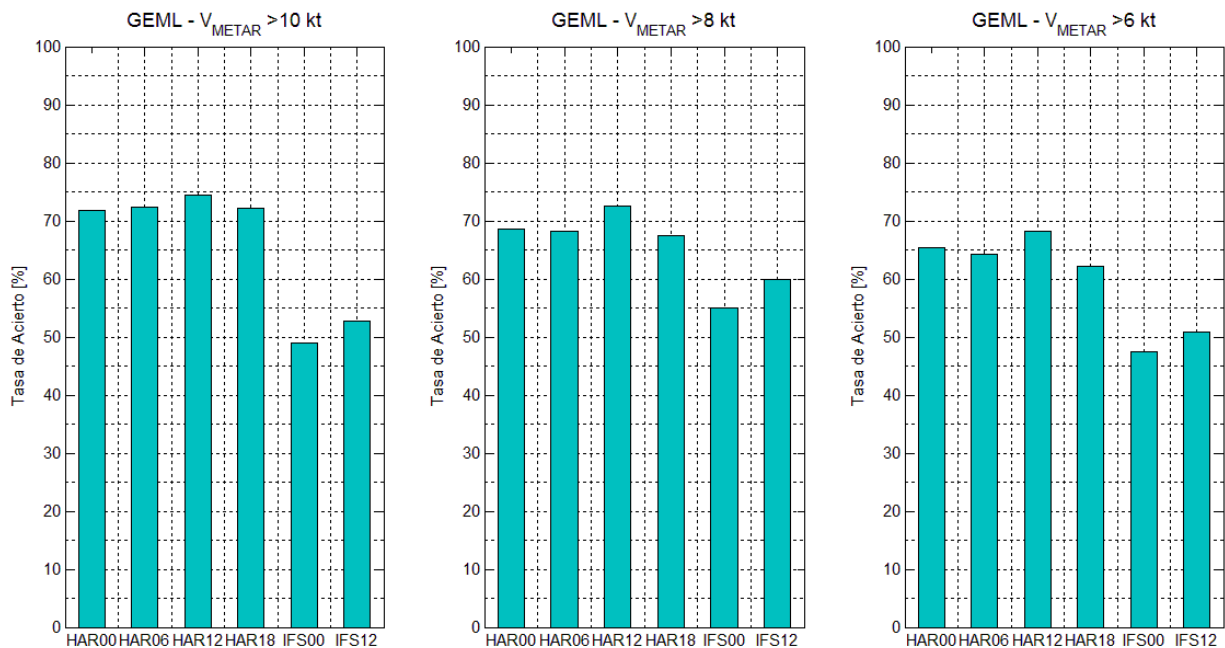


Figura 4-6. Comparación de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Melilla. a) $V_{METAR} > 10$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 6$ kt

4.1.6 Conclusiones

Se ha hecho una comparación entre los cinco aeropuertos con el umbral de V_{METAR} mayor que 10 nudos. En general, se aprecia que el Aeropuerto de Málaga tiene la mayor tasa de acierto del modelo HARMONIE y la peor tasa de acierto del modelo ECMWF.

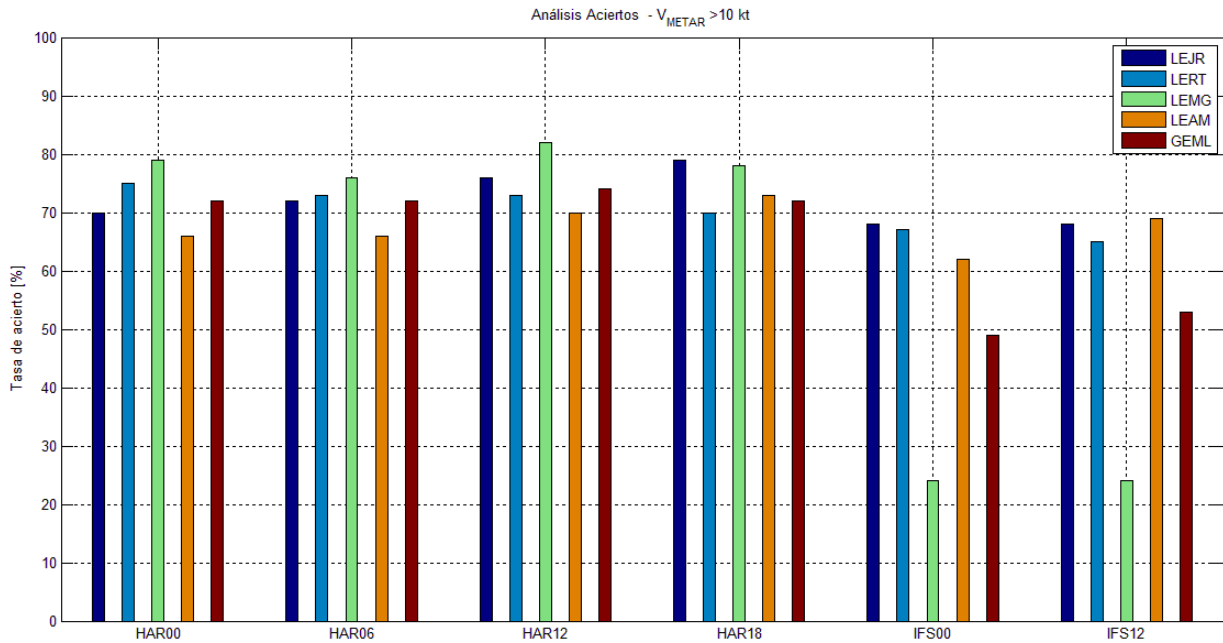


Figura 4-7. Comparación entre los diferentes aeropuertos (LEJR: azul cobalto, LERT: azul claro, LEMG: verde, LEAM: naranja y GEML: granate) de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt

Bajando la velocidad umbral del METAR a 6 nudos (Figura 4-8), en el Aeropuerto de Almería se dan las menores tasas de acierto del HARMONIE y en el caso del modelo del Centro Europeo, el aeropuerto de Málaga repite con los peores porcentajes de acierto.

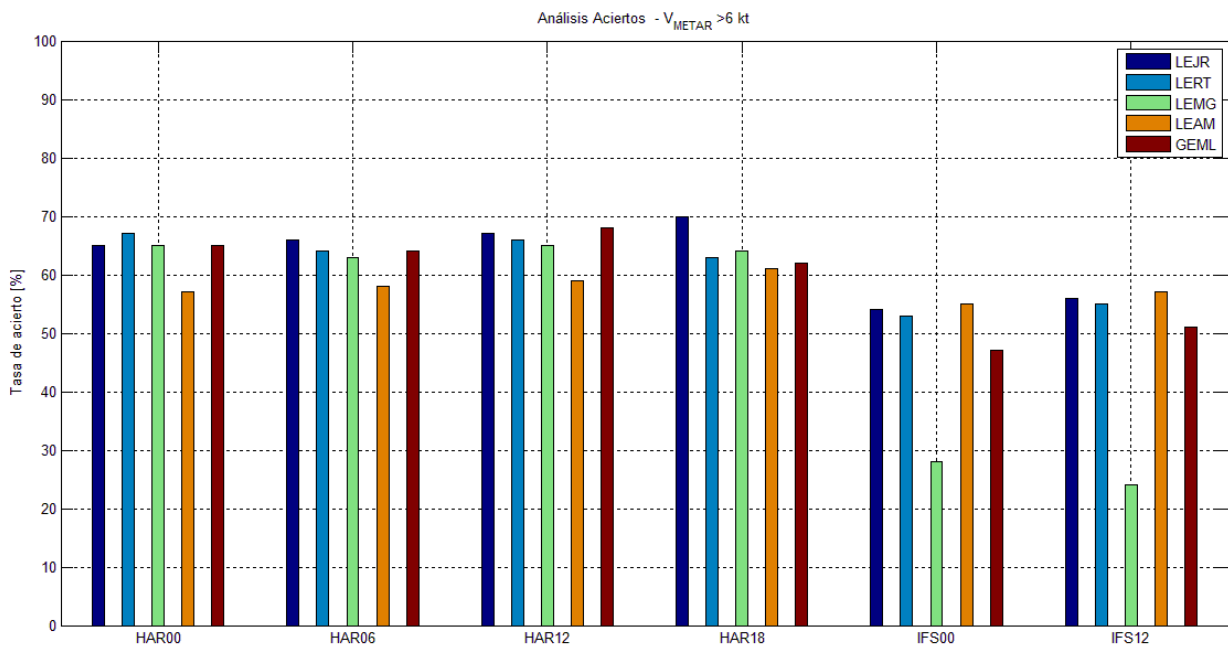


Figura 4-8. Comparación entre los diferentes aeropuertos (LEJR: azul cobalto, LERT: azul claro, LEMG: verde, LEAM: naranja y GEML: granate) de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 6$ kt.

4.2 VERIFICACIÓN POR SECTORES DE DIRECCIÓN

El segundo análisis ha sido enfocado hacia la dirección del viento, intentando encontrar alguna relación entre los sectores principales y la tasa de acierto de los modelos.

Se han considerado las 8 direcciones principales, abarcado cada sector las siguientes direcciones:

- Sector N: $337^{\circ} - 22^{\circ}$
- Sector NE: $22^{\circ} - 67^{\circ}$
- Sector E: $67^{\circ} - 112^{\circ}$
- Sector SE: $112^{\circ} - 157^{\circ}$
- Sector S: $157^{\circ} - 202^{\circ}$
- Sector SW: $202^{\circ} - 247^{\circ}$
- Sector W: $247^{\circ} - 292^{\circ}$
- Sector NW: $292^{\circ} - 337^{\circ}$

Si se compara en general el comportamiento de ambos modelos en cada dirección con la velocidad umbral, se aprecia que las direcciones que mejor predicen los modelos son el Este, Oeste, Sureste y Noroeste. También hay que destacar que en general el Centro Europeo tiene una tasa de acierto por encima de HARMONIE para el viento de Suroeste (SW).

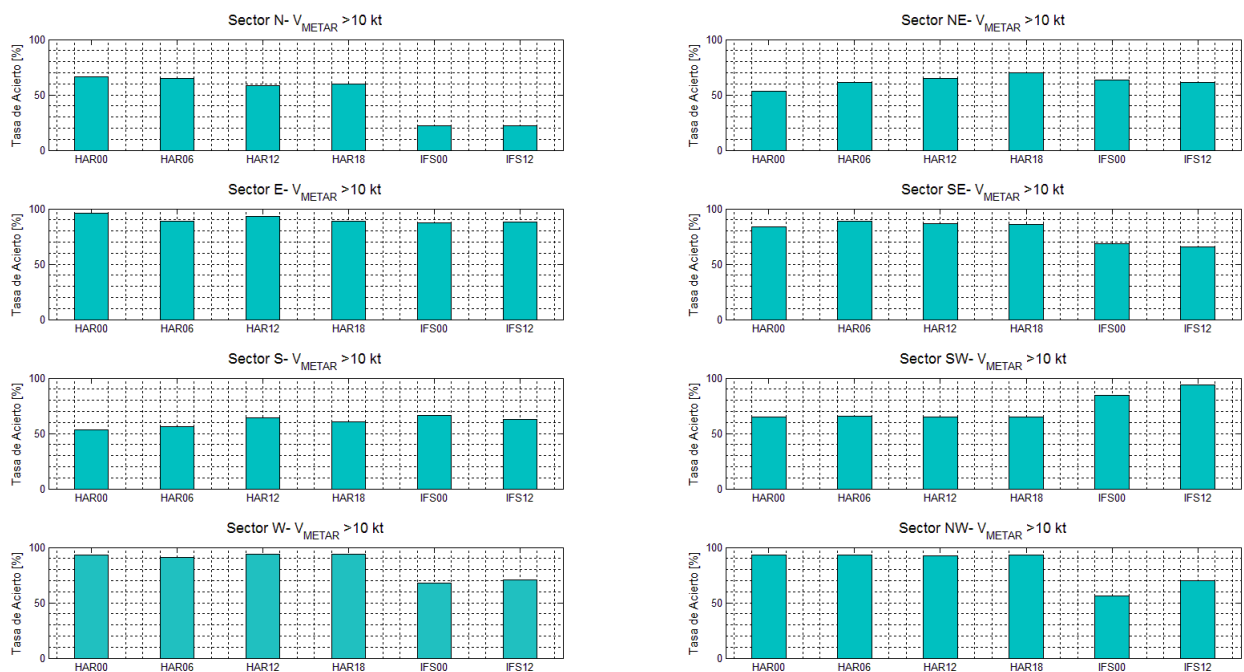


Figura 4-9. Comparación para cada sector de dirección de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt

La cantidad de datos y su distribución por sectores se puede consultar en las tablas del Anexo II.

4.2.1 Aeropuerto de Jerez

En general, se puede ver que en función de las direcciones, en el aeropuerto de Jerez se aciertan todas las direcciones en gran medida (por encima del 80% de aciertos), salvo en el caso de viento del Norte y Noreste, donde la tasa de acierto disminuye.

Estos sectores son también los poco frecuentes, si se observa en la Figura 4-11, donde viene reflejados el número de veces que se da una determinada dirección del viento (siempre teniendo presente el umbral de velocidad), se demuestra que para esa intensidad del viento, la ocurrencia de las direcciones N y NE es pequeña.

Las tasas de acierto de los sectores NW, N, NE y S no son representativas, ya que la cantidad de datos es muy pequeña, como se ve en la Figura 4-10.

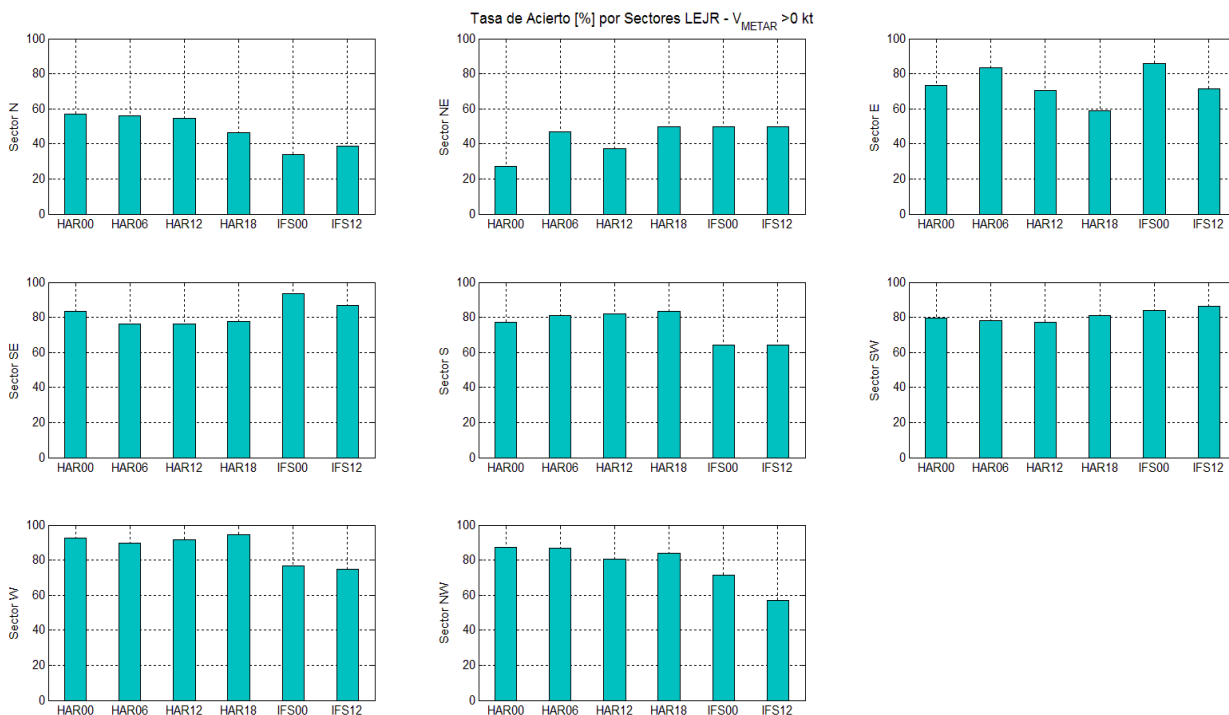


Figura 4-10. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10kt$ para cada sector de dirección en el aeropuerto de Jerez.

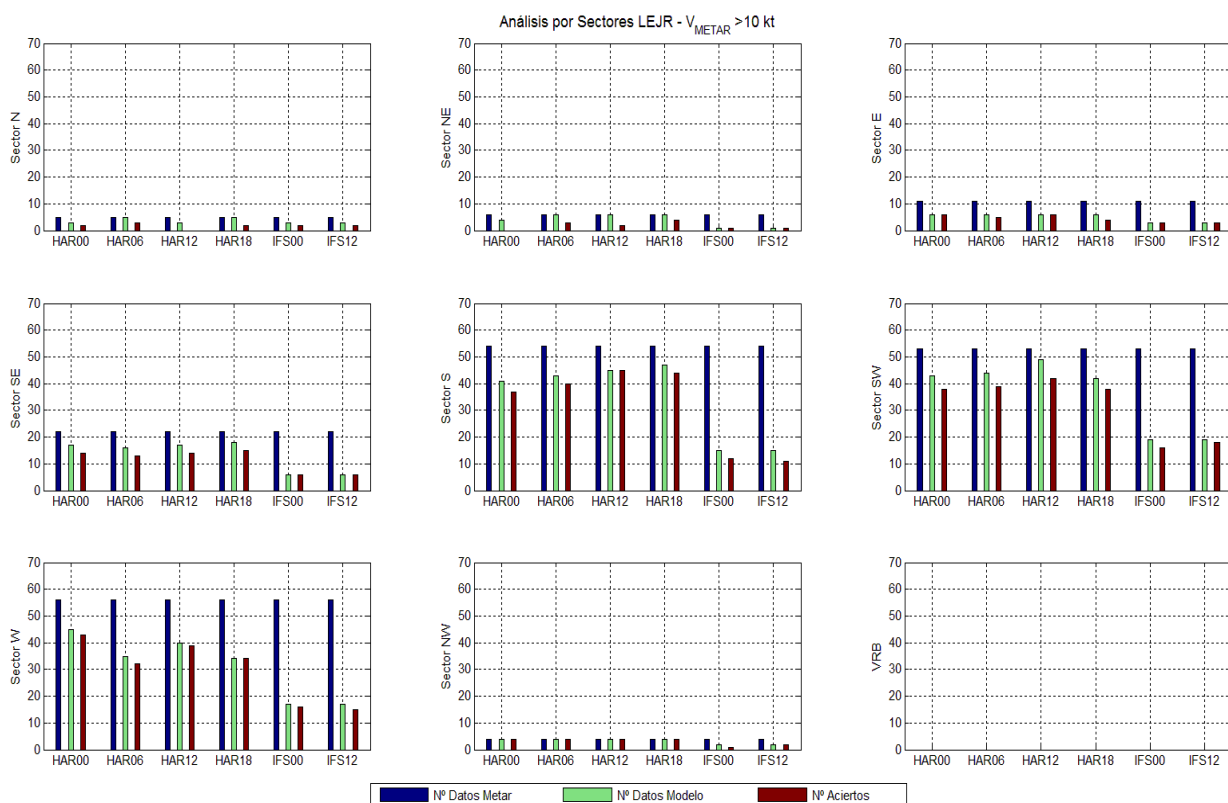


Figura 4-11. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada sector de dirección en el aeropuerto de Jerez.

Variando las velocidades umbrales, se puede ver que las tasas de acierto aumentan conforme aumenta la velocidad umbral. En el caso de que se consideren todas las velocidades posibles (Figura 4-12, a)), se puede apreciar mejor que sectores son en los que se acierta más y cuales menos ya que la cantidad de datos si es representativa. Estos datos se pueden consultar en el Anexo II.

Con ello, queda demostrado que los sectores que menos aciertan son el sector N y el NE y que los demás sectores tienen una tasa de acierto más similar.

Para $V_{METAR} > 10$ nudos, se puede ver que el sector W tiene las mayores tasas de acierto de las cuatro pasadas del modelo HARMONIE. Esto ocurre igual con el sector NW, pero como se comentó anteriormente, no se puede considerar representativo debido al escaso número de datos.

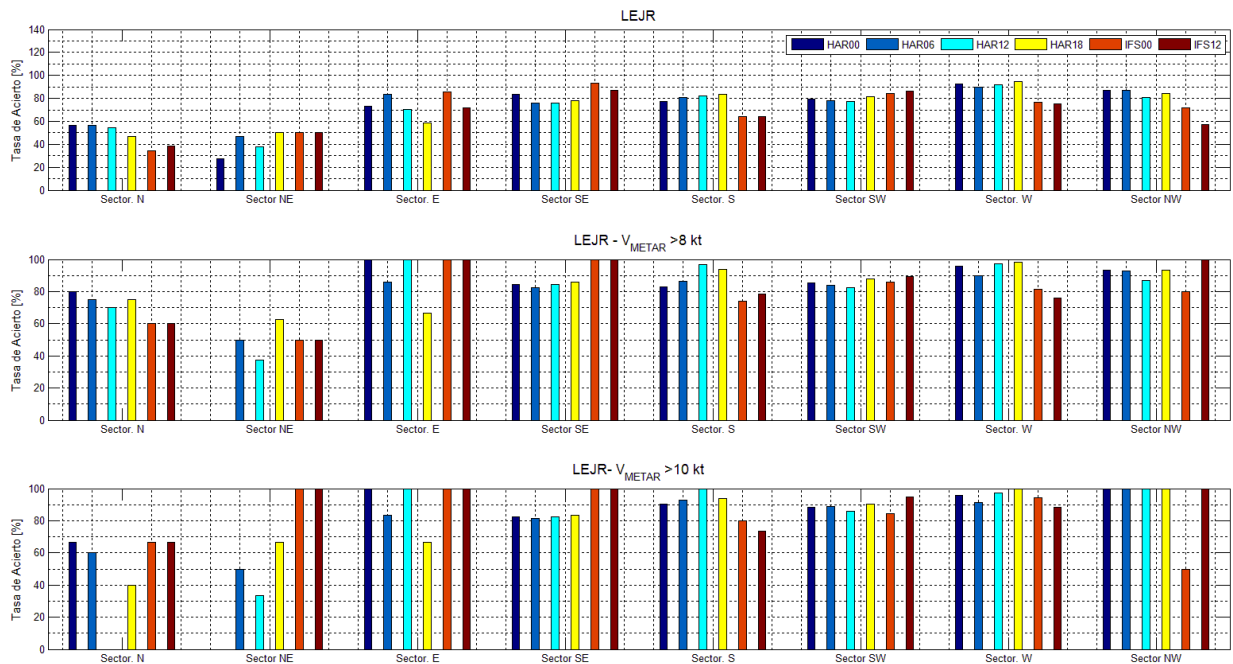


Figura 4-12. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes sectores de dirección variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Jerez.

a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

Entre los dos modelos, el ECMWF destaca acertando el viento de levante frente al modelo HARMONIE y este último destaca en el viento de poniente. Esto ocurre tanto sin velocidad umbral, como fijando una velocidad umbral de 8 nudos y una de 10 nudos, tal y como se puede ver en la Figura 4-13.

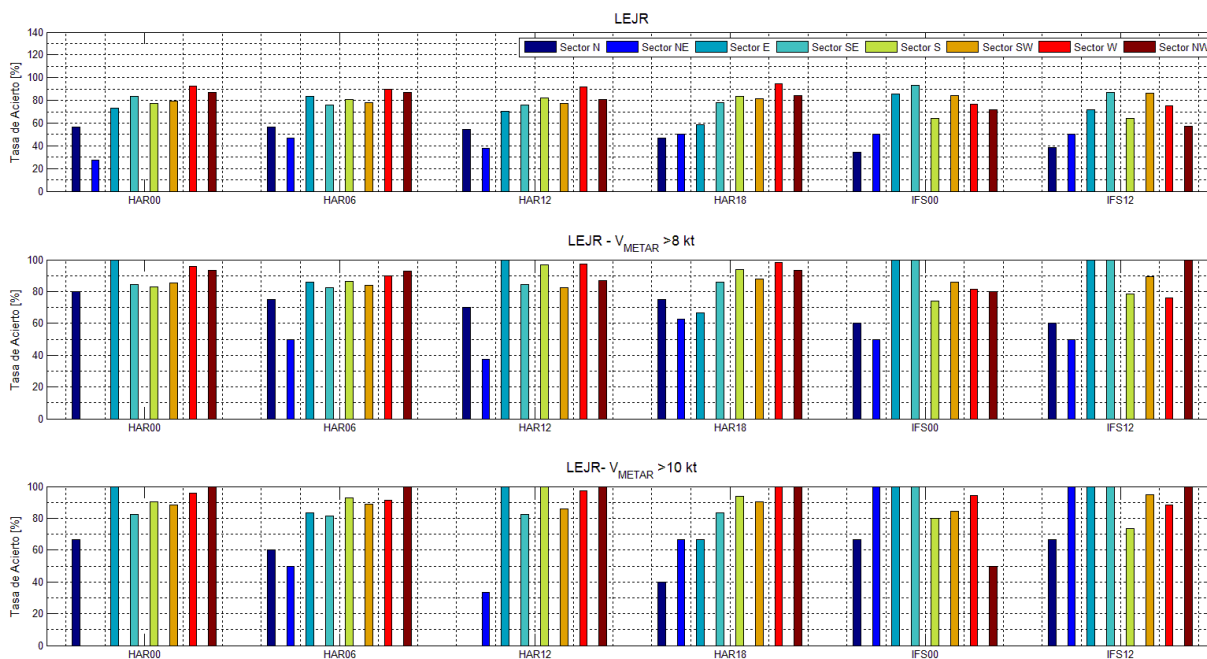


Figura 4-14. Comparación entre los diferentes sectores de dirección (N: azul oscuro; NE: azul cobalto; E: turquesa, SE: aguamarina, S: amarillo; SW: naranja; W: rojo y NW: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Jerez.
 a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

4.2.2 Aeropuerto de Rota

En el aeropuerto de Rota el sector más frecuente es el sector W (Figura 4-15) y considerando la velocidad umbral de 10 nudos, se puede observar que la tasa de acierto es de casi el 100% en los dos modelos.

Para los otros sectores que también son frecuentes, sectores E, SE, S y SW, la tasa de acierto en ambos modelos es muy alta, algo más para los sectores E y SW. Las tasas de todos los modelos para sector NE no son muy representativas, ya que la frecuencia para ese sector, para $V_{METAR} > 10$ kt, es muy poca. La tasa del sector NW si es representativa, aunque el volumen de datos para $V_{METAR} > 10$ kt sea poco ya que al variar la velocidad umbral, la tasa de acierto sigue siendo muy alta (Figura 4-17).

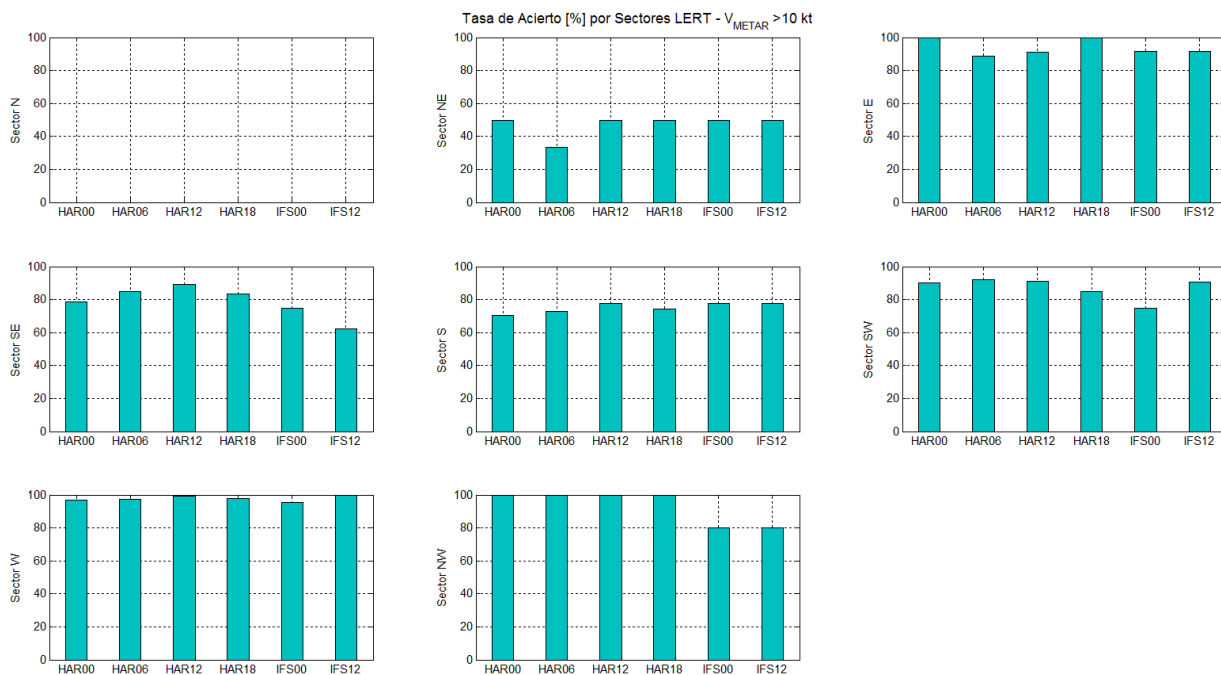


Figura 4-15. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada sector de dirección en el aeropuerto de Rota.

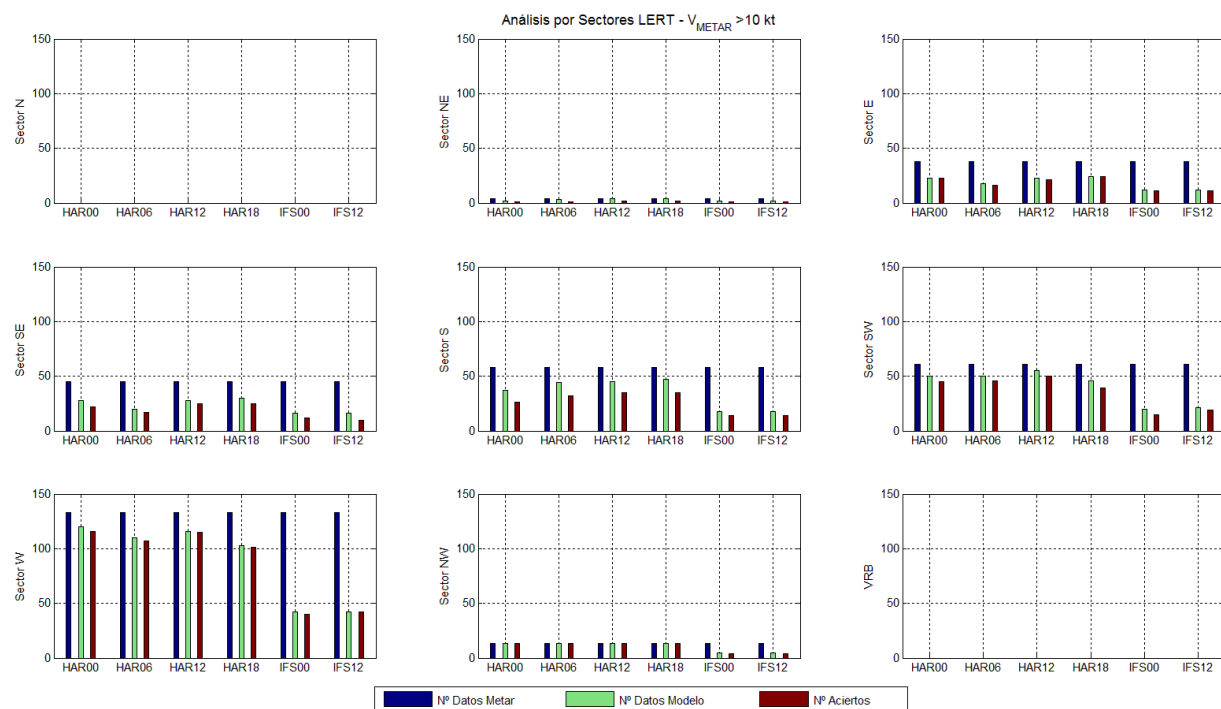


Figura 4-16. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada sector de dirección en el aeropuerto de Rota.

Para determinar en general, que sectores son los de mayor tasa de acierto según los modelos en general, nos fijamos en la Figura 4-17 a). En ella podemos apreciar que, sin fijar ninguna velocidad umbral, los sectores SW, W y NW presentan un porcentaje de aciertos superior a las demás direcciones. Al fijar valores umbrales de velocidad, los únicos que sectores que presentan una tasa de aciertos algo menor es son los sectores SE y S.

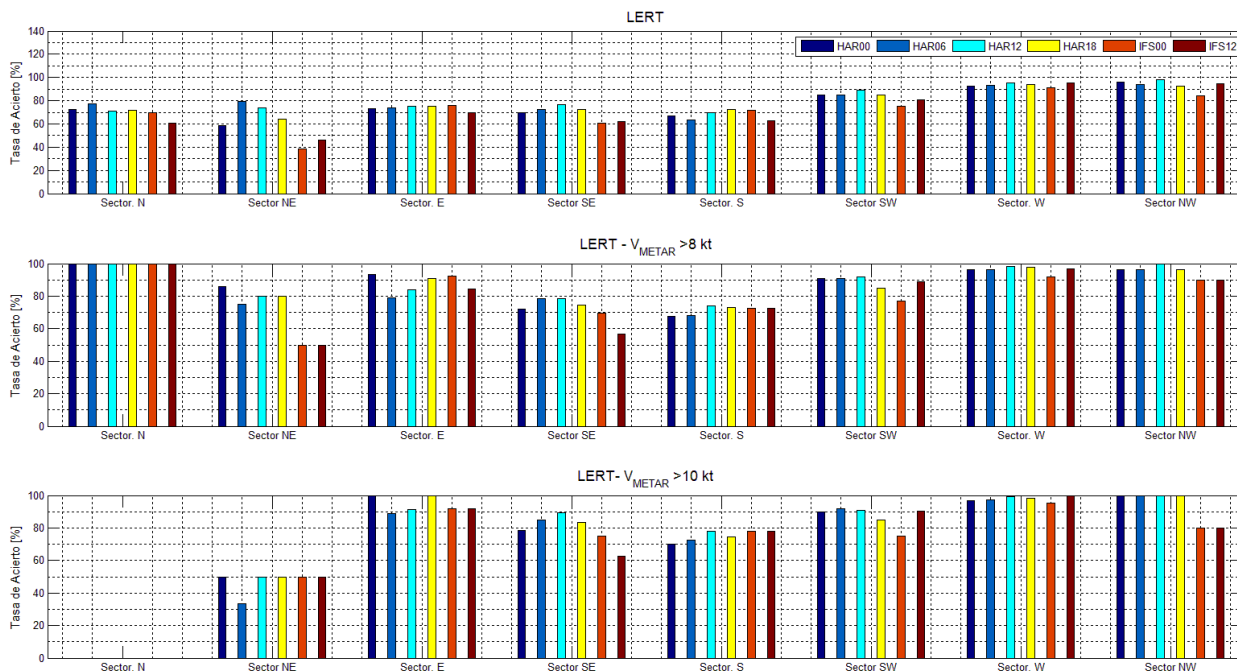


Figura 4-17. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes sectores de dirección variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Rota.
 a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

Para averiguar qué modelo acierta mejor los sectores de dirección, hay que fijarse en la Figura 4-18, en ella se puede ver que tanto sin tener en cuenta ninguna velocidad umbral como fijando una, la pasada de las 12 UTC de HARMONIE es la que tiene la mayor tasa de acierto para la mayoría de los sectores.

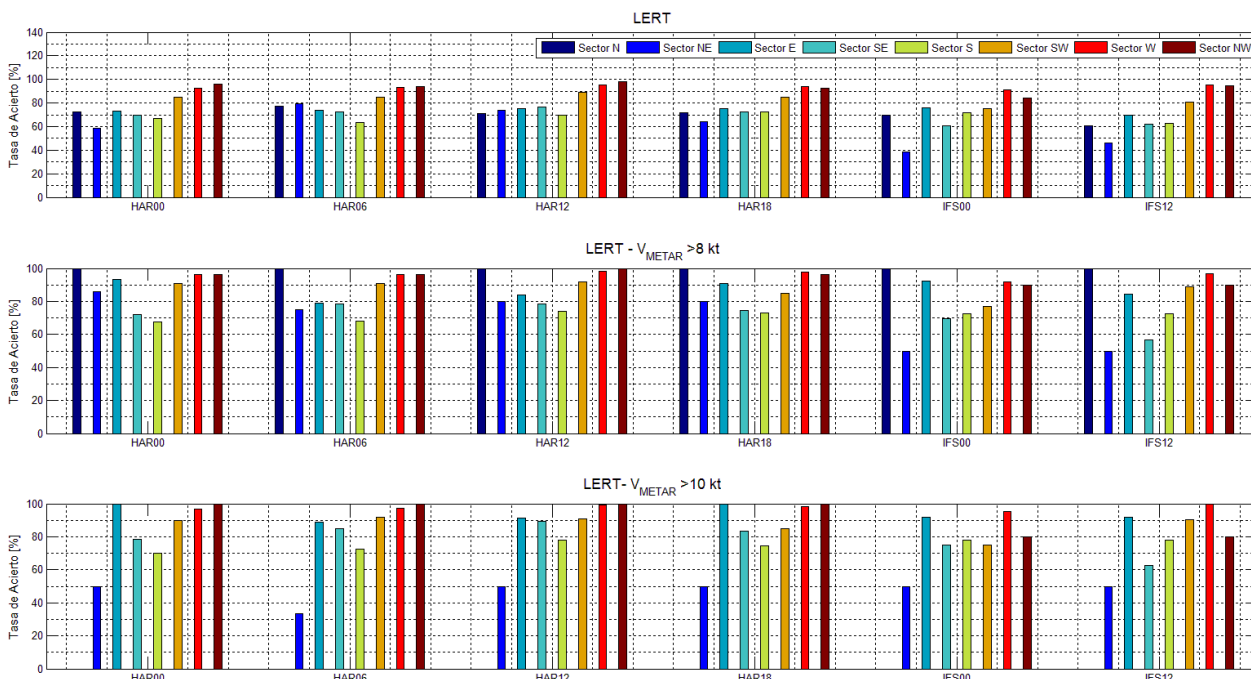


Figura 4-18. Comparación entre los diferentes sectores de dirección (N: azul oscuro; NE: azul cobalto; E: turquesa, SE: aguamarina, S: amarillo; SW: naranja; W: rojo y NW: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Rota.
 a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

4.2.3 Aeropuerto de Málaga

En el aeropuerto de Málaga, las direcciones más frecuentes durante el periodo han sido el poniente y el sureste. Para ambos casos, se vuelve a repetir que el HARMONIE acierta casi un 100% de las veces para esa velocidad umbral ($V_{METAR} > 6$ nudos).

Como se comentó en el punto 4.1.3, el Centro Europeo durante el mes de estudio fue particularmente peor frente a HARMONIE en Málaga, comparándolo respecto a los otros aeropuertos. Mirándolo por sectores, efectivamente, la diferencia entre ambos modelos para el sector W es bastante grande. Para los otros sectores, donde la frecuencia de dirección de viento ha sido igual (sector SE) y algo menor (Sector E), esta diferencia entre los dos modelos no es tan acusada. La diferencia entre ambos modelos es algo superior a la común a la que se viene observando entre ambos modelos, en torno a un 15%, aunque no tan marcada como en el caso del viento de poniente.

Llama la atención el caso de vientos de componente Sur, que ha sido también algo frecuente durante el intervalo de tiempo, donde HARMONIE ha acertado menos que el Centro Europeo. Esto puede ser debido al número de datos analizados, del Centro Europeo hay una tercera parte de los datos de HARMONIE; o puede ser porque HARMONIE no acierte bien el giro que da el poniente para entrar como brisa (SE) pasando por esa dirección.

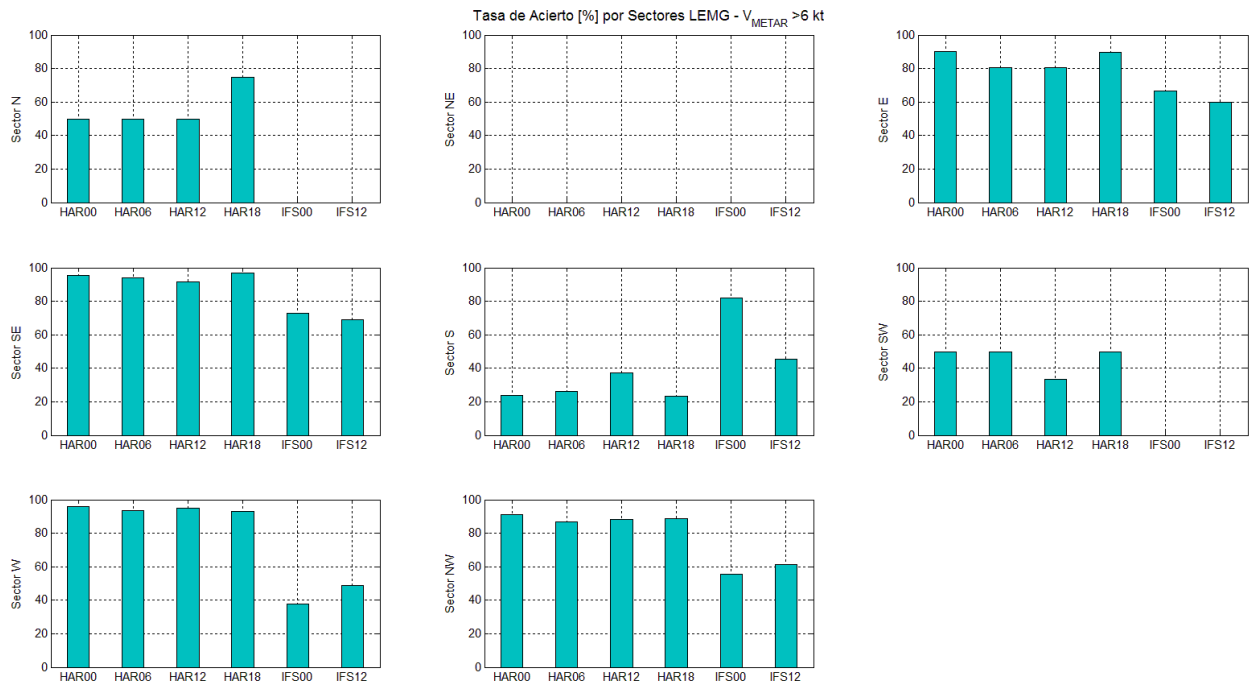


Figura 4-19. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 6$ kt para cada sector de dirección en el aeropuerto de Málaga.

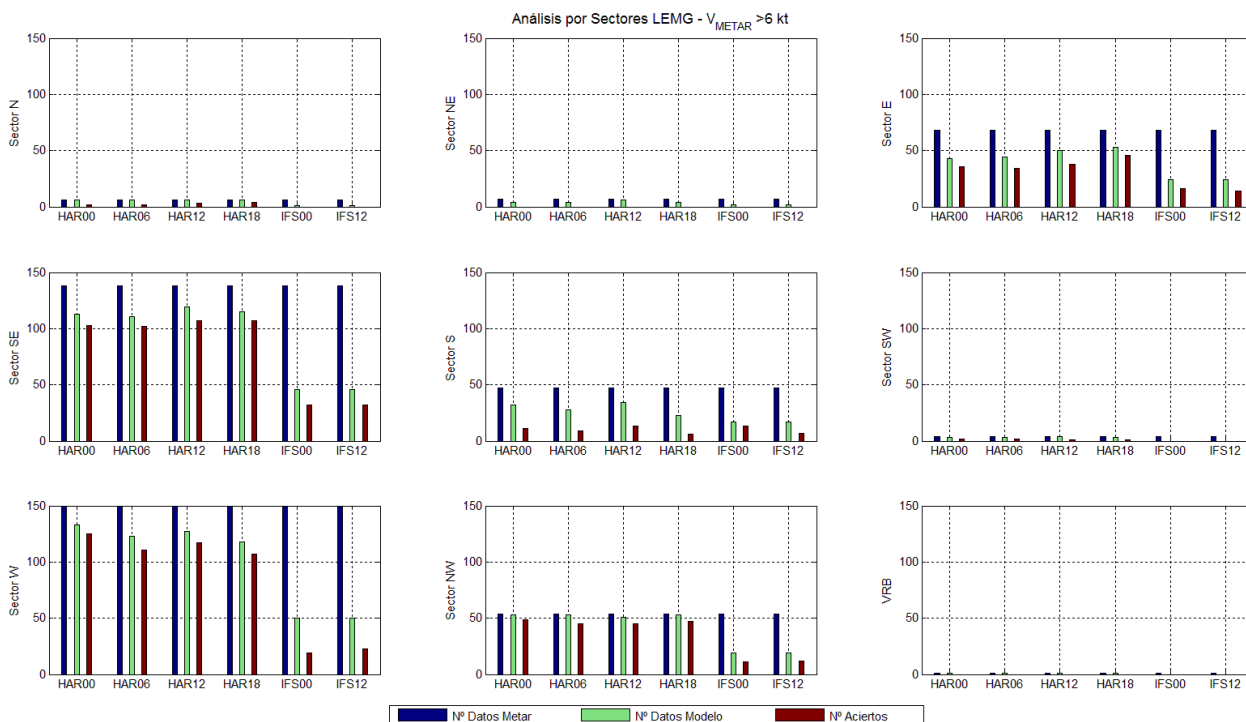


Figura 4-20. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada sector de dirección en el aeropuerto de Málaga.

Si nos fijamos en la siguiente figura (Figura 4-21), se puede ver que sectores se aciertan más, variando las velocidades umbrales del METAR. Se repite que en general los sectores E, SE, W y NW son los sectores con mayor tasa de aciertos y los sectores con menor tasa de aciertos son los Noreste, Sur y Suroeste.

En el sector Sur, vuelve a destacar el ECMWF con la mayor tasa de acierto con todos los umbrales de intensidad.

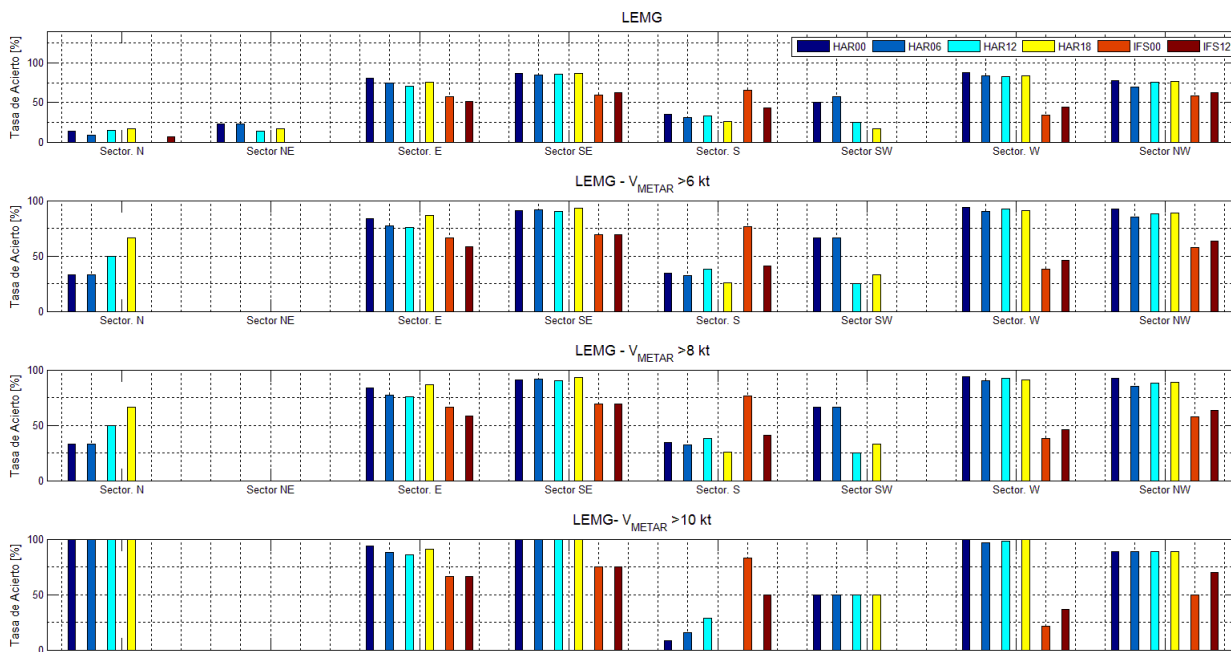


Figura 4-21. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes sectores de dirección variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Málaga.
 a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 6$ kt, c) $V_{METAR} > 8$ kt, d) $V_{METAR} > 10$ kt

Entre los dos modelos, queda claro que el HARMONIE tiene, en general, mejor comportamiento frente al ECMWF y que la variación del umbral de velocidad desde los 6 nudos a los 10 nudos, no supone una mejoría en la tasa de acierto (Figura 4-22).

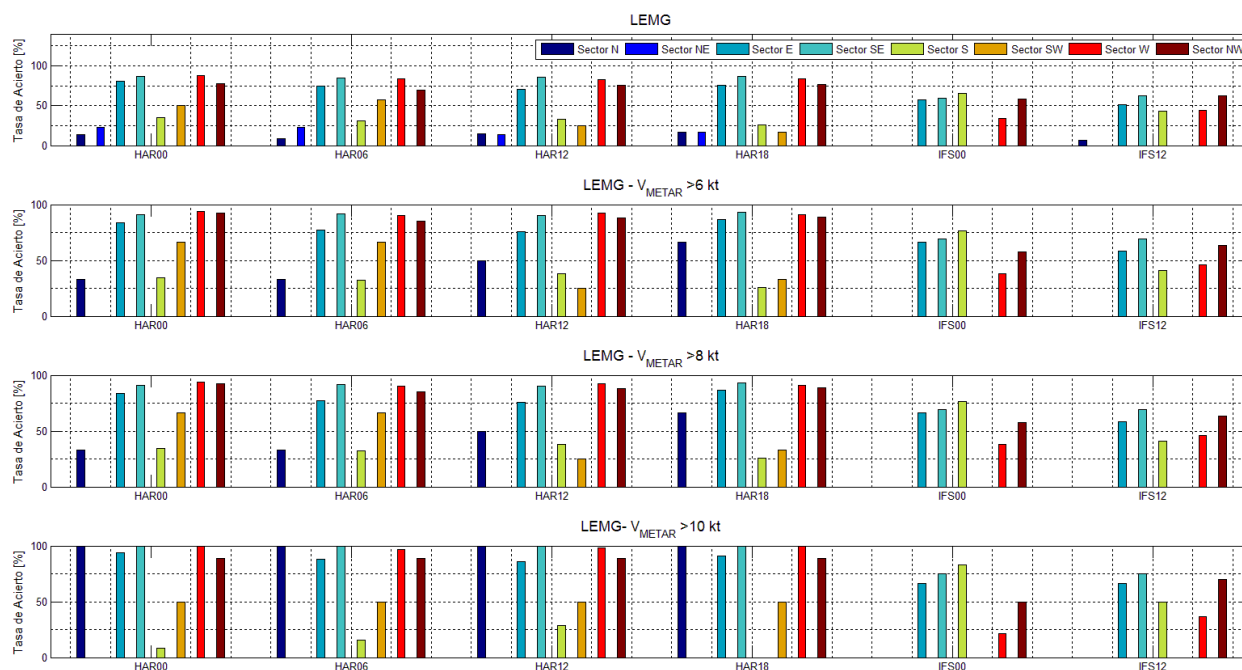


Figura 4-22. Comparación entre los diferentes sectores de dirección (N: azul oscuro; NE: azul cobalto; E: turquesa, SE: aguamarina, S: amarillo; SW: naranja; W: rojo y NW: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Málaga.

a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 6$ kt, c) $V_{METAR} > 8$ kt, d) $V_{METAR} > 10$ kt

4.2.4 Aeropuerto de Almería

Durante el periodo de análisis, en el Aeropuerto de Almería, los vientos más frecuentes han sido los de los sectores E y SW (Figura 4-23). Si se observa la tasa de acierto, en ambos casos son muy altas, por encima del 90% en ambos modelos.

Los otros sectores frecuentes han sido los sectores NE, SE, S y SW, sin embargo, la tasa de acierto para ellos no ha sido tan alta. Resulta interesante recalcar la diferencia entre ambos modelos para los sectores SE y S, pues en general la diferencia entre ambos modelos en Almería no es muy alta, pero en estos sectores sí que se acentúa, sobre todo para el viento de sureste, donde la diferencia ronda el 50%.

Respecto a los sectores N y NW, estos porcentajes son poco representativos, pues la cantidad de datos es muy pequeña.

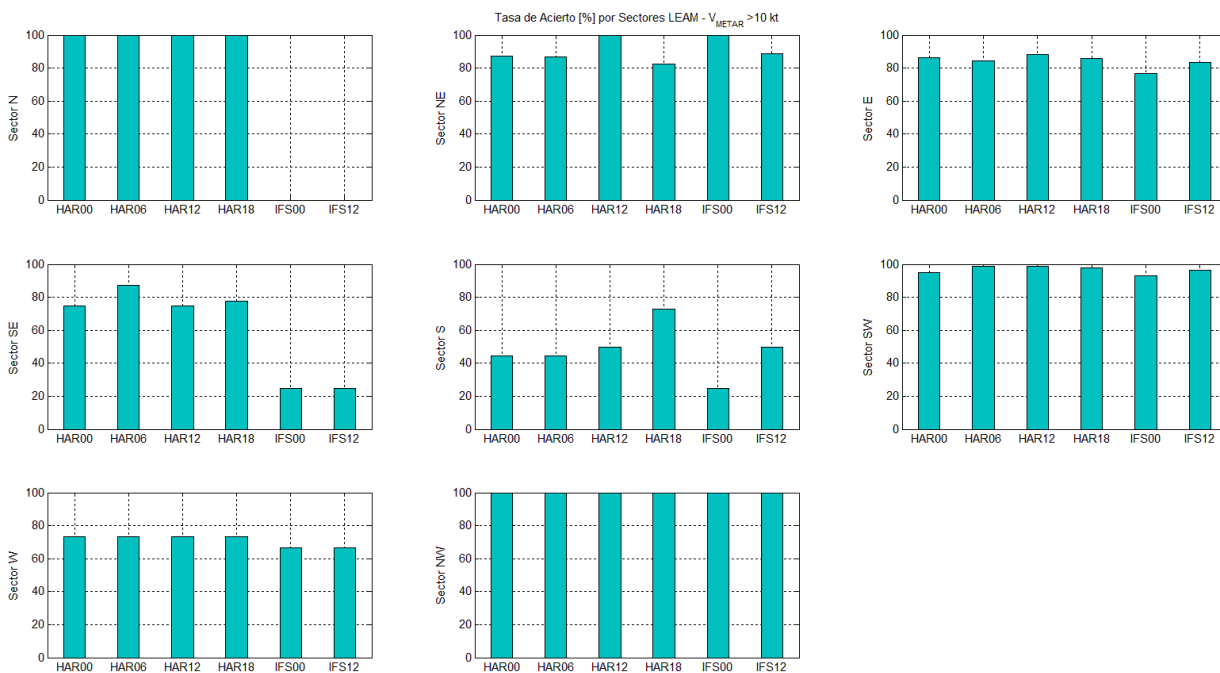


Figura 4-23. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10\text{ kt}$ para cada sector de dirección en el aeropuerto de Almería.

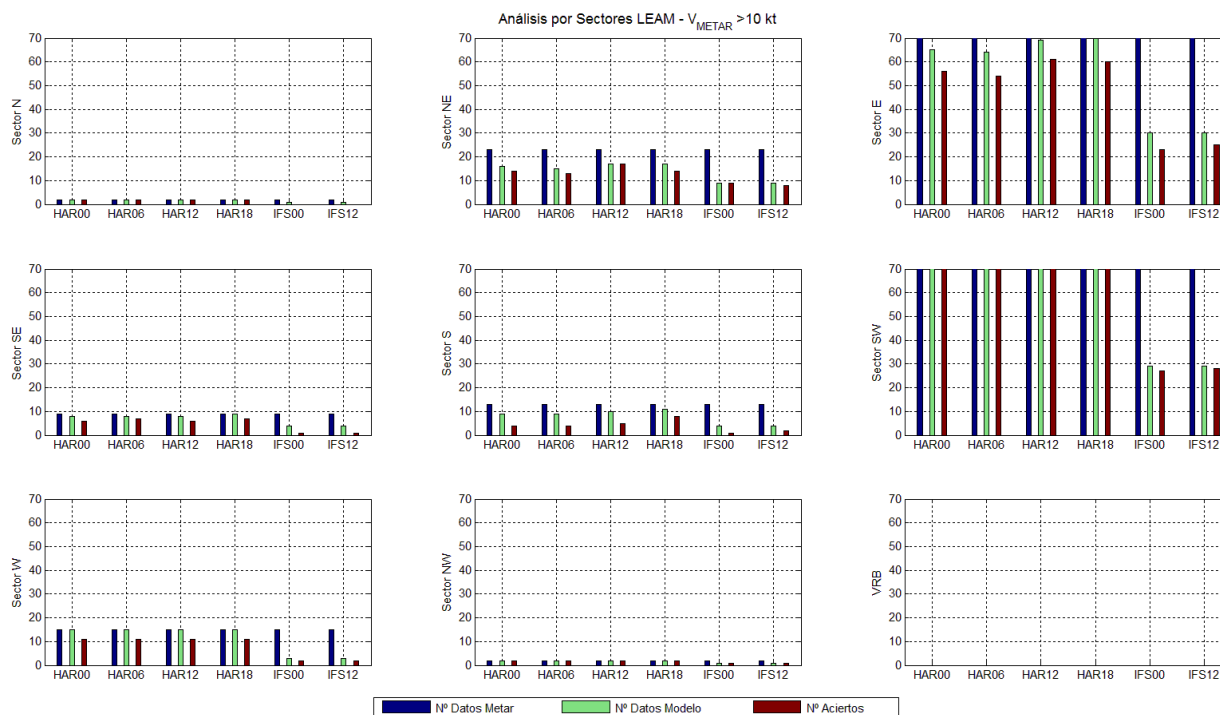


Figura 4-24. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada sector de dirección en el aeropuerto de Almería.

Teniendo en cuenta todos los rangos de velocidad (Figura 4-25), los sectores que peor se pronostican en Almería son el N y NW. Variando el umbral de velocidad, se puede ver que la tasa de acierto mejora para los sectores N y NW, aunque no es significativo. Con todos los datos, el sector S no presenta una tasa de acierto tan baja.

Respecto a los modelos, en el aeropuerto de Almería, el HARMONIE presenta mejores resultados que el ECMWF, pero no destaca ninguna de las pasadas para todos los datos (Figura 4-26 a)). En cuanto al Centro Europeo, la pasada de las 18UTC presenta tasa de acierto más alta para todos los sectores.

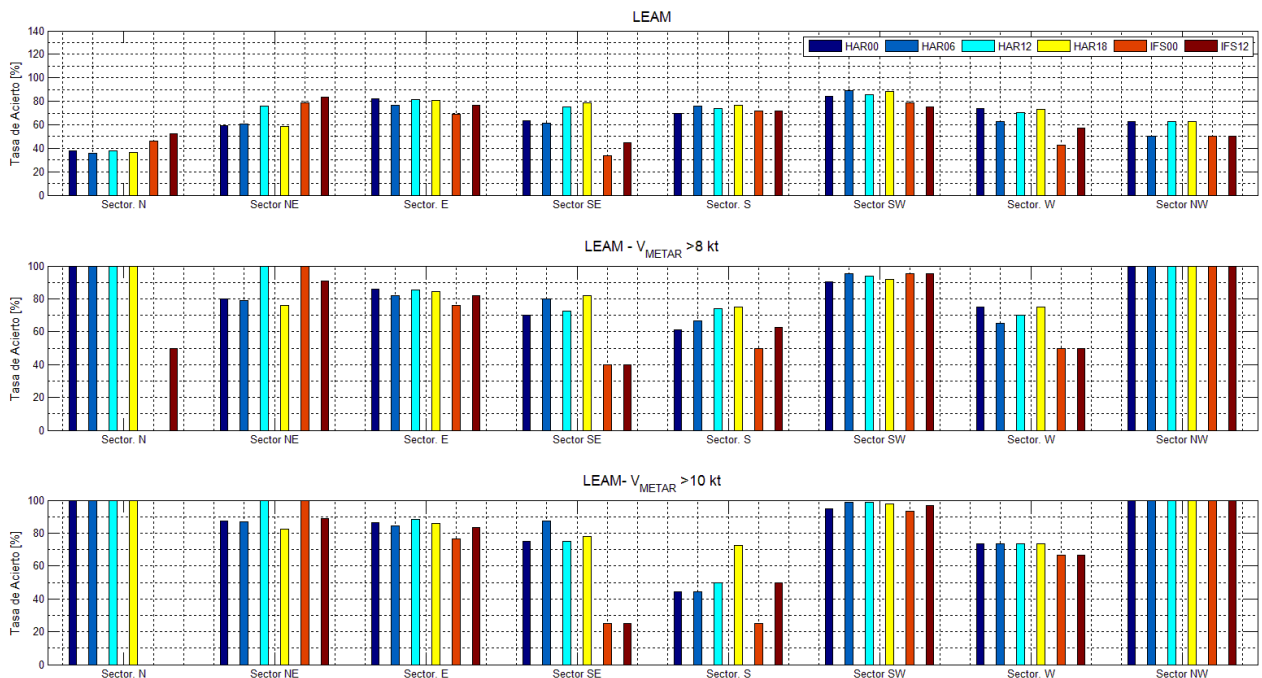


Figura 4-25. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes sectores de dirección variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Almería.

a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

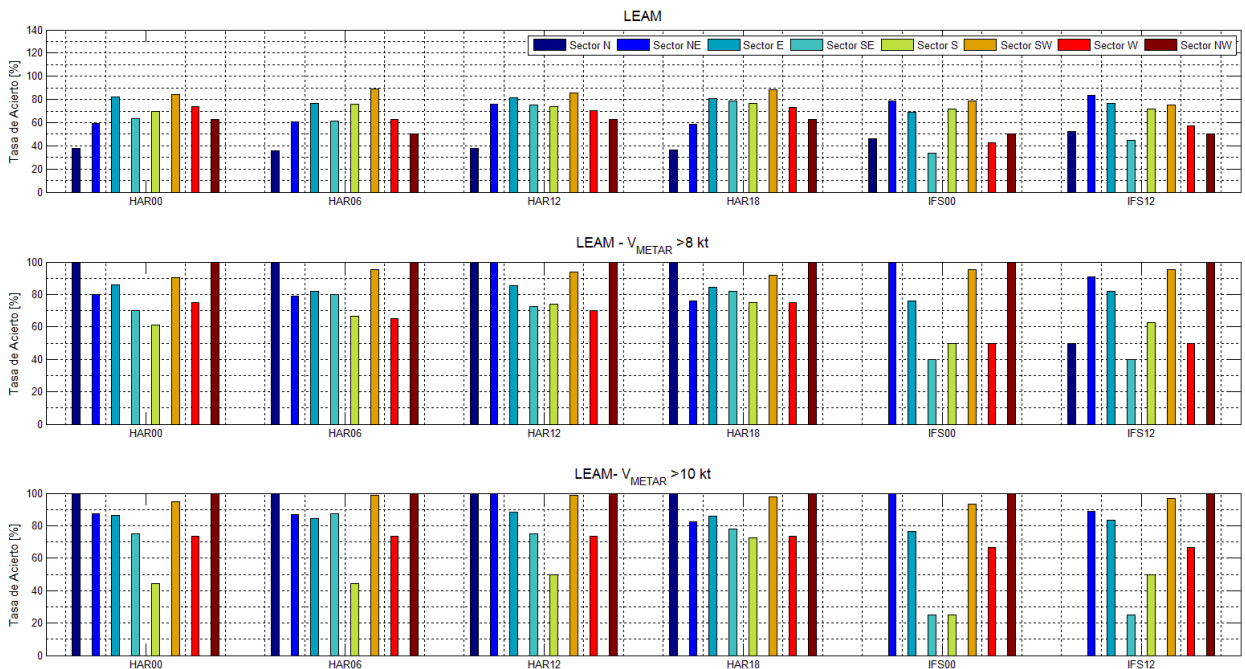


Figura 4-26. Comparación entre los diferentes sectores de dirección (N: azul oscuro; NE: azul cobalto; E: turquesa, SE: aguamarina, S: amarillo; SW: naranja; W: rojo y NW: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Almería.

a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

4.2.5 Aeropuerto de Melilla

Con el umbral de velocidad del METAR fijado en 10 nudos, la dirección más frecuente ha sido el poniente, en la cual todas las pasadas del HARMONIE lo han acertado casi al 100% y el Centro Europeo algo peor, un

60%. Respecto a las direcciones SE, S y SW, no se tienen datos.

Las otras tres direcciones para las que se representan las tasas de acierto no son representativas, pues la cantidad de datos analizados es muy baja y no se puede concluir nada, como se ve en la Figura 4-28.

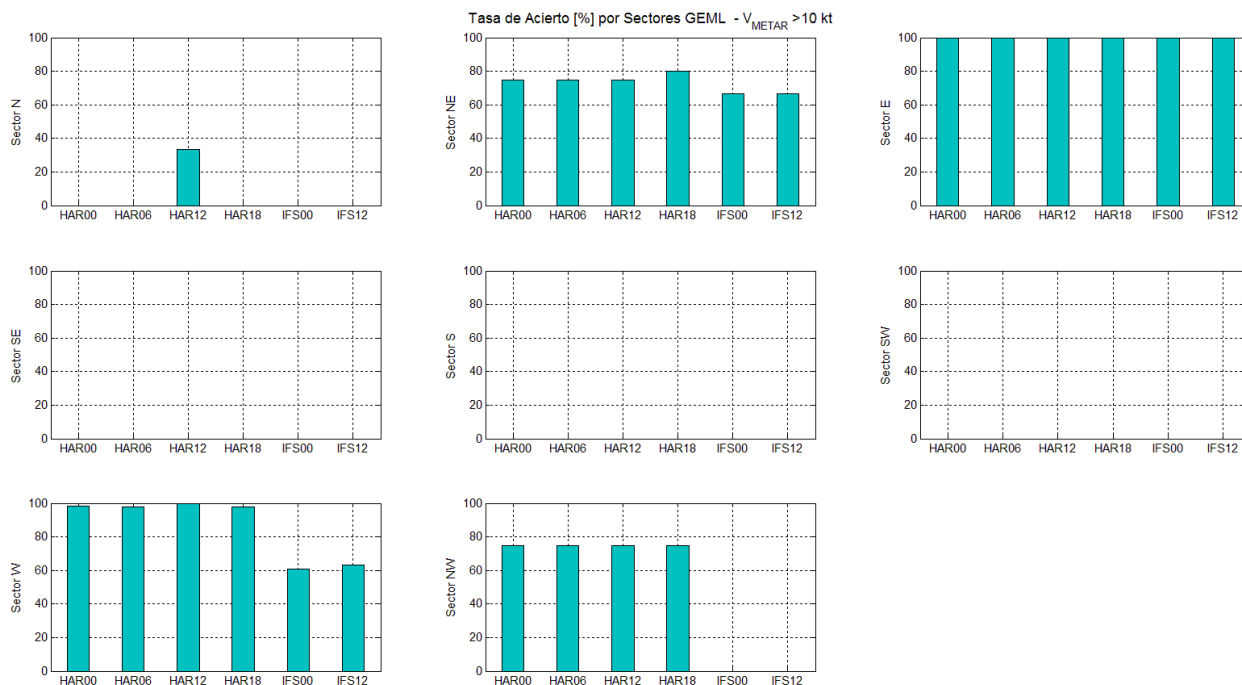


Figura 4-27. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada sector de dirección en el aeropuerto de Melilla.

Si se mira en la Figura 4-29, se observa que sin velocidad umbral, el sector NE presenta una tasa de acierto también bastante alta; como aquí el volumen de datos es mayor, sí se puede considerar que ambos modelos predicen muy bien ese sector.

Sin velocidad umbral, los sectores SE y SW, presentan unas tasas de acierto del 50%, pero la cantidad de datos no es significativa como para considerarlas. Del sector S no se puede concluir nada, porque no ha sido observado durante este periodo de tiempo.

Considerando todos los datos, la pasada de las 12 UTC de HARMONIE presenta las tasas de acierto más alta para el poniente. Para el sector NE la pasada de las 00:00 UTC tiene el mayor número de aciertos.

Si nos fijamos en el la Figura 4-30 a), vemos que todas las pasadas de HARMONIE aciertan mejor el viento de poniente, y peor el Norte; mientras el ECMWF predice mejor el levante y peor el viento de componente norte, coincidiendo con HARMONIE.

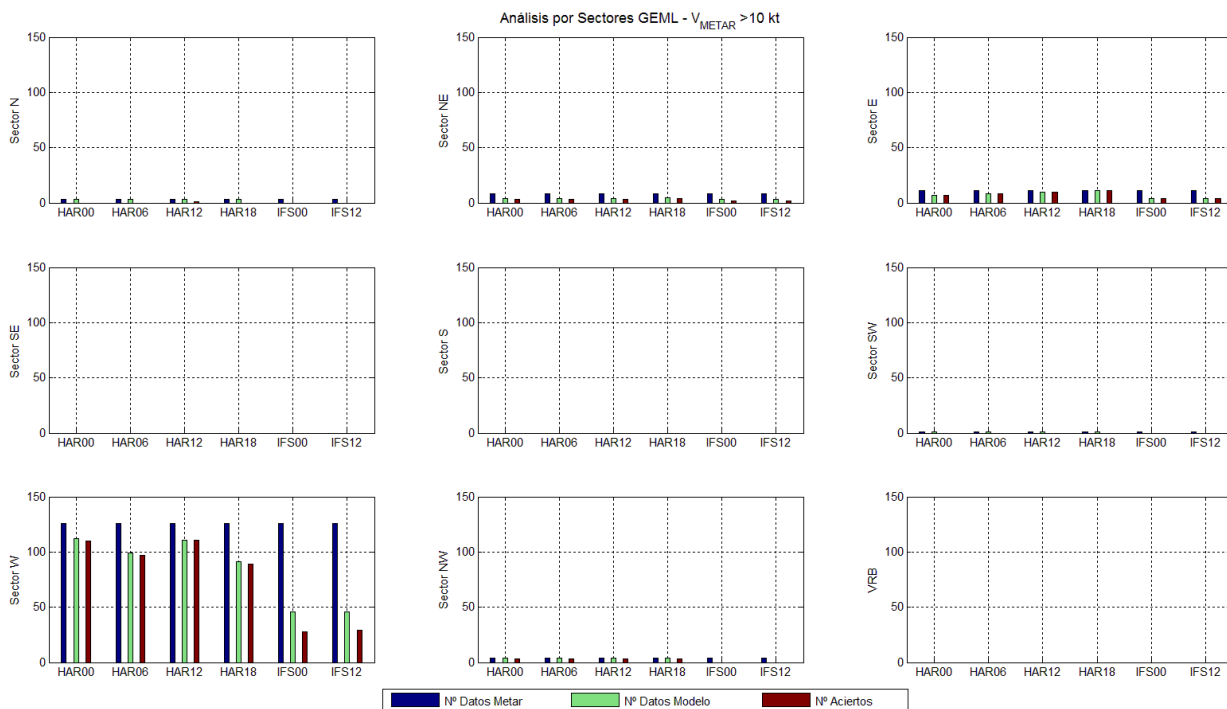


Figura 4-28. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada sector de dirección en el aeropuerto de Melilla.

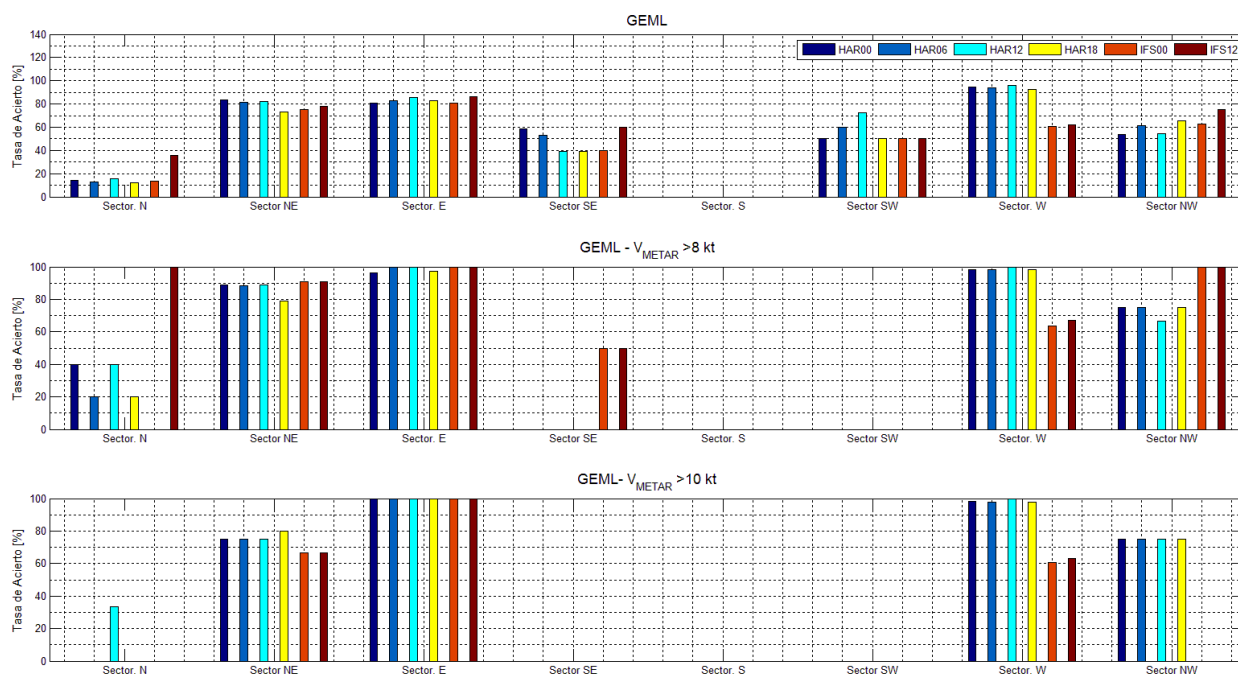


Figura 4-29. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes sectores de dirección variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Melilla.

a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

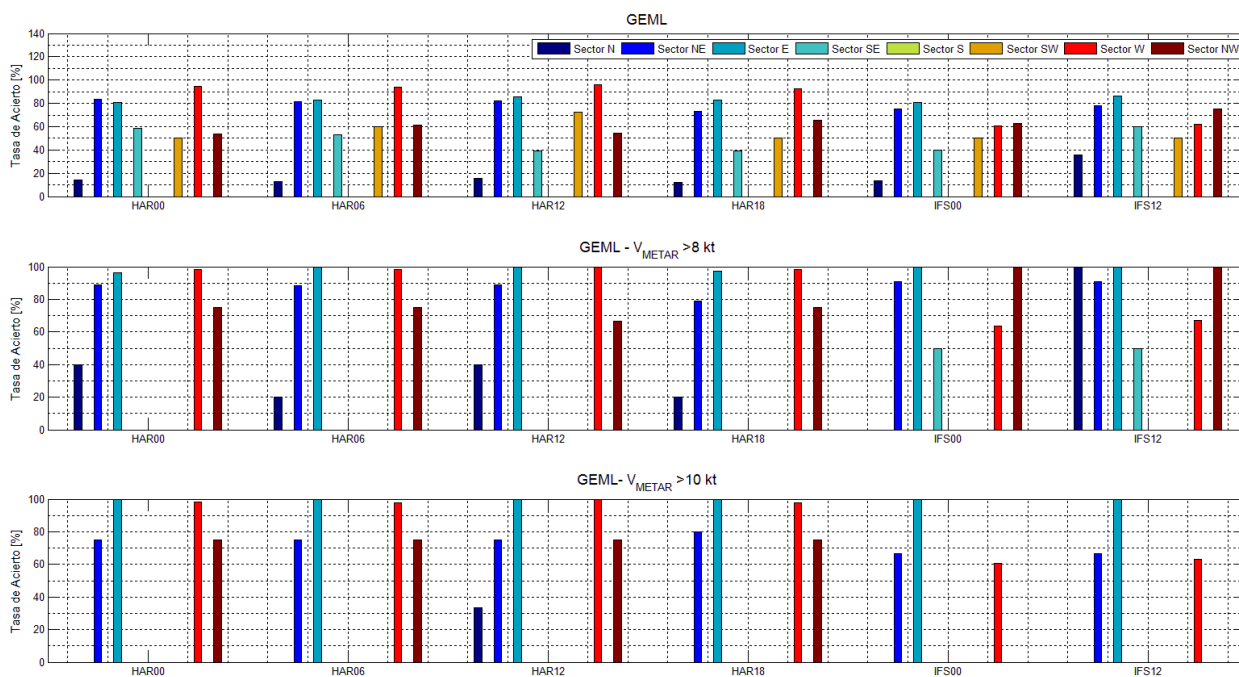


Figura 4-30. Comparación entre los diferentes sectores de dirección (N: azul oscuro; NE: azul cobalto; E: turquesa, SE: aguamarina, S: amarillo; SW: naranja; W: rojo y NW: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Melilla.

a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

4.2.6 Conclusiones

En general, el viento procedente del Este, del Oeste y del Noroeste se puede predecir con una gran exactitud en todos los aeropuertos, siendo los dos primeros, los más frecuentes en el sur de España.

A la vista de la Figura 4-31, se puede ver que el viento del N se predice con mayor exactitud en la parte mediterránea (LEMG y LEAM); mientras que en la parte atlántica (LEJR y LERT) se predice mejor el viento del Sur. Esto es así para velocidades del viento altas, como se mencionó anteriormente, se ha fijado un umbral de 10 nudos.

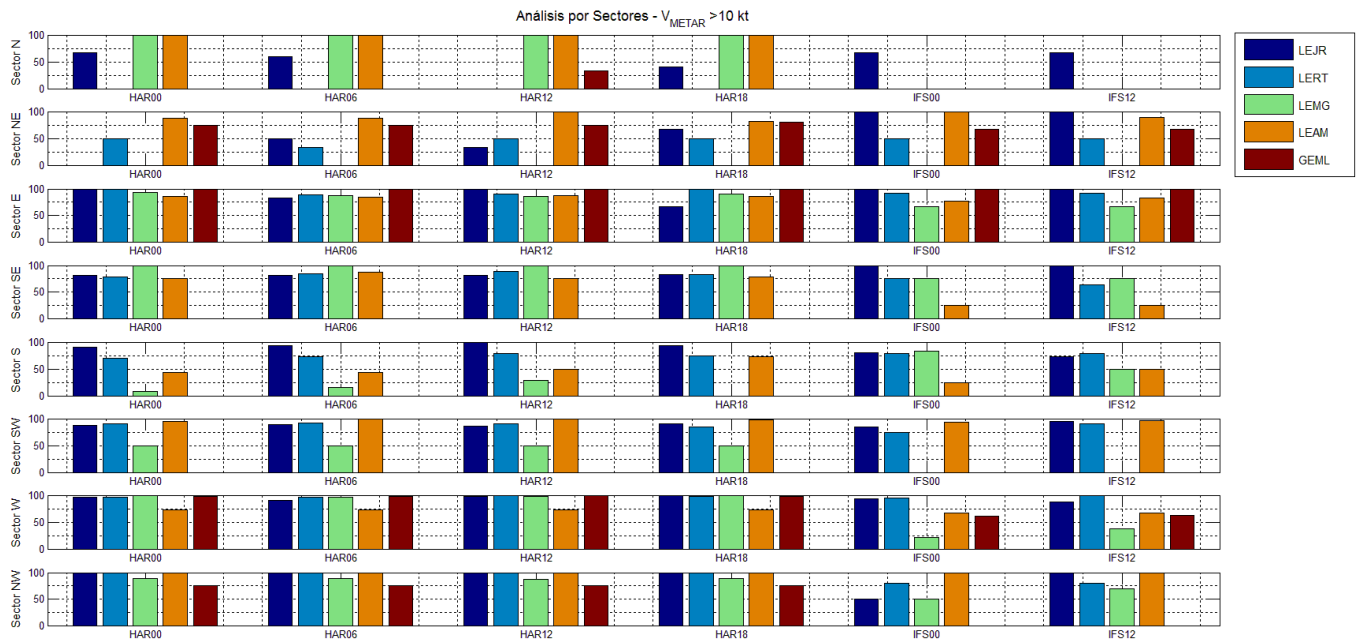


Figura 4-31. Comparación entre los diferentes aeropuertos (LEJR: azul cobalto, LERT: azul claro, LEMG: verde, LEAM: naranja y GEML: granate) de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt según cada sector de dirección.

4.3 VERIFICACIÓN POR INTERVALOS HORARIOS

Se ha realizado un análisis diferenciando los intervalos horarios para intentar encontrar algún intervalo en que los modelos acierten especialmente. Hay que tener en cuenta que el volumen de datos de HARMONIE es tres veces mayor al del Centro Europeo.

Cabe destacar que durante las horas nocturnas muchos aeropuertos están cerrados (LEJR, LEAM y GEML), con lo cual no hay datos suficientes para establecer una relación.

También hay que tener en cuenta, que durante las horas nocturnas la intensidad del viento es menor y por lo tanto, no se alcanza el umbral de velocidad marcado para considerar el dato en el análisis.

Cabría esperar que a la hora a la que se ejecuta el modelo, correspondiese con el intervalo horario que tuviera la mayor tasa de acierto por parte de esa pasada de modelo, sin embargo, esto no ocurre por norma general. Todas las pasadas de HARMONIE tienen una tasa muy similar desde las 06:00 hasta las 21:00 UTC. En el siguiente intervalo de 3 horas sobresale la pasada de las 12UTC y posteriormente la pasada de las 18UTC durante las siguientes 6 horas.

En el caso del modelo del Centro Europeo, ambas pasadas tienen una tasa de acierto similar, salvo en el intervalo de las 9:00-11:59, donde destaca la pasada de las 00:00 UTC y en los intervalos de 15:00-17:59 y 21:00-23:59 donde destaca la pasada de las 12:00 UTC

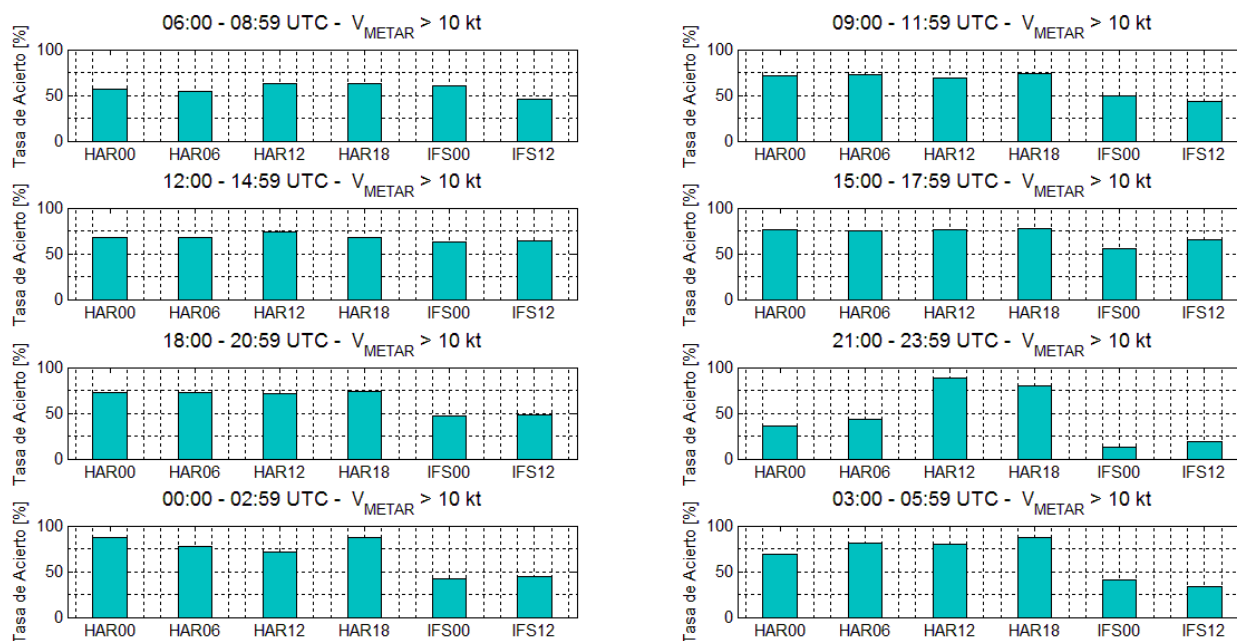


Figura 4-32. Comparación para cada intervalo horario de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10\text{kt}$

Observando las tasas de acierto para cada intervalo, las pasadas de cada modelo con mayor y menor tasa de acierto se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 6. Relación entre los modelos y las tasas de acierto.

	HARMONIE		ECMWF	
	Mayor tasa de acierto	Menor tasa de acierto	Mayor tasa de acierto	Menor tasa de acierto
06:00 - 08:59	HM12	HM06	IFS00	IFS12
09:00 - 11:59	HM12	HM06	IFS00	IFS12
12:00 - 14:59	HM12	HM18	IFS12	IFS00
15:00 - 17:59	HM18	HM06	IFS12	IFS00
18:00 - 20:59	HM18	HM12	IFS12	IFS00
21:00 - 23:59	HM12	HM00	IFS12	IFS00
00:00 - 02:59	HM00	HM12	IFS12	IFS00
03:00 - 05:59	HM18	HM00	IFS00	IFS12

A la vista de ellos, se puede ver que para el modelo HARMONIE, solo en el intervalo de las 12:00-14:59 UTC, se cumple que la última pasada ejecutada es la que obtiene el mejor resultado y los peores resultados los obtiene la pasada más antigua.

En el caso del ECMWF, en los intervalos de 18:00-02:59 UTC y de 06:00-11:59 UTC, sí se cumple, aunque la diferencia entre ambos modelos es mínima.

Los datos que se muestran a continuación, se reflejan en las tablas incluidas en el Anexo III.

4.3.1 Aeropuerto de Jerez

En el apartado 4.1.3 se vio que el modelo con mayor tasa de acierto en este aeropuerto era la pasada de las 18 UTC de HARMONIE. Si se observan los intervalos de tiempos, en todos coincide que esa misma pasada es la más fiable, salvo en el intervalo de las 12:00-14:59 UTC, donde va mejor el HARMONIE de las 12 UTC. La pasada de las 00 UTC de HARMONIE es la que tiene un peor comportamiento entre todas las pasadas de ese modelo, sobre todo entre las 06:00-14:59 UTC.

El Centro Europeo funciona mejor que el HARMONIE en el intervalo de las 12:00-14:59 en general. Resulta interesante recalcar, que en el intervalo de 06:00-18:00, donde debería tener más porcentaje de acierto la pasada de las 00 UTC por ser la más actualizada, acierta más la pasada de las 12 UTC. En el intervalo paralelo ocurre igual, a partir de las 18:00 debería de funcionar mejor la de las 12 UTC y sin embargo, destacan los pronósticos de la pasada de las 00 UTC.

En los últimos tres intervalos de tiempo que se representan, las tasas no son muy representativas, ya que el volumen de datos analizado para esos intervalos de tiempo es muy pobre como se ve en la Figura 4-34.

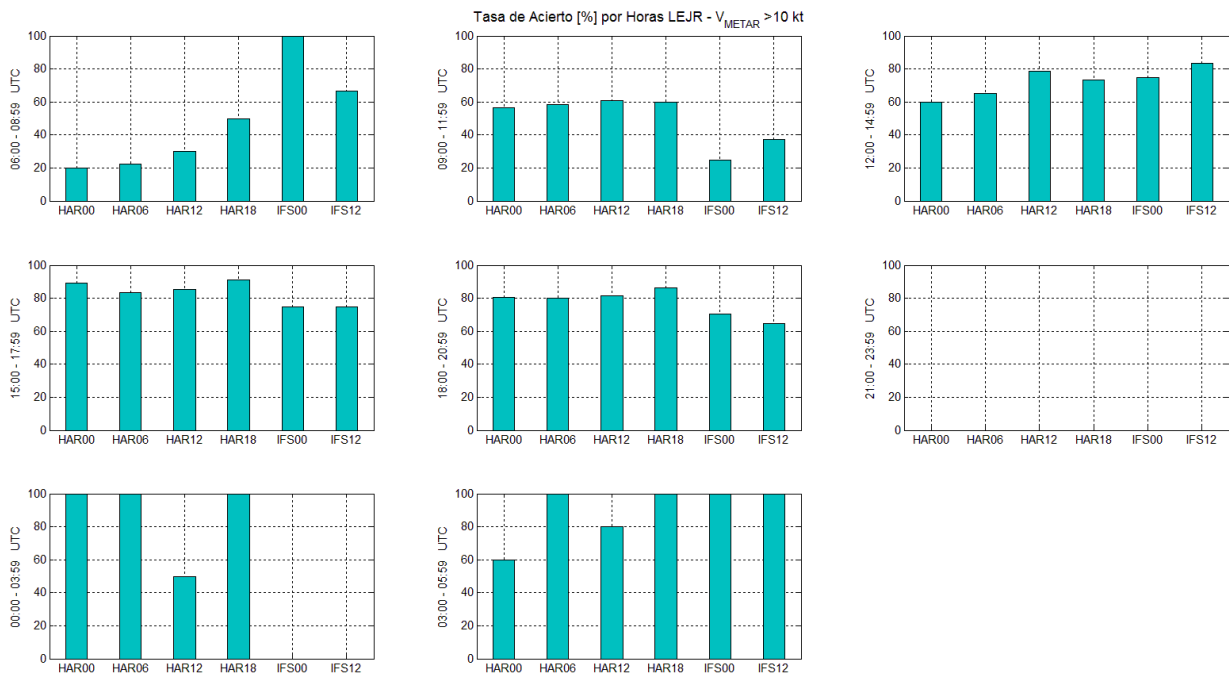


Figura 4-33. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10kt$ para cada intervalo horario en el aeropuerto de Jerez.

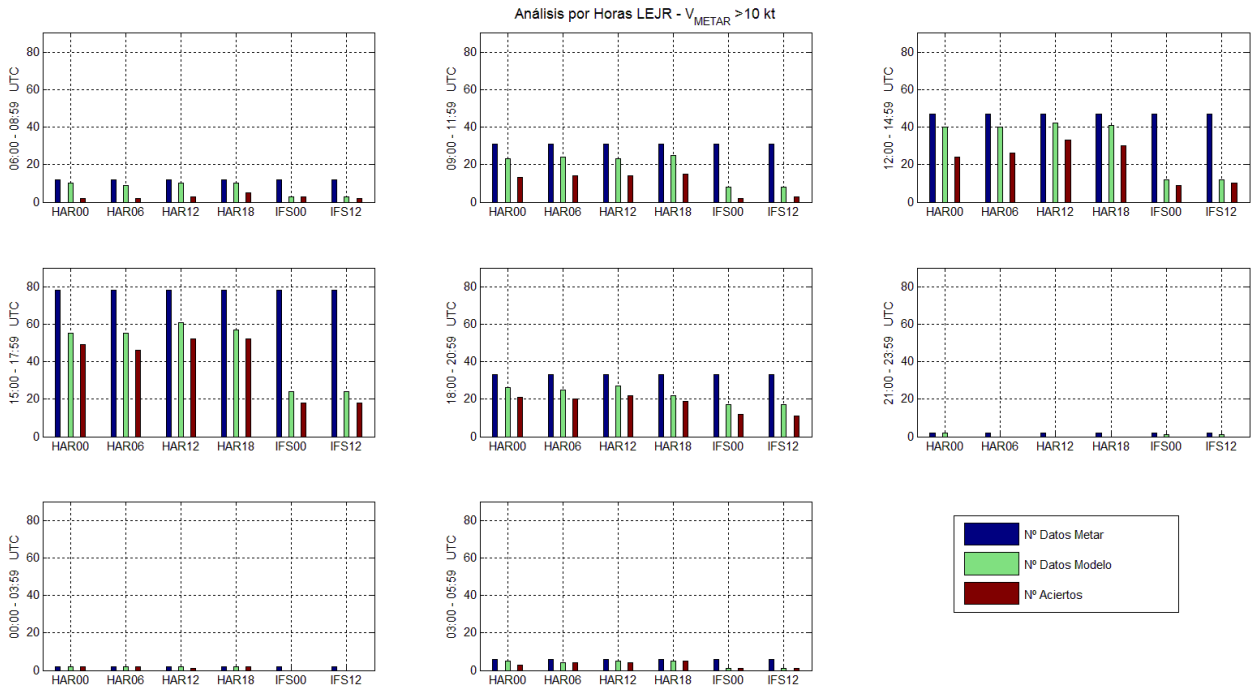


Figura 4-34. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada intervalo horario en el aeropuerto de Jerez.

Si se varía la intensidad de la velocidad umbral, abarcando primero todas las intensidades del viento (Figura 4-35 a)) hasta el valor de 10 nudos fijado inicialmente (Figura 4-35 c)), se aprecia que la tasa de acierto aumenta conforme se aumenta el umbral de velocidad, aunque este aumento es más significativo fuera de los intervalos centrales (16:00 – 20:59 UTC).

Resulta llamativo que en el intervalo de 21:-00-23:59, donde no se tenían datos por encima de la velocidad umbral de 10 nudos, la pasada de las 18 UTC tiene la menor tasa de acierto, siendo por norma general, la que mejor funcionaba en este aeropuerto.

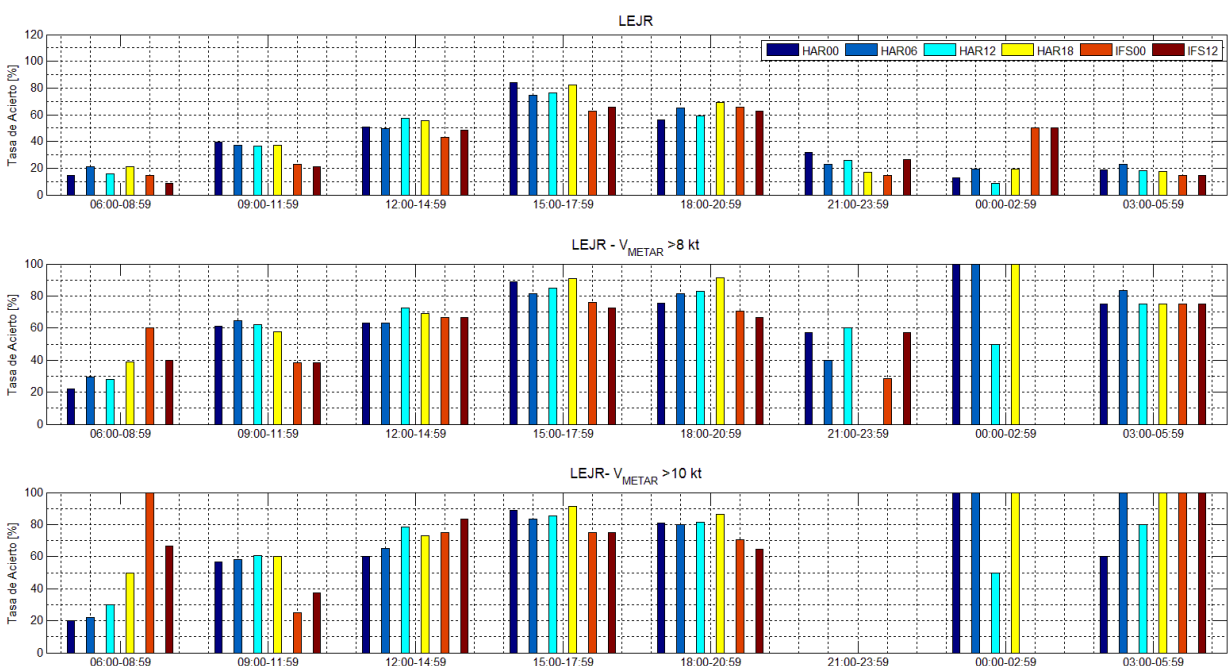


Figura 4-35. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cían, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes intervalos horarios variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Jerez.
 a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

Si nos fijamos en la siguiente gráfica (Figura 4-36), donde se ha variado la velocidad umbral, se puede ver que si no se hace distinción en la intensidad de la velocidad, el comportamiento de ambos modelos es similar para todos los intervalos de tiempo, acertando más en las horas centrales del día, desde las 12:00 a las 21:00 UTC.

Conforme aumenta una velocidad umbral, aumenta el porcentaje de aciertos. La tasa de acierto de las horas nocturnas aumenta, aunque no son muy representativas porque la cantidad de datos es muy pequeña, desde las 21:00-02:00 UTC el aeropuerto permanece cerrado.

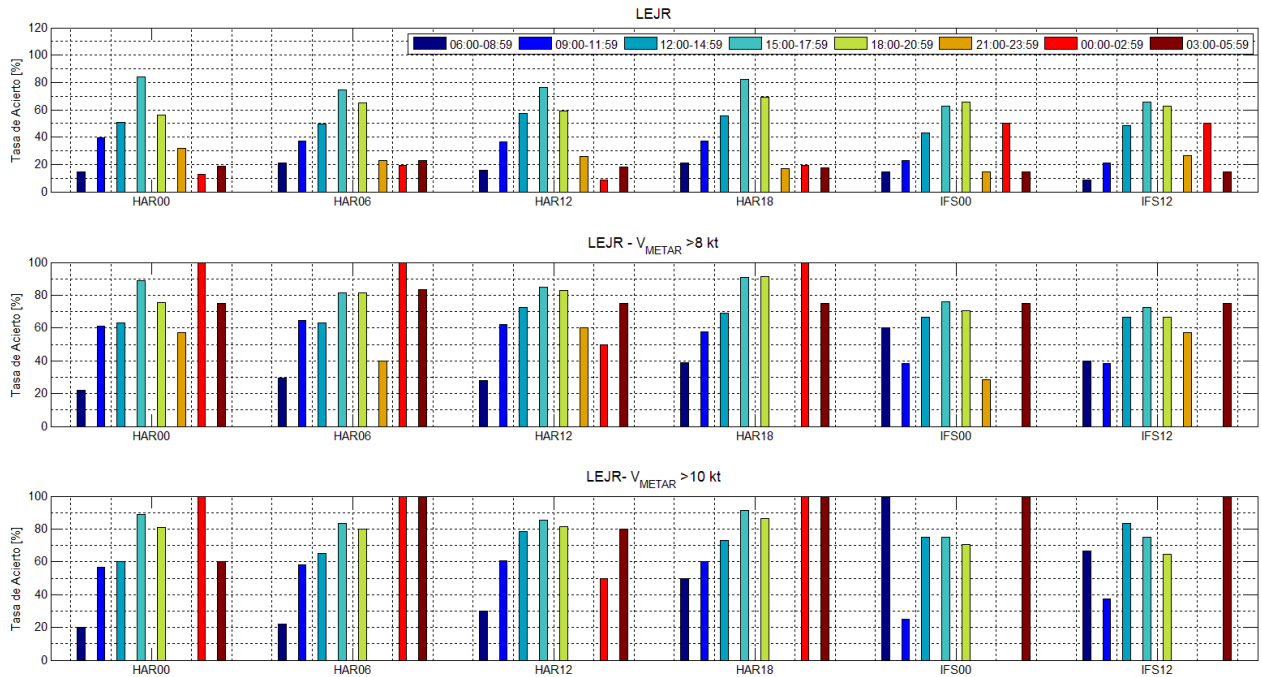


Figura 4-36. Comparación entre los diferentes intervalos horarios (06:00-08:59: azul oscuro; 09:00-11:59: azul cobalto; 12:00-14:59: turquesa, 15:00-17:59: aguamarina, 18:00-20:59: amarillo; 21:00-23:59: naranja; 00:00-02:59: rojo y 03:00-05:59: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Jerez. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

4.3.2 Aeropuerto de Rota

En el aeropuerto de Rota sí se han manejado datos de las horas nocturnas con el umbral de velocidad fijado en 10 nudos. Resulta interesante la diferencia entre las dos pasadas del Centro Europeo para el intervalo de tiempo de las 03:00-05:59 UTC y que en el intervalo de las 21:00-23:59, sea la pasada de las 12 UTC del Centro Europeo la que presente el mejor rendimiento entre los dos modelos.

En las horas diurnas, ambos modelos tienen un comportamiento muy similar, siempre con tasas de acierto elevadas.

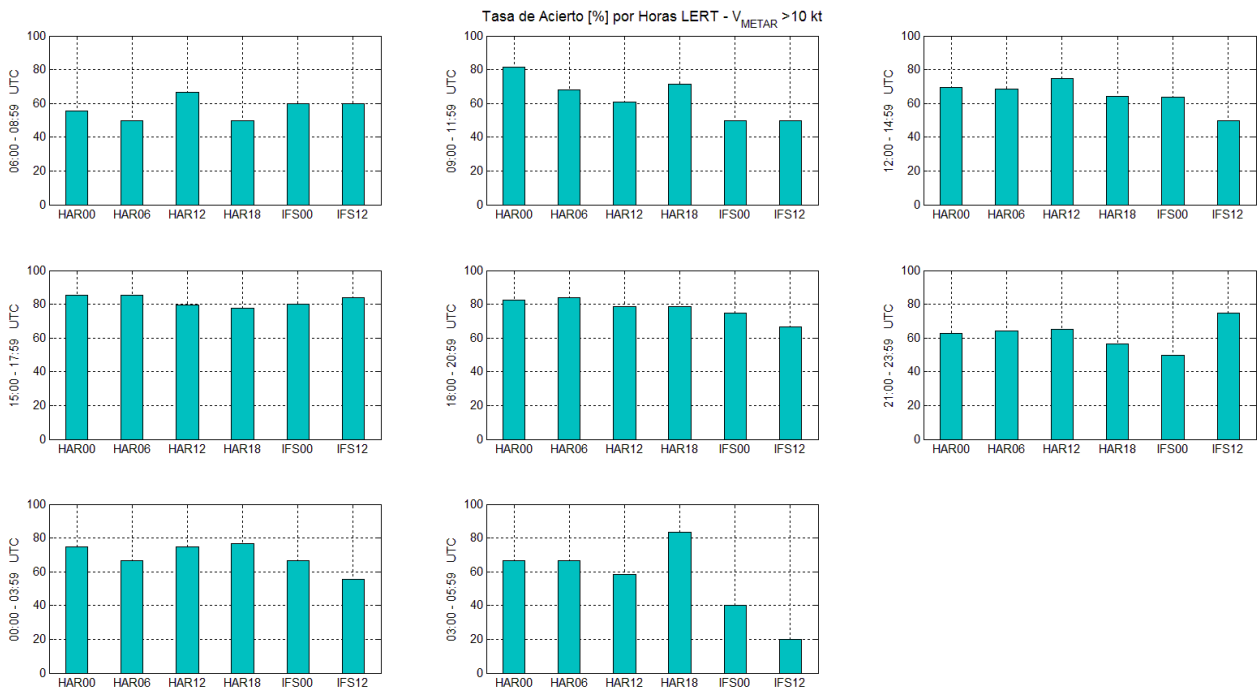


Figura 4-37. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada intervalo horario en el aeropuerto de Rota.

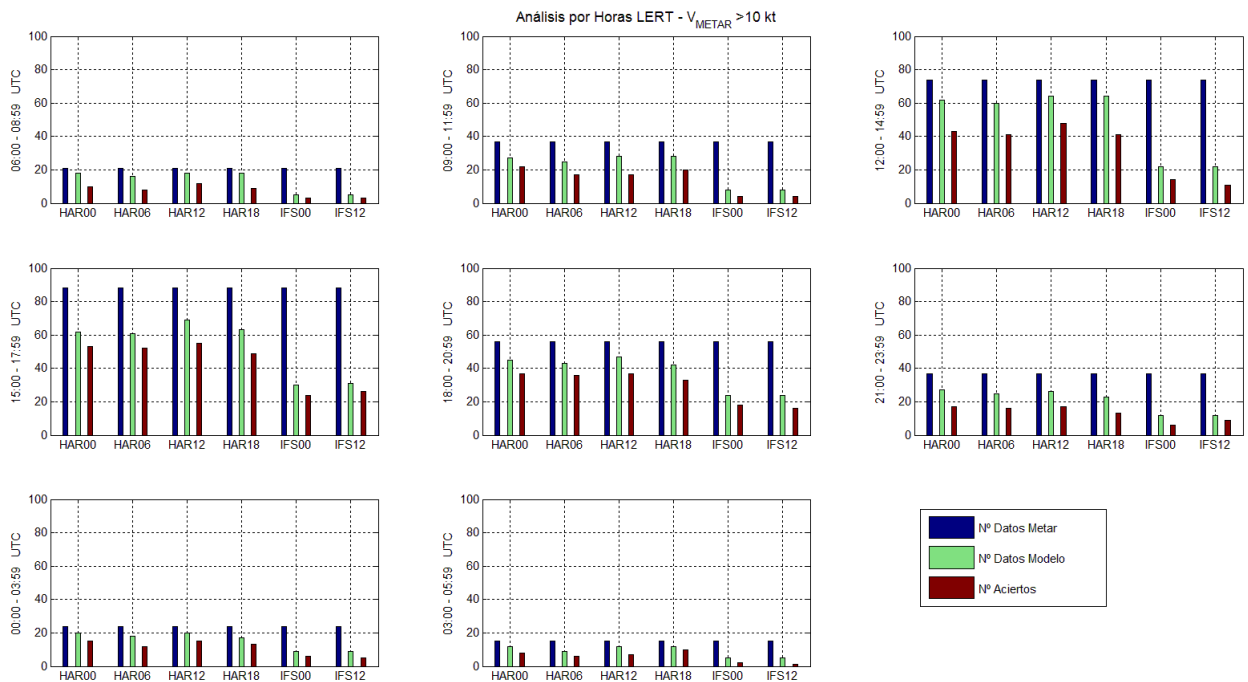


Figura 4-38. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada intervalo horario en el aeropuerto de Rota.

Si se varía la intensidad de la viento umbral, abarcando primero todas las intensidades del viento (Figura 4-39 a)) hasta el valor de 10 nudos fijado inicialmente (Figura 4-39 c)), se puede ver que la tasa de acierto aumenta conforme se aumenta el umbral de velocidad, aunque este aumento es más significativo fuera de los intervalos centrales (16:00 – 20:59 UTC). Con lo cual se puede decir que para bajas velocidades, los modelos aciertan más en el intervalo de 15:00-17:59 UTC.

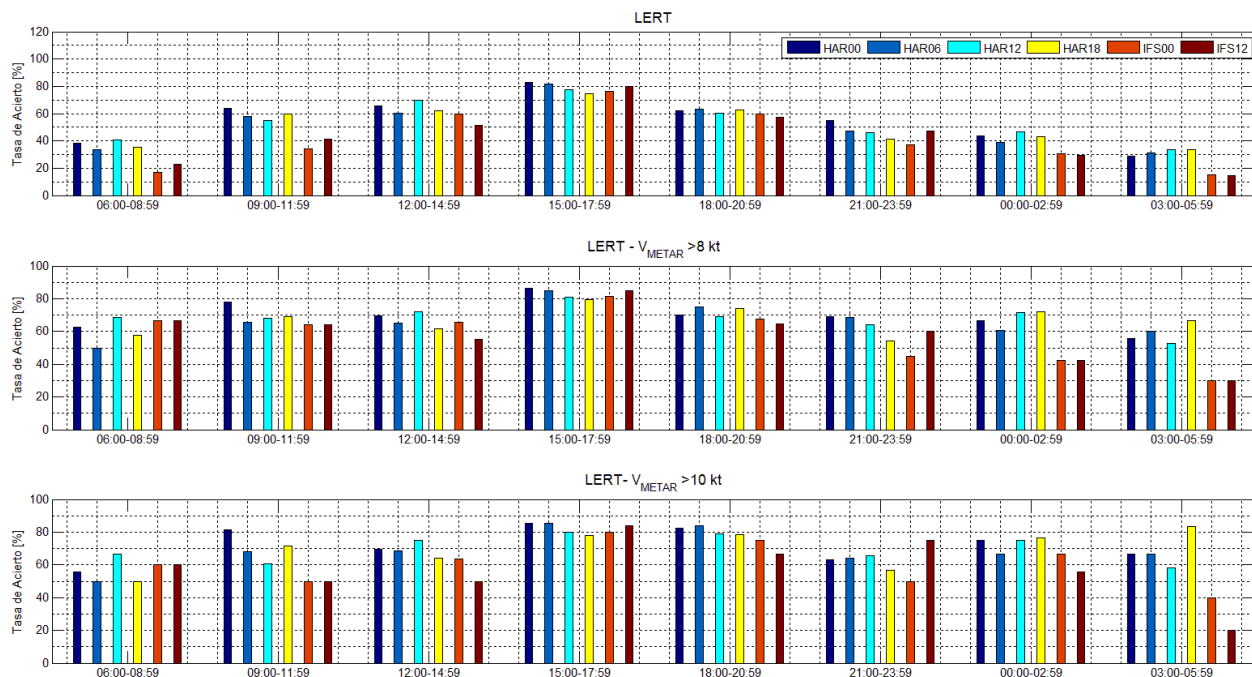


Figura 4-39. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes intervalos horarios variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Rota.
 a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

Si nos fijamos en la siguiente gráfica (Figura 4-40), donde se ha variado la velocidad umbral, se puede ver que si no se hace distinción en la intensidad del viento, el comportamiento de ambos modelos es igual para todos los intervalos de tiempo, acertando más en las horas centrales del día, desde las 12:00 a las 21:00 UTC.

Si se fija una velocidad umbral, aumenta el porcentaje de aciertos. La tasa de acierto de las horas nocturnas aumenta, aunque no son muy representativas puesto que la cantidad de datos es muy pequeña.

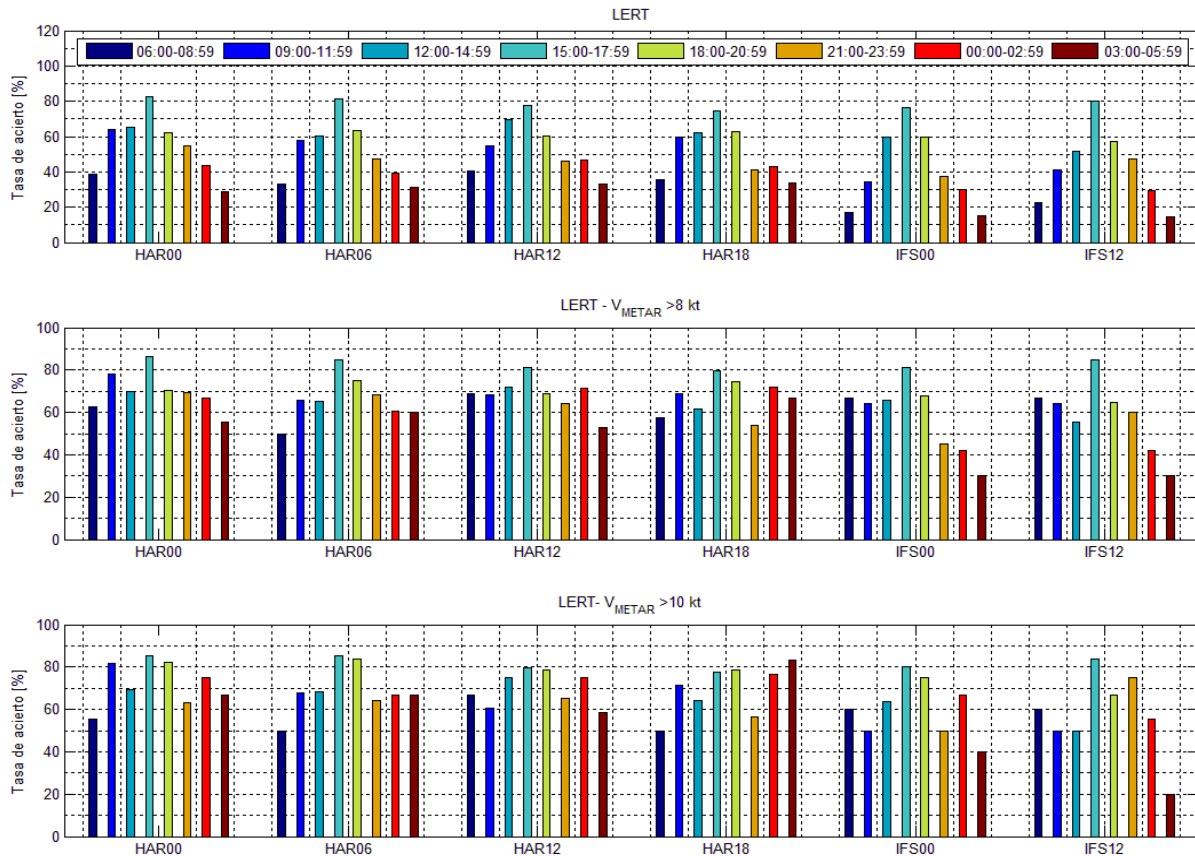


Figura 4-40. Comparación entre los diferentes intervalos horarios (06:00-08:59: azul oscuro; 09:00-11:59: azul cobalto; 12:00-14:59: turquesa, 15:00-17:59: aguamarina, 18:00-20:59: amarillo; 21:00-23:59: naranja; 00:00-02:59: rojo y 03:00-05:59: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Rota. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

4.3.3 Aeropuerto de Málaga

En el aeropuerto de Málaga, el modelo HARMONIE, con la velocidad umbral de 6 nudos, tiene una tasa siempre cerca 60% en todos los intervalos de tiempo considerados. En general, no hay ningún intervalo de tiempo que destaque por su tasa de acierto, ni alta ni baja

El Centro Europeo, como se comentó anteriormente, ha tenido en Málaga muy malos resultados, sin embargo en los intervalos de 12:00–14:59 y 21:00-23:59 UTC son algo mejores y se vuelven a equiparar a los resultados de HARMONIE.

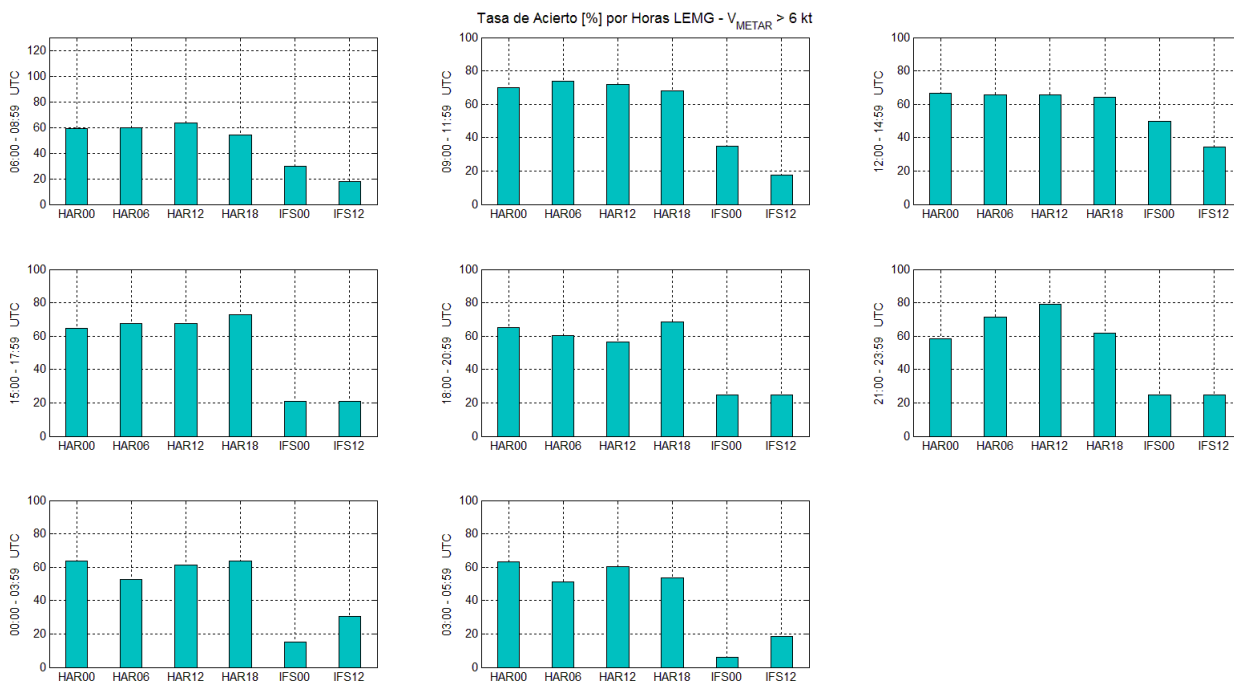


Figura 4-41. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 6$ kt para cada intervalo horario en el aeropuerto de Málaga.

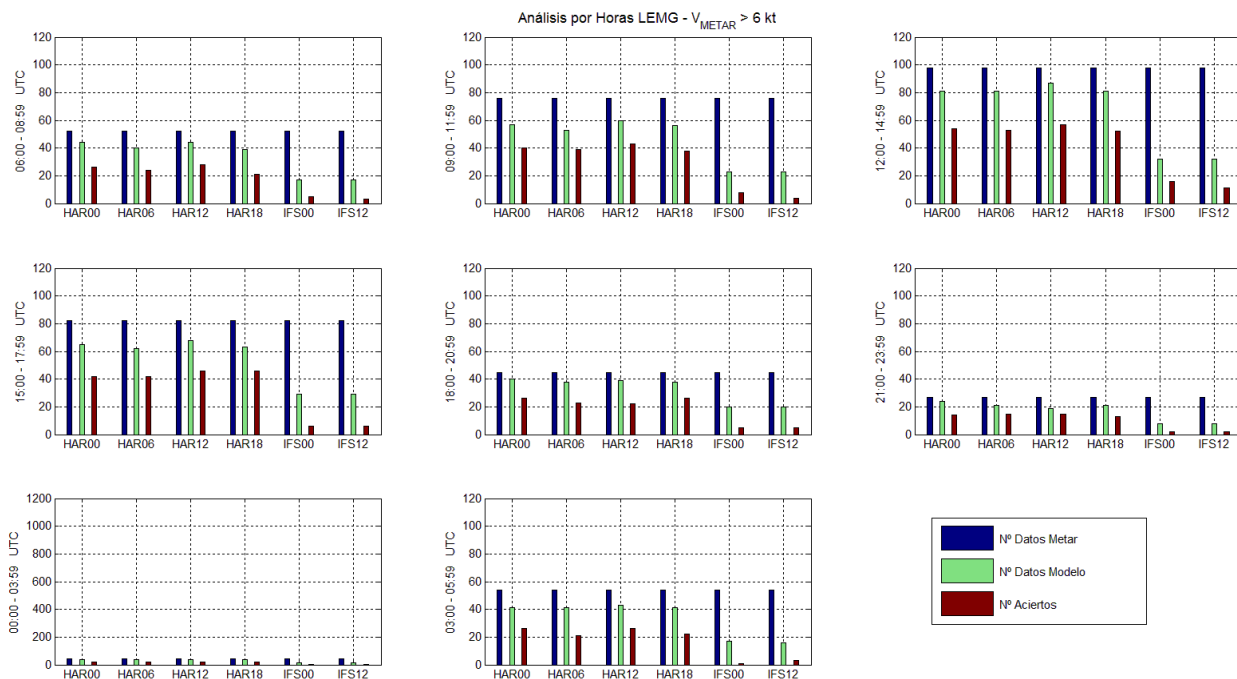


Figura 4-42. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada intervalo horario en el aeropuerto de Málaga.

Si se varían las velocidades umbrales (Figura 4-43), destaca que para velocidades altas, los resultados de los modelos empeoran en los intervalos centrales del día, de 12:00-17:59 UTC.

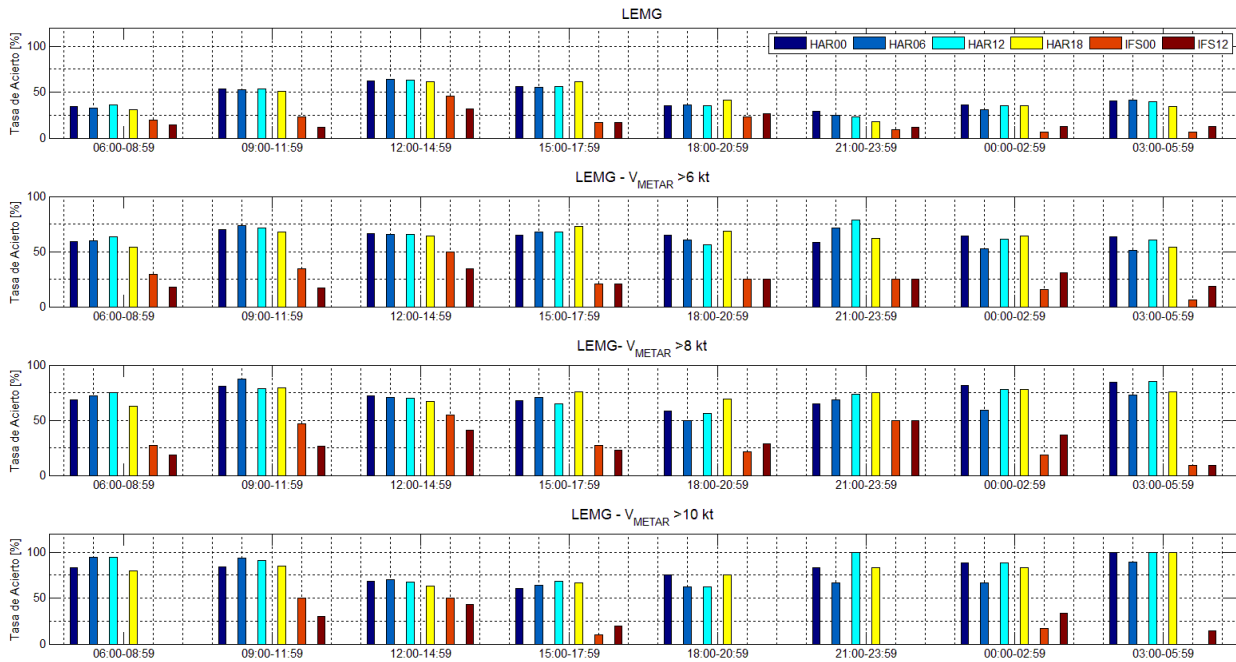


Figura 4-43. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes intervalos horarios variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Málaga.
 a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 6$ kt, c) $V_{METAR} > 8$ kt, d) $V_{METAR} > 10$ kt

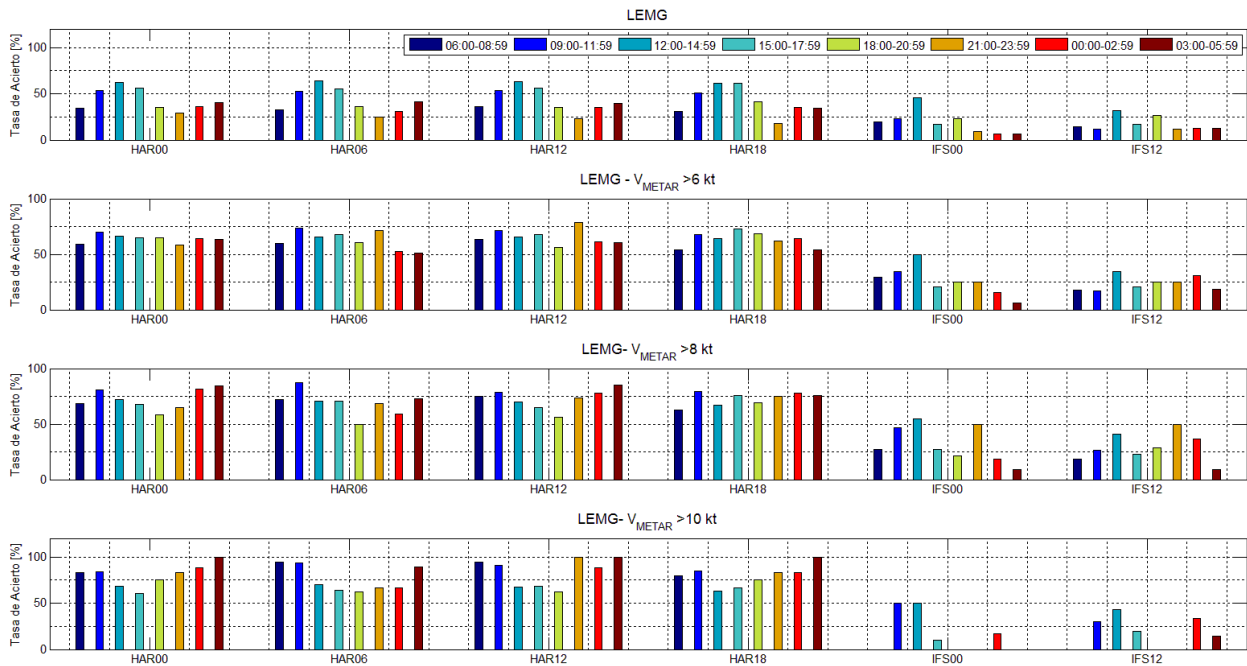


Figura 4-44. Comparación entre los diferentes intervalos horarios (06:00-08:59: azul oscuro; 09:00-11:59: azul cobalto; 12:00-14:59: turquesa, 15:00-17:59: aguamarina, 18:00-20:59: amarillo; 21:00-23:59: naranja; 00:00-02:59: rojo y 03:00-05:59: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Málaga. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 6$ kt, c) $V_{METAR} > 8$ kt, d) $V_{METAR} > 10$ kt

4.3.4 Aeropuerto de Almería

Como ocurría en Jerez, en el aeropuerto de Almería no se tienen datos de observación por la noche, con lo cual las tasas de los intervalos de tiempo de 21:00-09:00 UTC no son representativas, ya que se han analizado

pocos datos.

En los intervalos que sí son representativas, destaca que en los intervalos de 12:00-14:59 y 15:00-17:59 UTC, entre ambos modelos, sea la pasada de las 12:00 UTC del ECMWF la que tenga mayor tasa de acierto.

Vuelve a ocurrir que, en contra de lo esperado, la pasada más reciente del modelo no es la que mayor tasa de aciertos tiene.

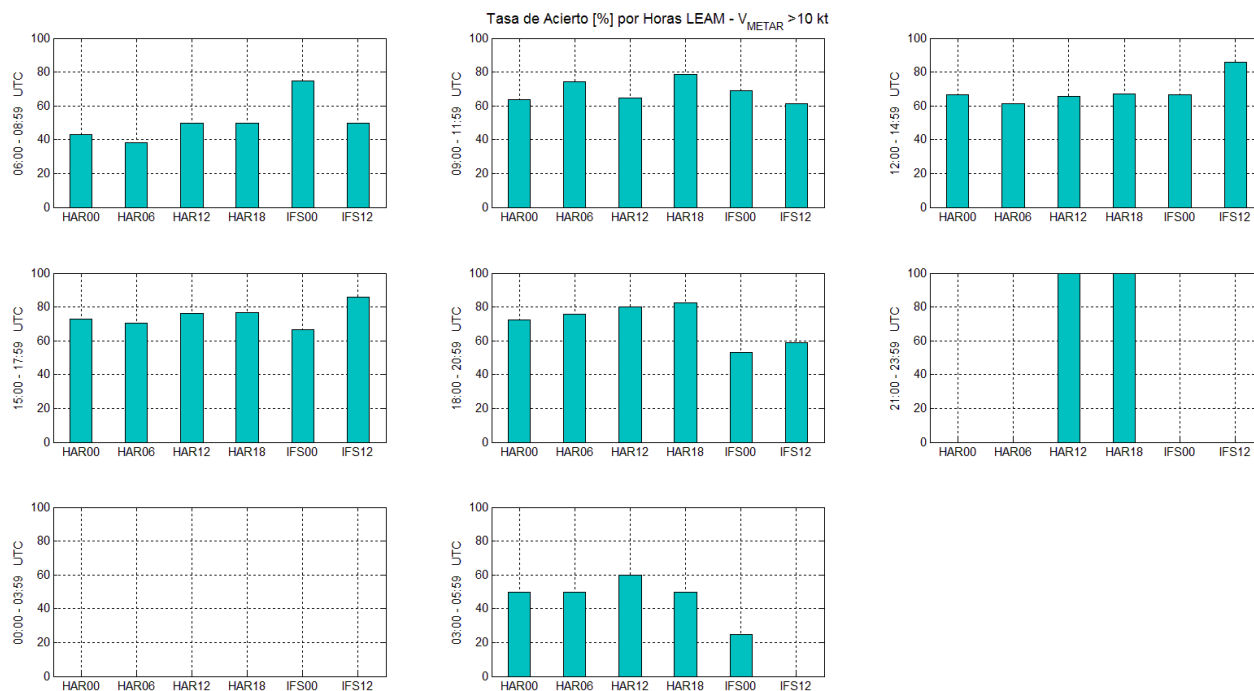


Figura 4-45. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt para cada intervalo horario en el aeropuerto de Almería.

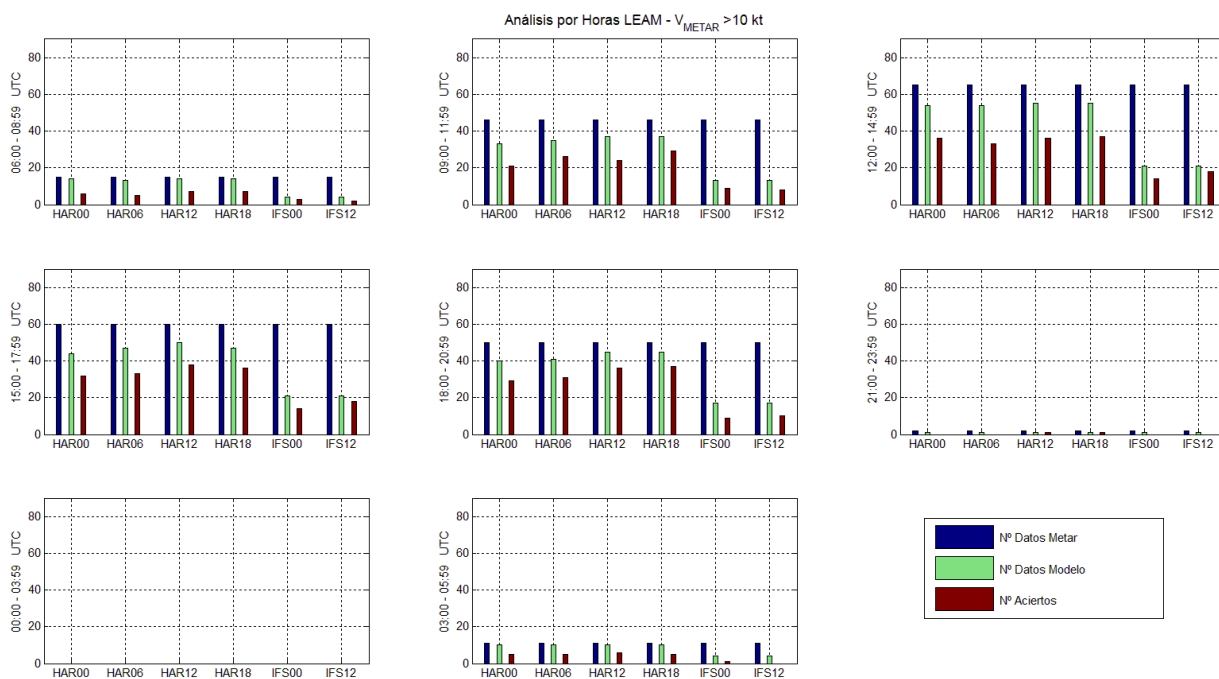


Figura 4-46. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada intervalo horario en el aeropuerto de Almería.

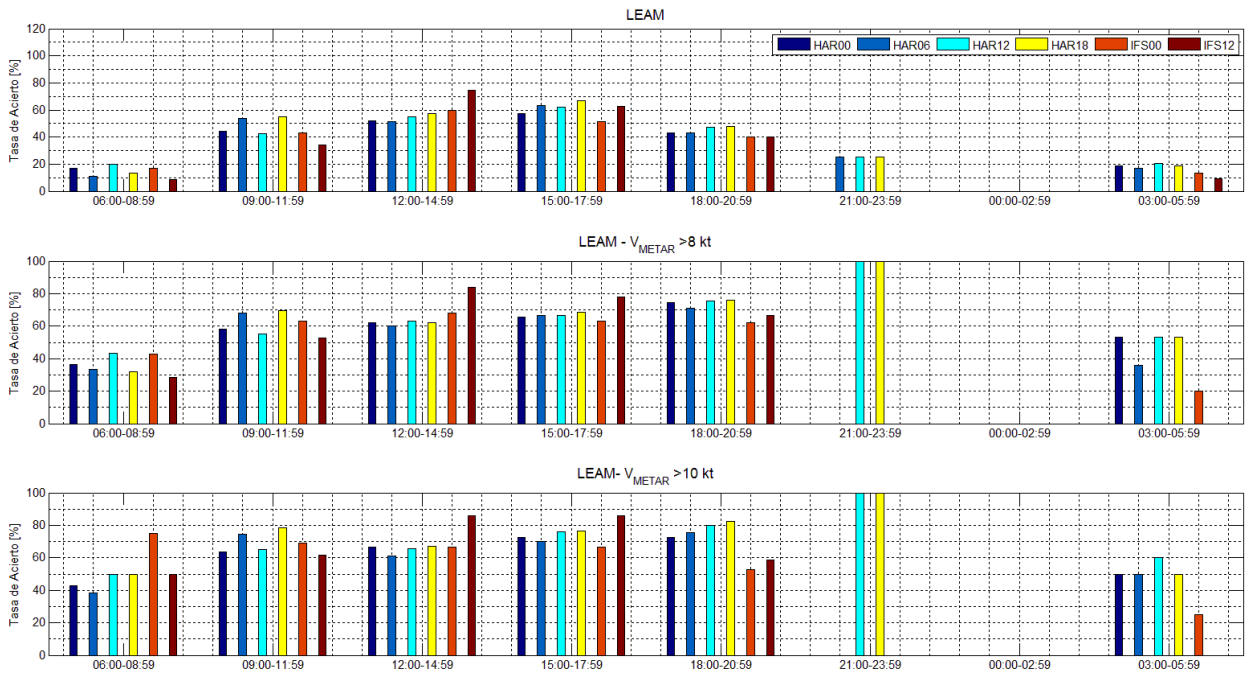


Figura 4-47. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes intervalos horarios variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Almería. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

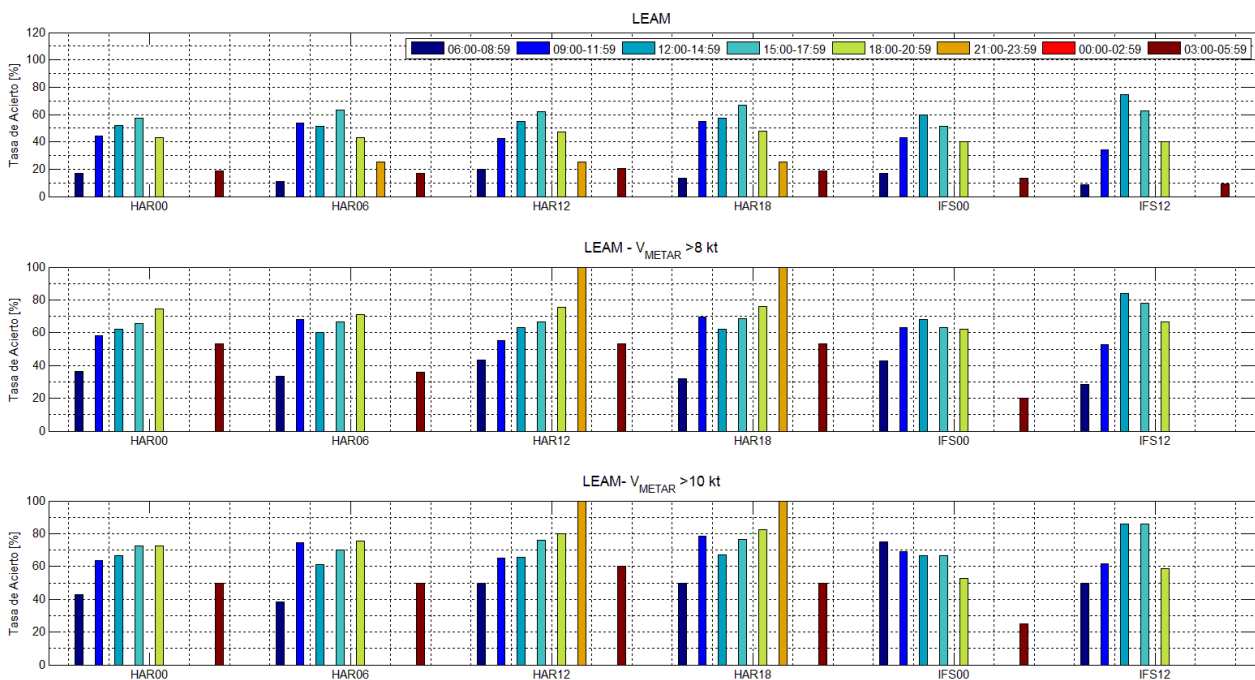


Figura 4-48. Comparación entre los diferentes intervalos horarios (06:00-08:59: azul oscuro; 09:00-11:59: azul cobalto; 12:00-14:59: turquesa, 15:00-17:59: aguamarina, 18:00-20:59: amarillo; 21:00-23:59: naranja; 00:00-02:59: rojo y 03:00-05:59: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Almería. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

4.3.5 Aeropuerto de Melilla

Para este aeropuerto, sólo son representativas las tasas en los intervalos 06:00-18:00 UTC, pues son los intervalos donde hay suficientes datos para poder considerarlos, bien porque el aeropuerto no ha cifrado METAR, bien porque la intensidad del viento no ha llegado a los 10 nudos en esos intervalos horarios.

En el intervalo de las 12:00-14:59 UTC sí que se cumple lo esperado, la pasada de las 12UTC de HARMONIE es la que tiene mayor tasa de acierto y la menor la de las 18 UTC. Esto sólo se da en ese intervalo, en los demás no ocurre.

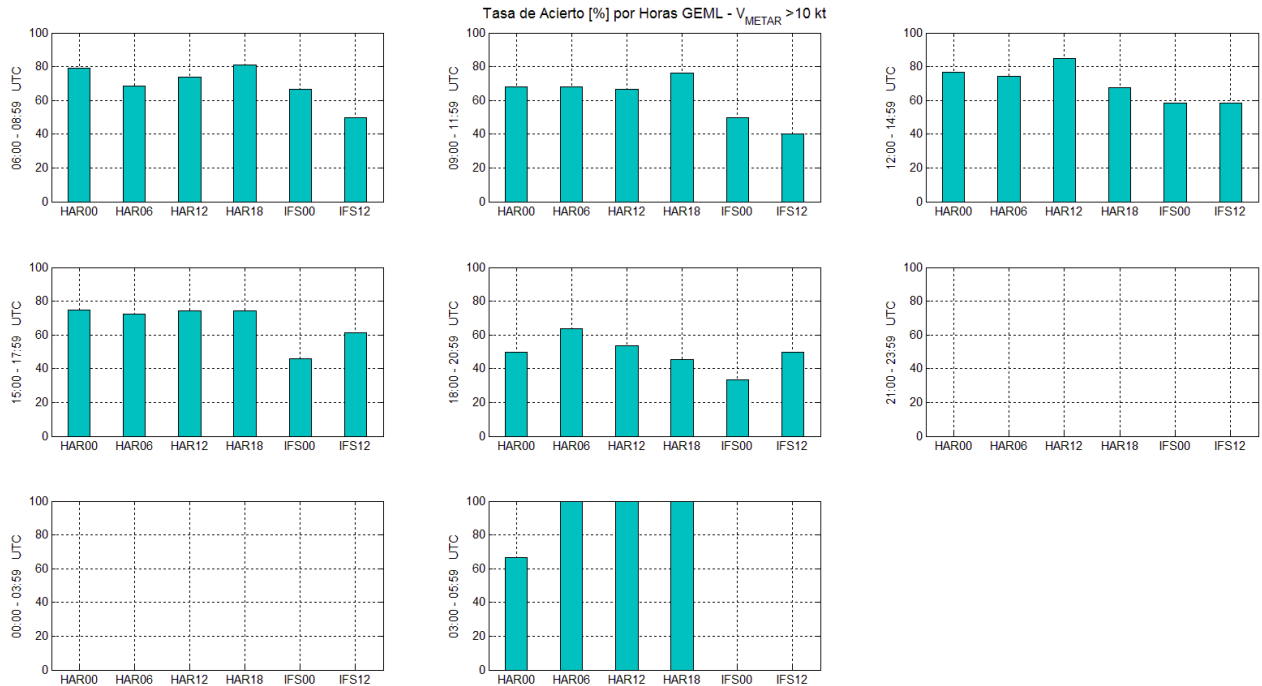


Figura 4-49. Tasa de acierto [%] de las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10kt$ para cada intervalo horario en el aeropuerto de Melilla.

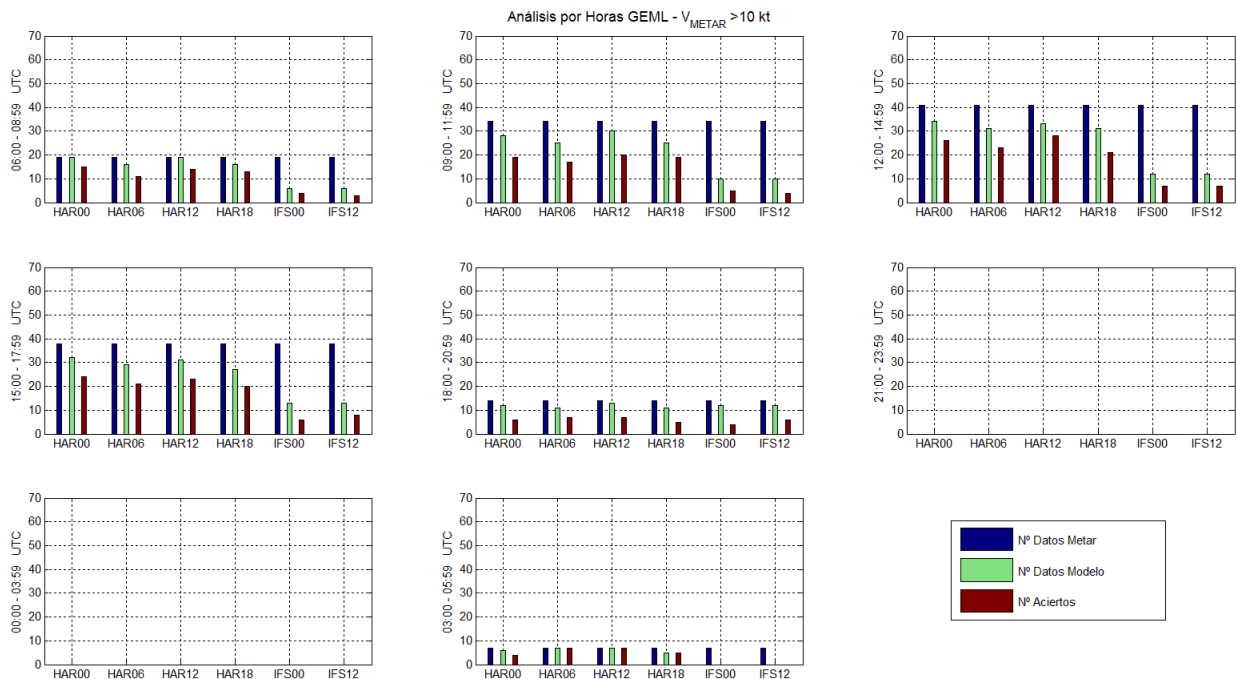


Figura 4-50. Número de datos de METAR (azul), número de veces que ha habido dato de cada pasada del modelo (verde) junto con los aciertos conseguidos (granate) para cada intervalo horario en el aeropuerto de Melilla.

En general, se puede ver que en los intervalos centrales la tasa de acierto es mayor que en los otros intervalos. Esta diferencia es más notable cuando no se fija ninguna velocidad umbral (Figura 4-51).

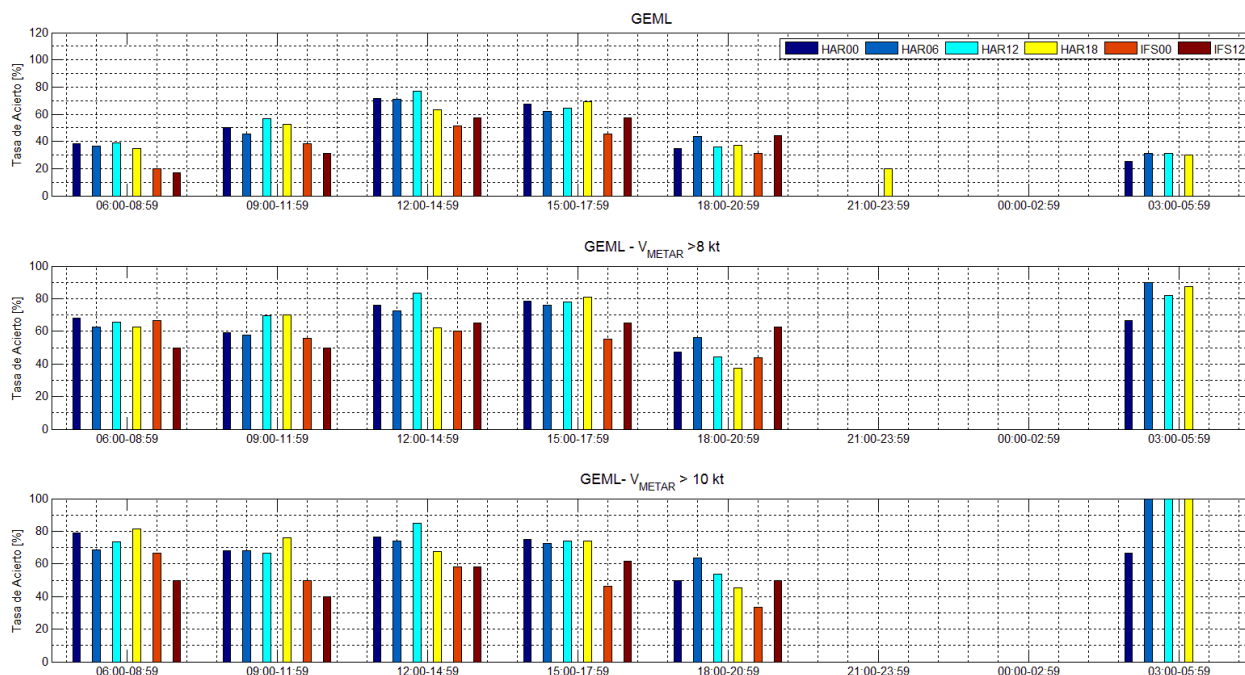


Figura 4-51. Comparación entre las diferentes pasadas de cada modelo (HAR00: azul oscuro; HAR06: azul cobalto; HAR12: cian, HAR18: amarillo; IFS00: rojo y IFS12: marrón) de la tasa de acierto [%] para los diferentes intervalos horarios variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Melilla.

a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

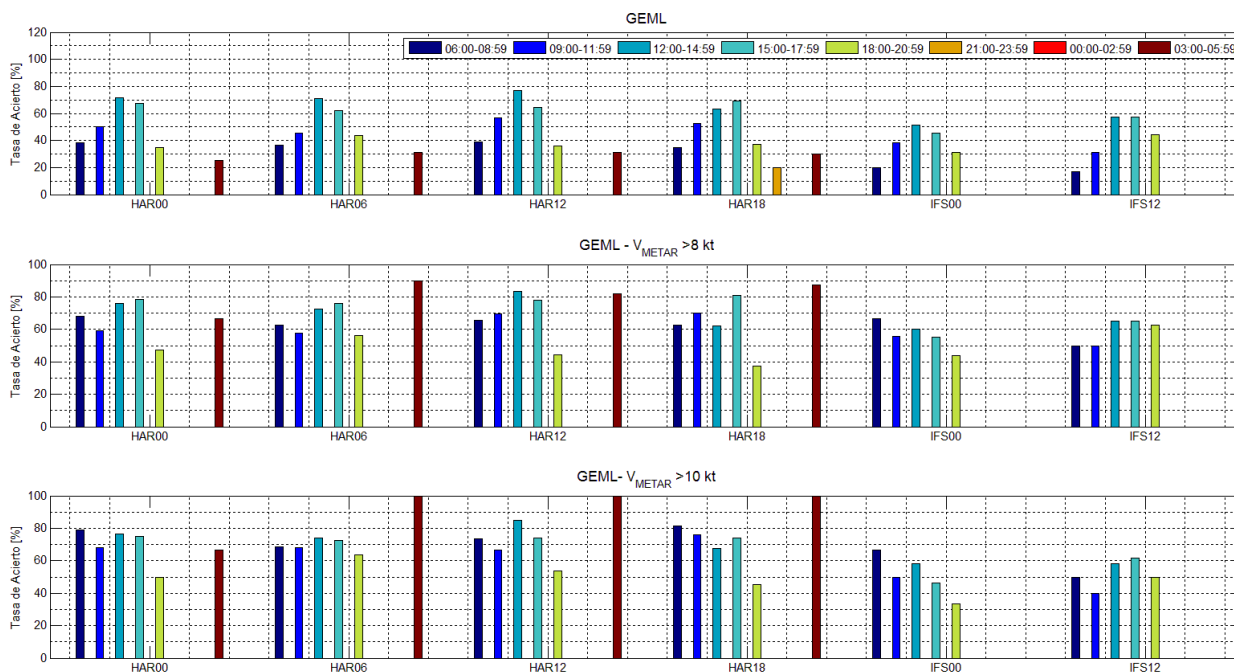


Figura 4-52. Comparación entre los diferentes intervalos horarios (06:00-08:59: azul oscuro; 09:00-11:59: azul cobalto; 12:00-14:59: turquesa, 15:00-17:59: aguamarina, 18:00-20:59: amarillo; 21:00-23:59: naranja; 00:00-02:59: rojo y 03:00-05:59: marrón) de la tasa de acierto [%] para las diferentes pasadas de cada modelo variando la velocidad umbral V_{METAR} en el Aeropuerto de Melilla. a) $V_{METAR} > 0$ kt, b) $V_{METAR} > 8$ kt, c) $V_{METAR} > 10$ kt

4.3.6 Conclusiones

Si se comparan los distintos aeropuertos, se puede ver que para HARMONIE, en las primeras horas del día, de 06:00-09:00 UTC, funciona mejor en la parte Mediterránea (LEMG, LEAM y GEML) que en la zona Atlántica (LEJR y LERT). En los demás intervalos se equiparan los aciertos de todos los aeropuertos.

En el modelo ECMWF, hay un intervalo donde en todos los aeropuertos tienen un comportamiento semejante, de 12:00 a 15:00. UTC. Para los demás intervalos, las tasas de aciertos son muy dispares entre sí.

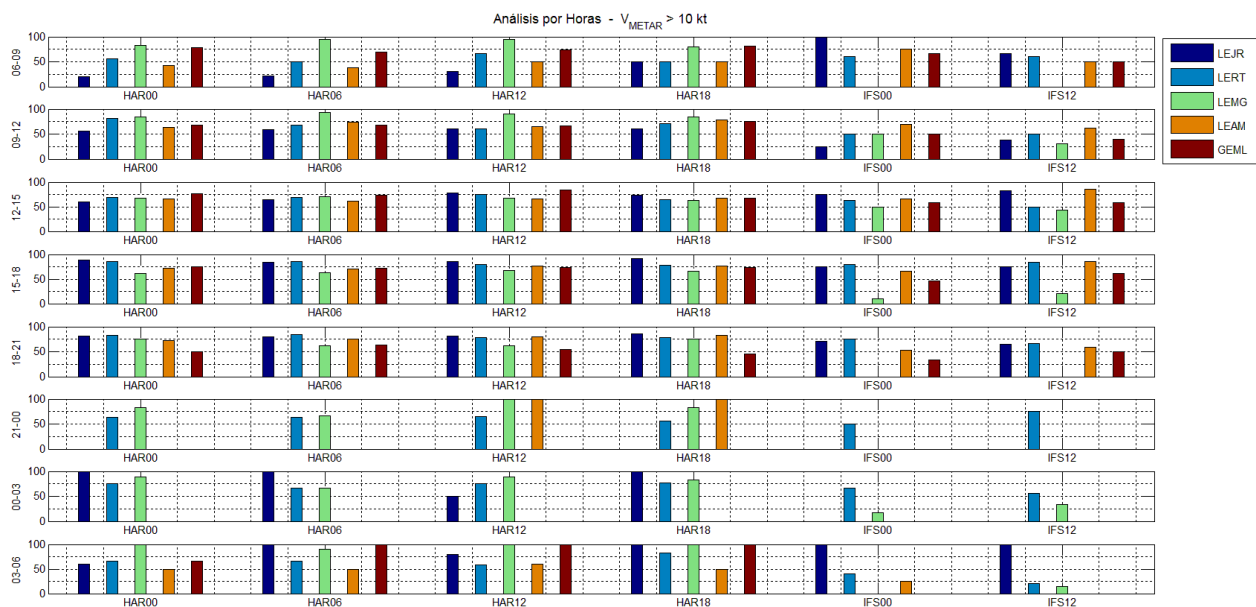


Figura 4-53. Comparación entre los diferentes aeropuertos (LEJR: azul cobalto, LERT: azul claro, LEMG: verde, LEAM: naranja y GEML: granate) de la tasa de acierto [%] entre las diferentes pasadas de cada modelo con una velocidad umbral de $V_{METAR} > 10$ kt según cada intervalo horario.

5 CONCLUSIONES GENERALES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURO

Tras el estudio realizado, podemos llegar a la conclusión de que algunas de las premisas planteadas al inicio del periodo de prácticas han quedado desmentidas, mientras que otras se han confirmado. Estas primeras premisas eran fruto de la experiencia de los predictores del GPV tras varios años trabajando diariamente con las herramientas analizadas.

En general, las premisas planteadas por los predictores establecían que el modelo HARMONIE obtenía mejores resultados que el modelo del Centro Europeo. Por otro lado, también se creía que en general HARMONIE exageraba sus resultados, sobreestimando sobre todo la nubosidad en la parte mediterránea, aunque esto no ha sido ámbito de este estudio, pero sí que arrojaba una idea inicial del comportamiento del modelo.

De entre las horas a las que se ejecutaban los modelos, por lo general coincidían en que las pasadas del medio día (12 UTC y 18 UTC para HARMONIE y 12 UTC para ECMWF) presentaban mejores resultados, ya que en la asimilación de datos cuentan con las imágenes visibles del satélite.

En general, se ha comprobado que las predicciones del modelo HARMONIE son más acertadas que las del modelo del Centro Europeo, lo cual era de esperar ya que la resolución de HARMONIE es mayor que la del ECMWF y se confirma la sensación que había en el GPV. De entre las pasadas de HARMONIE, la pasada de las 12 UTC obtiene los mejores resultados; mientras que la pasada de las 06 UTC, los peores. Para el caso del modelo global del ECMWF, la pasada de las 12 UTC obtiene mejores resultados que la de las 00 UTC.

Los errores cometidos por ambos modelos han sido en su mayoría debido a un fallo en la predicción de la fuerza del viento y no a la dirección. Respecto a la velocidad, estos fallos se han producido debido a una subestimación de la intensidad.

Comparando el comportamiento de los modelos en los aeropuertos en general, se ha llegado a la conclusión de que en el aeropuerto de Málaga tienen lugar las mayores tasas de acierto de HARMONIE, mientras que de este modelo, los peores resultados se dan en el aeropuerto de Almería. Para el Centro Europeo, las mayores tasas de acierto tienen lugar en el aeropuerto de Jerez y las peores en el aeropuerto de Málaga.

Respecto a las direcciones con mayores tasas de acierto, HARMONIE predice con mayor exactitud los vientos procedentes del Este, Oeste y Noroeste, mientras que el ECMWF obtiene sus mejores resultados con los vientos del Sureste. Los peores resultados se obtienen para el viento proveniente del Sur y del Norte respectivamente. En cuanto al viento de levante, podemos establecer que tanto HARMONIE como el modelo de Centro Europeo obtienen altas tasas de acierto.

Entre los resultados más desfavorables de ambos modelos, se puede llegar a la conclusión comparando por zonas geográficas que en los aeropuertos de la zona Atlántica se predice mejor el viento de componente Sur; mientras en la zona Mediterránea, los vientos de dirección Norte.

En lo que respecta al análisis por intervalos de horas, se esperaba encontrar una relación directa entre la hora de ejecución del modelo y la tasa de acierto a esa hora, sin embargo esto no ha tenido lugar siempre. Aisladamente, para el intervalo de las 12:00-14:59, sí ha ocurrido para HARMONIE que la pasada de las 12UTC tiene la mayor tasa de aciertos y que la de las 18 UTC tiene la peor; con lo cual no se puede admitir esta primera hipótesis como acertada.

En el caso del ECMWF, sí se ha dado por norma general, aunque no en todos los intervalos de tiempo, que la pasada del modelo con el porcentaje de aciertos más alto corresponde con la última pasada ejecutada por el modelo.

Centrándonos detalladamente en el análisis de cada aeropuerto, se ha observado que en el Aeropuerto de Málaga, las predicciones del ECMWF han tenido una tasa de aciertos mucho menor que HARMONIE. Además se ha observado, que los vientos de componente Sur han tenido un número menor de aciertos. Esto puede ser debido a que el giro que hace el viento de poniente para entrar en Málaga como brisa no se ve bien

reflejado en las predicciones de los modelos. Este fenómeno se debería seguir estudiando para ver si es este el caso o no.

Por otro lado en el aeropuerto de Almería se ha desmentido, al menos durante el periodo analizado, la sensación en el GPV de que HARMONIE era más fiable que el ECMWF. Siendo incluso la pasada de las 12 UTC de ECMWF más fiable que alguna de las pasadas de HARMONIE.

Como líneas de trabajo futuro, sería interesante analizar conjuntamente más de una variable del modelo, para poder así establecer relaciones entre las tasas de acierto de las distintas variables.

En esa misma línea, sería más acertado ampliar el periodo de tiempo a analizar, ya que las situaciones sinópticas durante este periodo de tiempo no han sido muy variadas, inhabilitando la posibilidad de analizar cada situación por separado para establecer una relación.

Por último, se propone también abarcar un mayor número de aeropuertos y así establecer mayores relaciones entre las zonas geográficas y el porcentaje de acierto de cada modelo.

REFERENCIAS

- [1] Agencia Estatal de Meteorología (2015). *Guía de Servicios Meteorológicos para la Navegación Aérea*,» Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) , Madrid, Septiembre 2015.
- [2] Alomar Garau, G. (2013). *Las brisas marinas y su significación geográfica*. SEMATA, Ciencias Sociais e Humanidades, ISSN 1137-9669, 2013, vol. 25, pp. 7-28.
- [3] Belmar Gil, M. (24 de Abril 2013). *Tema 6. Orientación de pistas*. Ingeniería Aeroportuaria. Recuperado de <http://ingenieriaaeroportuaria.blogs.upv.es/2013/04/24/tema-6-orientacion-de-pistas/>
- [4] Desconocido. (s.f). *Objetivo 6. Datos ambientales y meteorológicos*. Recuperado el 01 de Febrero de 2016 de http://webco.faocopemed.org/old_copemed/reports/tunidos/gibraltar98/informe/objetivo6.pdf
- [5] Desconocido. (4 Agosto 2011). *Málaga, antes y ahora*. Recuperado de <https://sinalefa5.wordpress.com/2011/08/04/el-terral/>.
- [6] Driesenaar, T. (31 de Marzo de 2009). *General description of the HARMONIE model*. Obtenido de <http://hirlam.org/index.php/hirlam-programme-53/general-model-description/mesoscale-harmonie>
- [7] ECMWF. (s.f). www.ecmwf.int
- [8] García – Moya Zapata, José A. (2002). *Los modelos numéricos de predicción del tiempo*. Tethys - Revista de meteorología y climatología mediterránea, vol. 2, Artículo 5.
- [9] Jankoski, T. (2016, 8 de Marzo). *European Weather Model Upgraded Today*. NBC News. Recuperado de <http://www.nbcconnecticut.com/weather/stories/European-Weather-Model-Upgraded-Today-371420541.html>
- [10] Lezaun Iturralde, M. (2003). *Predicciones del tiempo y matemáticas*. Sigma, vol. 23, pp. 145 - 166
- [11] López Álvarez, L. A. (s.f.). *La Predicción del Tiempo a partir de los Modelos Numéricos*. Meteorología de Colombia, vol. 6, pp. 1-8.
- [12] López, R. (2008). *Tarifa y el viento de Levante*. *Climatología*, Aljaranda, vol. 68, pp. 20-30.
- [13] Navascués, B., Calvo, J., Morales, G., Santos, C., Callado, A., Cansado, A., Cuxart, J., Díez, M., del Río, P., Escribà, P., García-Colombo, O., García-Moya, J.A., Geijo, C., Gutiérrez, E., Hortal, M., Martínez, I., Orfila, B., Parodi, J., Rodríguez, E. y Sánchez-Arriola, J. (2013) *Long-term verification of HIRLAM and ECMWF forecasts over Southern Europe: History and perspectives of Numerical Weather Prediction at AEMET*. Atmospheric Research, vol. 125-126, pp. 20–33.
- [14] OMM. (1992). *Vocabulario Meteorológico Internacional*. OMM / No. 182, Secretaría de la OMM, Segunda Edición.
- [15] Palomares Losada, A. M. (2004). *Caracterización del régimen de vientos y desarrollo de un modelo de predicción eólica a escala local en el Estrecho de Gibraltar*. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, Madrid.
- [16] Plas, E. V., Schreur, B., & Kok, K. (2012). *A quantitative evaluation of the high resolution HARMONIE model for critical weather phenomena*. Advances in Science & Research, vol. 8, pp. 149–155.
- [17] Sánchez, M. (8 de junio de 2016). *¿Qué es el terral?*. METEOROLOGÍA EN RED. Recuperado de <http://www.meteorologiaenred.com/que-es-el-terral.html>
- [18] Seity, Y., Brousseau, P., Malardel, S., Hello, G., Bénard, P., Bouttier, F., Lac, C., Masson, V., 2011. *The AROME-France Convective-Scale Operational Model*. Mon. Weather Rev. 139, pp. 976–991.
- [19] Serrano, R. (2011). *Rosa de los vientos*. EcuRed. Recuperado de http://www.ecured.cu/Rosa_de_los_vientos
- [20] Simarro, J., & Hortal, M. (2011). *A semi-implicit non-hydrostatic dynamical kernel using finite elements*

in the vertical discretization. Q. J. R. Meteorol. Soc. vol. 138, pp. 826–839,.

[21] Viedma Muñoz, M. (1998). *Análisis de las direcciones de los vientos en Andalucía*. Nimbus, vol. 1, pp. 153–168.

ANEXO I

AEROPUERTO JEREZ - ANALISIS GENERAL

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >10 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
V _{METAR} >10 kt	211	211	211	211	211	211	211
Hay dato del Modelo	163	159	170	162	66	66	66
Acierto	114	114	129	128	45	45	45
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	49	45	41	34	21	21	21
Errores por Dirección	8	10	4	9	6	5	5
Errores por Intensidad	41	35	37	25	15	16	16
Sobreestimado	17	11	10	10	2	1	1
Subestimado	24	24	27	15	13	15	15
% Acierto	70	72	76	79	68	68	68

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >8 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
V _{METAR} >8 kt	321	321	321	321	321	321	321
Hay dato del Modelo	246	237	260	244	107	107	107
Acierto	171	166	190	182	68	67	67
Acierto - VRB	2	2	2	1	0	0	0
Errores Totales	73	69	68	61	39	40	40
Errores por Dirección	15	19	6	11	13	11	11
Errores por Intensidad	58	50	62	50	26	29	29
Sobreestimado	23	13	16	16	4	4	4
Subestimado	35	37	46	34	22	25	25
% Acierto	70	70	73	75	64	63	63

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >6 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
V _{METAR} >6 kt	402	402	402	402	402	402	402
Hay dato del Modelo	304	296	325	306	138	138	138
Acierto	197	196	218	213	75	77	77
Acierto - VRB	4	4	4	2	1	1	1
Errores Totales	103	96	103	91	62	60	60
Errores por Dirección	18	27	10	15	20	15	15
Errores por Intensidad	85	69	93	76	42	45	45
Sobreestimado	39	24	30	30	11	10	10
Subestimado	46	45	63	46	31	35	35
% Acierto	65	66	67	70	54	56	56

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >4 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
V _{METAR} >4 kt	482	482	482	482	482	482	482
Hay dato del Modelo	365	356	393	366	166	166	166
Acierto	216	221	238	237	84	87	87
Acierto - VRB	5	4	7	2	1	1	1
Errores Totales	144	131	148	127	81	78	78
Errores por Dirección	24	35	21	25	24	20	20
Errores por Intensidad	120	96	127	102	57	58	58
Sobreestimado	64	43	50	48	24	22	22
Subestimado	56	53	77	54	33	36	36
% Acierto	59	62	61	65	51	52	52

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >2 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
V _{METAR} >2 kt	573	573	573	573	573	573	573
Hay dato del Modelo	428	418	467	432	196	194	194
Acierto	220	225	240	240	84	87	87
Acierto - VRB	14	12	16	7	7	5	5
Errores Totales	194	181	211	185	105	102	102
Errores por Dirección	25	39	25	29	24	20	20
Errores por Intensidad	169	142	186	156	81	82	82
Sobreestimado	102	81	96	90	44	41	41
Subestimado	67	61	90	66	37	41	41
% Acierto	51	54	51	56	43	45	45

AEROPUERTO ROTA - ANALISIS GENERAL

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
Velocidad del Metar >10 kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
V _{METAR} >10 kt	352	352	352	352	352	352
Hay dato del Modelo	273	257	284	267	115	116
Acierto	205	188	208	188	77	75
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	68	69	76	79	38	41
Errores por Dirección	14	10	12	15	7	8
Errores por Intensidad	54	59	64	64	31	33
Sobreestimado	15	11	14	17	22	21
Subestimado	39	48	50	47	9	12
% Acierto	75	73	73	70	67	65

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
Velocidad del Metar >8 kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
V _{METAR} >8 kt	493	493	493	493	493	493
Hay dato del Modelo	378	364	400	379	161	162
Acierto	272	251	283	258	99	100
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	106	113	117	121	62	62
Errores por Dirección	20	16	19	20	12	13
Errores por Intensidad	86	97	98	101	50	49
Sobreestimado	29	27	31	31	35	32
Subestimado	57	70	67	70	15	17
% Acierto	72	69	71	68	61	62

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
Velocidad del Metar >6 kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
V _{METAR} >6 kt	628	628	628	628	628	628
Hay dato del Modelo	480	475	519	495	208	209
Acierto	321	304	343	314	111	115
Acierto - VRB	1	2	0	0	0	0
Errores Totales	158	169	176	181	97	94
Errores por Dirección	34	22	26	27	13	15
Errores por Intensidad	124	147	150	154	84	79
Sobreestimado	48	44	55	56	65	61
Subestimado	76	103	95	98	19	18
% Acierto	67	64	66	63	53	55

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
Velocidad del Metar >4 kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
V _{METAR} >4 kt	713	713	713	713	713	713
Hay dato del Modelo	544	543	595	562	236	237
Acierto	348	328	369	335	114	119
Acierto - VRB	4	5	5	4	1	1
Errores Totales	192	210	221	223	121	117
Errores por Dirección	41	27	32	32	15	21
Errores por Intensidad	151	183	189	191	106	96
Sobreestimado	69	70	85	77	85	77
Subestimado	82	113	104	114	21	19
% Acierto	64	60	62	60	48	50

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
Velocidad del Metar >2 kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
V _{METAR} >2 kt	794	794	794	794	794	794
Hay dato del Modelo	610	606	665	628	258	259
Acierto	353	330	375	339	114	119
Acierto - VRB	17	13	11	20	1	4
Errores Totales	240	263	279	269	143	136
Errores por Dirección	44	31	33	34	15	21
Errores por Intensidad	196	232	246	235	128	115
Sobreestimado	101	105	127	108	107	95
Subestimado	95	127	119	127	21	20
% Acierto	58	54	56	54	44	46

AEROPUERTO MÁLAGA - ANALISIS GENERAL

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
Velocidad del Metar >10 kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
V _{METAR} >10 kt	167	167	167	167	167	167
Hay dato del Modelo	138	136	143	137	58	58
Acierto	109	104	117	107	14	14
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	29	32	26	30	44	44
Errores por Dirección	5	4	7	7	12	10
Errores por Intensidad	24	28	19	23	32	34
Sobreestimado	4	1	2	4	1	5
Subestimado	20	27	17	19	31	29
% Acierto	79	76	82	78	24	24

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
Velocidad del Metar >8 kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
V _{METAR} >8 kt	325	325	325	325	325	325
Hay dato del Modelo	270	259	279	258	110	110
Acierto	196	181	201	187	36	31
Acierto - VRB	1	1	1	1	0	0
Errores Totales	73	77	77	70	74	79
Errores por Dirección	15	13	19	15	20	21
Errores por Intensidad	58	64	58	55	54	58
Sobreestimado	13	12	14	12	3	13
Subestimado	45	52	44	43	51	45
% Acierto	73	70	72	72	33	28

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
Velocidad del Metar >6 kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
V _{METAR} >6 kt	475	475	475	475	475	475
Hay dato del Modelo	388	372	396	375	159	158
Acierto	251	236	259	241	45	38
Acierto - VRB	1	1	1	1	0	0
Errores Totales	136	135	136	133	114	120
Errores por Dirección	25	22	27	26	28	28
Errores por Intensidad	111	113	109	107	86	92
Sobreestimado	33	28	31	32	13	23
Subestimado	78	85	78	75	73	69
% Acierto	65	63	65	64	28	24

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
Velocidad del Metar >4 kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
V _{METAR} >4 kt	602	602	602	602	602	602
Hay dato del Modelo	490	470	501	482	203	202
Acierto	274	258	287	269	51	46
Acierto - VRB	1	1	1	1	0	0
Errores Totales	215	211	213	212	152	156
Errores por Dirección	31	32	38	37	38	38
Errores por Intensidad	184	179	175	175	114	118
Sobreestimado	69	60	70	68	28	39
Subestimado	115	119	105	107	86	79
% Acierto	56	55	57	56	25	23

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección						
Velocidad del Metar >2 kt						
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12
V _{METAR} >2 kt	741	741	741	741	741	741
Hay dato del Modelo	583	566	610	583	244	240
Acierto	281	267	293	272	52	47
Acierto - VRB	7	7	9	8	4	3
Errores Totales	295	292	308	303	188	190
Errores por Dirección	36	40	40	42	39	40
Errores por Intensidad	259	252	268	261	149	150
Sobreestimado	118	104	134	127	56	63
Subestimado	141	148	134	134	93	87
% Acierto	48	47	48	47	21	20

AEROPUERTO ALMERÍA - ANALISIS GENERAL

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >10 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
Vel METAR>10 kt	249	249	249	249	249	249	249
Hay dato del Mod	196	201	212	209	81	81	81
Aciero	129	133	148	152	50	56	56
Acierto_VRB	0	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	67	68	64	57	31	25	25
Errores por Dir	9	7	9	10	10	6	6
Errores por Vel	58	61	55	47	21	19	19
E - Sobreestimado	26	32	29	22	4	2	2
E - Subestimado	32	29	26	25	17	17	17
% Acierto	66	66	70	73	62	69	69

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >8 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
Vel METAR>8 kt	321	321	321	321	321	321	321
Hay dato del Mod	250	254	273	261	106	106	106
Aciero	154	156	172	169	63	68	68
Acierto_VRB	1	0	1	0	1	1	1
Errores Totales	95	98	100	92	42	37	37
Errores por Dir	16	10	13	17	11	9	9
Errores por Vel	79	88	87	75	31	28	28
E - Sobreestimado	42	46	44	40	8	4	4
E - Subestimado	37	42	43	35	23	24	24
% Acierto	62	61	63	65	59	64	64

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >6 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
Vel METAR>6 kt	383	383	383	383	383	383	383
Hay dato del Mod	295	298	325	301	128	128	128
Aciero	169	174	193	185	70	73	73
Acierto_VRB	1	0	1	0	1	1	1
Errores Totales	125	124	131	116	57	54	54
Errores por Dir	22	12	17	20	15	13	13
Errores por Vel	103	112	114	96	42	41	41
E - Sobreestimado	56	61	57	53	13	9	9
E - Subestimado	47	51	57	43	29	32	32
% Acierto	57	58	59	61	55	57	57

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >4 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
Vel METAR>4 kt	474	474	474	474	474	474	474
Hay dato del Mod	371	362	399	371	152	152	152
Aciero	187	188	212	209	78	80	80
Acierto_VRB	1	0	2	0	1	1	1
Errores Totales	183	174	185	162	73	71	71
Errores por Dir	33	22	28	27	18	16	16
Errores por Vel	150	152	157	135	55	55	55
E - Sobreestimado	94	91	92	85	25	21	21
E - Subestimado	56	61	65	50	30	34	34
% Acierto	50	52	53	56	51	53	53

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >2 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
Vel METAR>2 kt	569	569	569	569	569	569	569
Hay dato del Mod	441	432	474	445	189	189	189
Aciero	190	192	217	213	78	80	80
Acierto_VRB	7	10	12	9	2	5	5
Errores Totales	244	230	245	223	109	104	104
Errores por Dir	38	26	31	29	18	16	16
Errores por Vel	206	204	214	194	91	88	88
E - Sobreestimado	141	133	131	136	54	48	48
E - Subestimado	65	71	83	58	37	40	40
% Acierto	43	44	46	48	41	42	42

AEROPUERTO MELILLA - ANALISIS GENERAL

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >10 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
V _{METAR} >10 kt	153	153	153	153	153	153	153
Hay dato del Modelo	131	119	133	115	53	53	53
Acierto	94	86	99	83	26	28	28
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	37	33	34	32	27	25	25
Errores por Dirección	1	2	1	1	9	10	10
Errores por Intensidad	36	31	33	31	18	15	15
Sobreestimado	0	0	0	0	2	2	2
Subestimado	36	31	33	31	16	13	13
% Acierto	72	72	74	72	49	53	53

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >8 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
V _{METAR} >8 kt	235	235	235	235	235	235	235
Hay dato del Modelo	194	179	197	175	80	80	80
Acierto	133	122	143	118	44	48	48
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	61	57	54	57	36	32	32
Errores por Dirección	3	4	2	5	12	11	11
Errores por Intensidad	58	53	52	52	24	21	21
Sobreestimado	0	0	0	1	7	6	6
Subestimado	58	53	52	51	17	15	15
% Acierto	69	68	73	67	55	60	60

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >6 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
V _{METAR} >6 kt	348	348	348	348	348	348	348
Hay dato del Modelo	275	260	287	264	116	116	116
Acierto	180	167	196	164	55	59	59
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	95	93	91	100	61	57	57
Errores por Dirección	8	10	5	13	21	17	17
Errores por Intensidad	87	83	86	87	40	40	40
Sobreestimado	2	2	4	3	17	17	17
Subestimado	85	81	82	84	23	23	23
% Acierto	65	64	68	62	47	51	51

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >4 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
V _{METAR} >4 kt	439	439	439	439	439	439	439
Hay dato del Modelo	346	332	366	342	145	146	146
Acierto	211	200	236	204	65	72	72
Acierto - VRB	0	0	0	0	0	0	0
Errores Totales	135	132	130	138	80	74	74
Errores por Dirección	20	24	16	25	25	20	20
Errores por Intensidad	115	108	114	113	55	54	54
Sobreestimado	13	14	16	10	25	25	25
Subestimado	102	94	98	103	30	29	29
% Acierto	61	60	64	60	45	49	49

Análisis Conjunto Velocidad - Dirección							
Velocidad del Metar >2 kt							
	HAR00	HAR06	HAR12	HAR18	IFS00	IFS12	
V _{METAR} >2 kt	507	507	507	507	507	507	507
Hay dato del Modelo	396	381	423	394	164	165	165
Acierto	213	204	240	211	65	72	72
Acierto - VRB	3	3	5	5	3	2	2
Errores Totales	180	174	178	178	96	91	91
Errores por Dirección	23	26	21	26	25	20	20
Errores por Intensidad	157	148	157	152	71	71	71
Sobreestimado	46	45	49	40	38	40	40
Subestimado	111	103	108	112	33	31	31
% Acierto	54	54	57	54	40	44	44

ANEXO II

AEROPUERTO JEREZ - ANÁLISIS POR SECTORES

	Análisis Sectores- Primera parte																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	124	111	63	57	124	114	64	56	124	112	61	54	124	116	54	47	124	44	15	34	124	44	17	39
Sector NE	17	11	3	27	17	15	7	47	17	16	6	38	17	16	8	50	17	6	3	50	17	6	3	50
Sector E	26	15	11	73	26	12	10	83	26	17	12	71	26	17	10	59	26	7	6	86	26	7	5	71
Sector SE	39	24	20	83	39	21	16	76	39	25	19	76	39	27	21	78	39	15	14	93	39	15	13	87
Sector S	125	97	75	77	125	100	81	81	125	106	87	82	125	107	89	83	125	39	25	64	125	39	25	64
Sector SW	117	92	73	79	117	95	74	78	117	105	81	77	117	90	73	81	117	44	37	84	117	44	38	86
Sector W	125	92	85	92	125	77	69	90	125	94	86	91	125	72	68	94	125	43	33	77	125	44	33	75
Sector NW	35	31	27	87	35	30	26	87	35	31	25	81	35	31	26	84	35	14	10	71	35	14	8	57
VRB	118	89			118	92			118	101			118	91			118	36			118	34		
No METAR	108	82			108	85			108	91			108	93			108	27			108	27		
TOTAL	834	644			834	641			834	698			834	660			834	275			834	274		

	Análisis Sectores-Segunda parte - V>=10 kt																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	5	3	2	67	5	3	60	0	0	5	3	40	5	5	2	67	5	3	2	67	5	3	2	67
Sector NE	6	4	0	0	6	6	3	50	6	6	2	33	6	6	4	67	6	1	1	100	6	1	1	100
Sector E	11	6	6	100	11	6	5	83	11	6	6	100	11	6	4	67	11	3	3	100	11	3	3	100
Sector SE	22	17	14	82	22	16	13	81	22	17	14	82	22	18	15	83	22	6	6	100	22	6	6	100
Sector S	54	41	37	90	54	43	40	93	54	45	45	100	54	47	44	94	54	15	12	80	54	15	11	73
Sector SW	53	43	38	88	53	44	39	89	53	49	42	86	53	42	38	90	53	19	16	84	53	19	18	95
Sector W	56	45	43	96	56	35	32	91	56	40	39	98	56	34	34	100	56	17	16	94	56	17	15	88
Sector NW	4	4	4	100	4	4	4	100	4	4	4	100	4	4	4	100	4	2	1	50	4	2	2	100
VRB	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		
TOTAL	211	163			211	159			211	170			211	162			211	66			211	66		

	Análisis Sectores-Segunda parte - V>=8 kt																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	12	10	8	80	12	12	9	75	12	10	7	70	12	12	9	75	12	5	3	60	12	5	3	60
Sector NE	8	5	0	0	8	8	4	50	8	8	3	38	8	8	5	63	8	2	1	50	8	2	1	50
Sector E	14	7	7	100	14	7	6	86	14	8	8	100	14	9	6	67	14	3	3	100	14	3	3	100
Sector SE	28	19	16	84	28	17	14	82	28	19	16	84	28	21	18	86	28	9	9	100	28	9	9	100
Sector S	77	59	49	83	77	59	51	86	77	64	62	97	77	66	62	94	77	23	17	74	77	23	18	78
Sector SW	74	62	53	85	74	63	53	84	74	69	57	83	74	58	51	88	74	28	24	86	74	28	25	89
Sector W	94	71	68	96	94	58	52	90	94	68	66	97	94	54	53	98	94	32	26	81	94	33	25	76
Sector NW	15	15	14	93	15	14	13	93	15	15	13	87	15	15	14	93	15	5	4	80	15	5	5	100
VRB	2	2			2	2			2	2			2	1			2	0			2	0		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		
TOTAL	324	250			324	240			324	263			324	244			324	107			324	108		

AEROPUERTO ROTA - ANÁLISIS POR SECTORES

	Análisis Sectores- Primera parte																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	60	55	40	73	60	57	44	77	60	52	37	71	60	57	41	72	60	23	16	70	60	23	14	61
Sector NE	40	29	17	59	40	34	27	79	40	38	28	74	40	36	23	64	40	13	5	38	40	13	6	46
Sector E	76	48	35	73	76	46	34	74	76	56	42	75	76	57	43	75	76	21	16	76	76	23	16	70
Sector SE	77	53	37	70	77	47	34	72	77	56	43	77	77	58	42	72	77	28	17	61	77	29	18	62
Sector S	94	63	42	67	94	71	45	63	94	75	52	69	94	76	55	72	94	32	23	72	94	32	20	63
Sector SW	109	88	75	85	109	93	79	85	109	101	90	89	109	87	74	85	109	36	27	75	109	37	30	81
Sector W	251	195	181	93	251	187	174	93	251	206	197	96	251	183	172	94	251	80	73	91	251	80	76	95
Sector NW	57	54	52	96	57	51	48	94	57	54	53	98	57	52	48	92	57	19	16	84	57	19	18	95
VRB	68	59			68	55			68	60			68	54			68	22			68	22		
No METAR	2	1			2	1			2	1			2	0			2	0			2	0		

	Análisis Sectores-Segunda parte - V>=10 kt																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
Sector NE	4	2	1	50	4	3	1	33	4	4	2	50	4	4	2	50	4	2	1	50	4	2	1	50
Sector E	38	23	23	100	38	18	16	89	38	23	21	91	38	24	24	100	38	12	11	92	38	12	11	92
Sector SE	45	28	22	79	45	20	17	85	45	28	25	89	45	30	25	83	45	16	12	75	45	16	10	63
Sector S	58	37	26	70	58	44	32	73	58	45	35	78	58	47	35	74	58	18	14	78	58	18	14	78
Sector SW	61	50	45	90	61	50	46	92	61	55	50	91	61	46	39	85	61	20	15	75	61	21	19	90
Sector W	133	120	116	97	133	110	107	97	133	116	115	99	133	103	101	98	133	42	40	95	133	42	42	100
Sector NW	13	13	13	100	13	13	13	100	13	13	13	100	13	13	13	100	13	5	4	80	13	5	4	80
VRB	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		

	Análisis Sectores-Segunda parte - V>=8 kt																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	8	8	8	100	8	8	8	100	8	5	5	100	8	8	8	100	8	2	2	100	8	2	2	100
Sector NE	10	7	6	86	10	8	6	75	10	10	8	80	10	10	8	80	10	2	1	50	10	2	1	50
Sector E	47	29	27	93	47	24	19	79	47	31	26	84	47	32	29	91	47	13	12	92	47	13	11	85
Sector SE	56	36	26	72	56	28	22	79	56	37	29	78	56	39	29	74	56	23	16	70	56	23	13	57
Sector S	70	46	31	67	70	53	36	68	70	54	40	74	70	56	41	73	70	22	16	73	70	22	16	73
Sector SW	78	64	58	91	78	66	60	91	78	72	66	92	78	60	51	85	78	26	20	77	78	27	24	89
Sector W	198	162	156	96	198	152	146	96	198	166	163	98	198	148	145	98	198	63	58	92	198	63	61	97
Sector NW	26	26	25	96	26	26	25	96	26	25	25	100	26	26	25	96	26	10	9	90	26	10	9	90
VRB	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		

AEROPUERTO MÁLAGA - ANÁLISIS POR SECTORES

	Análisis Sectores- Primera parte																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00			ISF12				
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	46	36	5	14	46	34	3	9	46	40	6	15	46	35	6	17	46	15	0	0	46	15	1	7
Sector NE	17	13	3	23	17	13	3	23	17	15	2	13	17	12	2	17	17	3	0	0	17	3	0	0
Sector E	99	63	51	81	99	63	47	75	99	71	50	70	99	75	57	76	99	35	20	57	99	35	18	51
Sector SE	206	165	143	87	206	168	143	85	206	178	152	85	206	172	149	87	206	71	42	59	206	71	44	62
Sector S	65	43	15	35	65	39	12	31	65	49	16	33	65	38	10	26	65	23	15	65	65	23	10	43
Sector SW	10	8	4	50	10	7	4	57	10	8	2	25	10	6	1	17	10	1	0	0	10	1	0	0
Sector W	211	181	158	87	211	170	142	84	211	180	149	83	211	169	141	83	211	67	23	34	211	66	29	44
Sector NW	84	77	60	78	84	79	55	70	84	78	59	76	84	78	60	77	84	31	18	58	84	32	20	63
VRB	96	70			96	68			96	79			96	73			96	29			96	29		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		

	Análisis Sectores-Segunda parte - V>=10 kt																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00			ISF12				
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	2	2	2	100	2	2	2	100	2	2	2	100	2	2	2	100	2	1	0	0	2	1	0	0
Sector NE	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
Sector E	27	16	15	94	27	17	15	88	27	21	18	86	27	23	21	91	27	9	6	67	27	9	6	67
Sector SE	25	19	19	100	25	19	19	100	25	22	22	100	25	19	19	100	25	12	9	75	25	12	9	75
Sector S	18	12	1	8	18	13	2	15	18	14	4	29	18	10	0	0	18	6	5	83	18	6	3	50
Sector SW	2	2	1	50	2	2	1	50	2	2	1	50	2	2	1	50	2	0	0	0	2	0	0	0
Sector W	65	60	60	100	65	56	54	96	65	56	55	98	65	54	54	100	65	19	4	21	65	19	7	37
Sector NW	27	27	24	89	27	27	24	89	27	26	23	88	27	27	24	89	27	10	5	50	27	10	7	70
VRB	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		

	Análisis Sectores-Segunda parte - V>=8 kt																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00			ISF12				
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	4	4	2	50	4	4	2	50	4	4	2	50	4	4	3	75	4	1	0	0	4	1	0	0
Sector NE	4	1	0	0	4	1	0	0	4	3	0	0	4	1	0	0	4	2	0	0	4	2	0	0
Sector E	44	30	27	90	44	31	25	81	44	36	29	81	44	39	35	90	44	15	10	67	44	15	9	60
Sector SE	78	66	63	95	78	66	62	94	78	71	65	92	78	64	62	97	78	26	19	73	78	26	18	69
Sector S	33	21	5	24	33	19	5	26	33	24	9	38	33	17	4	24	33	11	9	82	33	11	5	45
Sector SW	3	2	1	50	3	2	1	50	3	3	1	33	3	2	1	50	3	0	0	0	3	0	0	0
Sector W	113	100	96	96	113	90	84	93	113	95	90	95	113	85	79	93	113	37	14	38	113	37	18	49
Sector NW	45	45	41	91	45	45	39	87	45	43	38	88	45	45	40	89	45	18	10	56	45	18	11	61
VRB	1	1			1	1			1	1			1	1			1	0			1	0		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		

	Análisis Sectores-Segunda parte - V>=6 kt																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00			ISF12				
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	6	6	2	33	6	6	2	33	6	6	3	50	6	6	4	67	6	1	0	0	6	1	0	0
Sector NE	7	4	0	0	7	4	0	0	7	6	0	0	7	4	0	0	7	2	0	0	7	2	0	0
Sector E	68	43	36	84	68	44	34	77	68	50	38	76	68	53	46	87	68	24	16	67	68	24	14	58
Sector SE	138	113	103	91	138	111	102	92	138	119	107	90	138	115	107	93	138	46	32	70	138	46	32	70
Sector S	47	32	11	34	47	28	9	32	47	34	13	38	47	23	6	26	47	17	13	76	47	17	7	41
Sector SW	4	3	2	67	4	3	2	67	4	4	1	25	4	3	1	33	4	0	0	0	4	0	0	0
Sector W	150	133	125	94	150	123	111	90	150	127	117	92	150	118	107	91	150	50	19	38	150	50	23	46
Sector NW	54	53	49	92	54	53	45	85	54	51	45	88	54	53	47	89	54	19	11	58	54	19	12	63
VRB	1	1			1	1			1	1			1	1			1	0			1	0		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		

AEROPUERTO ALMERÍA - ANÁLISIS POR SECTORES

	Análisis Sectores- Primera parte																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	62	48	18	38	62	48	17	35	62	53	20	38	62	52	19	37	62	24	11	46	62	25	13	52
Sector NE	56	44	26	59	56	41	25	61	56	46	35	76	56	46	27	59	56	19	15	79	56	18	15	83
Sector E	115	79	65	82	115	81	62	77	115	87	71	82	115	88	71	81	115	39	27	69	115	38	29	76
Sector SE	26	19	12	63	26	18	11	61	26	20	15	75	26	19	15	79	26	9	3	33	26	9	4	44
Sector S	102	79	55	70	102	74	56	76	102	88	65	74	102	72	55	76	102	28	20	71	102	28	20	71
Sector SW	166	142	120	85	166	143	127	89	166	150	128	85	166	138	122	88	166	57	45	79	166	57	43	75
Sector W	30	27	20	74	30	27	17	63	30	27	19	70	30	26	19	73	30	7	3	43	30	7	4	57
Sector NW	8	8	5	63	8	8	4	50	8	8	5	63	8	8	5	63	8	2	1	50	8	2	1	50
VRB	108	88			108	85			108	89			108	89			108	37			108	38		
No METAR	161	123			161	116			161	131			161	122			161	52			161	52		

	Análisis Sectores-Segunda parte - V>=10 kt																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	2	2	2	100	2	2	2	100	2	2	2	100	2	2	2	100	2	1	0	0	2	1	0	0
Sector NE	23	16	14	88	23	15	13	87	23	17	17	100	23	17	14	82	23	9	9	100	23	9	8	89
Sector E	90	65	56	86	90	64	54	84	90	69	61	88	90	70	60	86	90	30	23	77	90	30	25	83
Sector SE	9	8	6	75	9	8	7	88	9	8	6	75	9	9	7	78	9	4	1	25	9	4	1	25
Sector S	13	9	4	44	13	9	4	44	13	10	5	50	13	11	8	73	13	4	1	25	13	4	2	50
Sector SW	96	80	76	95	96	87	86	99	96	90	89	99	96	84	82	98	96	29	27	93	96	29	28	97
Sector W	15	15	11	73	15	15	11	73	15	15	11	73	15	15	11	73	15	3	2	67	15	3	2	67
Sector NW	2	2	2	100	2	2	2	100	2	2	2	100	2	2	2	100	2	1	1	100	2	1	1	100
VRB	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		

	Análisis Sectores-Segunda parte - V>=8 kt																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	4	4	4	100	4	3	3	100	4	4	4	100	4	4	4	100	4	2	0	0	4	2	1	50
Sector NE	27	20	16	80	27	19	15	79	27	21	21	100	27	21	16	76	27	11	11	100	27	11	10	91
Sector E	100	71	61	86	100	71	58	82	100	76	65	86	100	77	65	84	100	33	25	76	100	33	27	82
Sector SE	13	10	7	70	13	10	8	80	13	11	8	73	13	11	9	82	13	5	2	40	13	5	2	40
Sector S	28	18	11	61	28	18	12	67	28	23	17	74	28	20	15	75	28	8	4	50	28	8	5	63
Sector SW	126	106	96	91	126	112	107	96	126	116	109	94	126	107	98	92	126	42	40	95	126	42	40	95
Sector W	21	20	15	75	21	20	13	65	21	20	14	70	21	20	15	75	21	4	2	50	21	4	2	50
Sector NW	4	4	4	100	4	4	4	100	4	4	4	100	4	4	4	100	4	1	1	100	4	1	1	100
VRB	1	1			1	1			1	1			1	1			1	1			1	1		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		

AEROPUERTO MELILLA - ANÁLISIS POR SECTORES

	Análisis Sectores- Primera parte																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	46	36	5	14	46	40	5	13	46	39	6	15	46	41	5	12	46	15	2	13	46	14	5	36
Sector NE	95	72	60	83	95	70	57	81	95	77	63	82	95	79	58	73	95	32	24	75	95	32	25	78
Sector E	127	95	77	81	127	95	79	83	127	106	91	86	127	106	88	83	127	42	34	81	127	43	37	86
Sector SE	24	17	10	59	24	17	9	53	24	18	7	39	24	18	7	39	24	5	2	40	24	5	3	60
Sector S	0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
Sector SW	11	8	4	50	11	10	6	60	11	11	8	73	11	10	5	50	11	2	1	50	11	2	1	50
Sector W	194	162	153	94	194	148	139	94	194	163	156	96	194	135	125	93	194	66	40	61	194	66	41	62
Sector NW	27	26	14	54	27	26	16	62	27	24	13	54	27	26	17	65	27	8	5	63	27	8	6	75
VRB	36	31			36	32			36	32			36	32			36	12			36	12		
No METAR	274	210			274	204			274	229			274	213			274	95			274	95		

	Análisis Sectores-Segunda parte - V>=10 kt																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	3	3	0	0	3	3	0	0	3	3	1	33	3	3	0	0	3	0	0	0	3	0	0	0
Sector NE	8	4	3	75	8	4	3	75	8	4	3	75	8	5	4	80	8	3	2	67	8	3	2	67
Sector E	11	7	7	100	11	8	8	100	11	10	10	100	11	11	11	100	11	4	4	100	11	4	4	100
Sector SE	0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
Sector S	0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
Sector SW	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0		1	0	0	
Sector W	126	112	110	98	126	99	97	98	126	111	111	100	126	91	89	98	126	46	28	61	126	46	29	63
Sector NW	4	4	3	75	4	4	3	75	4	4	3	75	4	4	3	75	4	0	0		4	0	0	
VRB	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		

	Análisis Sectores-Segunda parte - V>=8 kt																							
	HM00				HM06				HM12				HM18				ISF00				ISF12			
	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto	METAR	Hay Modelo	Aciertos	% Acierto
Sector N	5	5	2	40	5	5	1	20	5	5	2	40	5	5	1	20	5	2	0	0	5	2	2	100
Sector NE	23	18	16	89	23	17	15	88	23	18	16	89	23	19	15	79	23	11	10	91	23	11	10	91
Sector E	40	28	27	96	40	27	27	100	40	32	32	100	40	34	33	97	40	10	10	100	40	10	10	100
Sector SE	3	2	0	0	3	2	0	0	3	2	0	0	3	2	0	0	3	2	1	50	3	2	1	50
Sector S	0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0	
Sector SW	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0		1	0	0	
Sector W	151	128	126	98	151	115	113	98	151	128	128	100	151	102	100	98	151	52	33	63	151	52	35	67
Sector NW	12	12	9	75	12	12	9	75	12	12	8	67	12	12	9	75	12	3	3	100	12	3	3	100
VRB	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		
No METAR	0	0			0	0			0	0			0	0			0	0			0	0		

