

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Verificación del modelo de vientos HIRLAM
(AEMET) en el Estrecho de Gibraltar durante el
otoño

Autor: Juan José Jiménez Roldán

Tutor: Manuel Toscano Jiménez

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

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Verificación del modelo de vientos HIRLAM (AEMET) en el Estrecho de Gibraltar durante el otoño

Autor:

Juan José Jiménez Roldán

Tutor:

Manuel Toscano Jiménez

Profesor Titular de Universidad

Dep. de Física Aplicada III
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2016

Proyecto Fin de Carrera: Verificación del modelo de vientos HIRLAM (AEMET) en el Estrecho de Gibraltar
durante el otoño

Autor: Juan José Jiménez Roldán

Tutor: Manuel Toscano Jiménez

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2013

El Secretario del Tribunal

A mis padres

Agradecimientos

Hace varios años tomé la decisión de empezar una nueva etapa en mi vida que ahora está llegando a su fin. Cuando decidí convertirme en ingeniero sabía que sería una época dura, donde tendría que esforzarme al máximo para superar de forma satisfactoria las dificultades que se estaban por plantear. Estos años se han sucedido según estaba previsto, un camino lleno de altibajos, donde sin el apoyo de algunas personas esto no sería posible. Por ello, quiero dedicar las siguientes líneas a agradecerles toda la ayuda y apoyo prestado.

En primer lugar, a mi tutor Don Manuel Toscano que me ha ayudado a realizar este proyecto y a aumentar aún más si cabe mi interés por la Meteorología.

A mis compañeros de clase, porque gracias a ellos, las clases, los trabajos y las épocas de exámenes interminables se han hecho mucho más amenas. Y porque gracias a la ayuda que nos hemos proporcionado, todos hemos logrado el objetivo. Un placer haberos conocido y espero que esto no acabe aquí.

A mis amigos, tanto a los que veo más a menudo, como con los que he ido perdiendo el contacto por diversos motivos de la vida, pero que todos me han regalado tan buenos momentos.

A todos los docentes, desde que empecé en el colegio hasta el día de hoy porque todos han aportado su granito de arena en mi formación.

Y por último, y más importante, a mi familia, en especial a mis padres. Ellos han sido los encargados de proporcionar todos y cada uno de los medios necesarios para realizar mis estudios, me han brindado toda la ayuda posible, me han animado en los momentos difíciles y han conseguido que únicamente tenga que centrar mis preocupaciones en estudiar. Sin vosotros, nada hubiera sido posible.

Todas las personas mencionadas, además de muchas otras, han sido en gran medida responsables de hacer un poco más fácil cada año superado en esta etapa universitaria, de la que me llevo gran cantidad de conocimientos, experiencia y que me ha permitido crecer y madurar como persona.

A todos, gracias.

Juan José Jiménez Roldán

Sevilla, 2016

El Estrecho de Gibraltar es una zona donde debido a diversas condiciones geográficas uno de los fenómenos meteorológicos más importantes como es el viento cobra una gran repercusión.

El viento asume un gran papel en Ingeniería, sobre todo en lo referente a la Ingeniería Energética. En la actualidad cada vez miramos con más recelo las formas de generación de energía convencionales (térmica, nuclear...) y se están apoyando las energías renovables. Es por ello que, estudiar el comportamiento del viento es de gran ayuda para el desarrollo de futuras plantaciones eólicas.

Como se ha dicho, en Andalucía, con el Estrecho de Gibraltar, contamos con una zona importante para explotar este tipo de Energía. Es por ello, que se ha decidido hacer un estudio del comportamiento del viento en esta zona que nos pueda permitir en un futuro para mejorar la energía Eólica del Estrecho.

Para realizar este análisis nos hemos servido de la ayuda y los datos proporcionados por AEMET, la Agencia Estatal de Meteorología en España. AEMET se encarga de realizar las predicciones a nivel nacional y ejerce de autoridad aeronáutica, entre otras tareas. Todo esto hace que las tareas de verificación de modelos sean secundarias.

Por tanto, se han recogido los valores y dirección del viento proporcionados por AEMET durante 80 días cada hora. Desde el 3 de Octubre hasta el 21 de Diciembre, recogiendo el comportamiento en la zona durante el Otoño. Para obtener unos buenos resultados de la zona se han elegido 4 estaciones situadas estratégicamente. En primer lugar, se ha elegido Tarifa, ya que se encuentra en pleno Estrecho de Gibraltar, por otro lado, San Roque y Barbate, al encontrarse al Este y al Oeste, respectivamente. Para concluir, se ha elegido Ceuta, para tener una estación en el continente africano.

Con estas estaciones tras los análisis se han intentado identificar comportamientos repetitivos en cada una de estas estaciones y, por tanto, en el Estrecho de Gibraltar, datos que nos pueden ser de ayuda para estudios energéticos en un futuro.

The Strait of Gibraltar is an area where, due to different geographical conditions, one of the most important meteorological phenomena, wind, has a major impact.

The wind plays a major role in engineering, especially in the field of Energy Engineering. Presently, we are less supportive of conventional forms of energy generation (thermal, nuclear...) and more supportive of renewable energy. That is why, studying the behaviour of the wind is of great help to the development of future wind plantations.

As such, with the Strait of Gibraltar we have an important area to exploit this type of energy in Andalusia. That is why, it has been decided to make a study of wind behaviour in this area so that we are prepared to improve wind energy in the Strait in the future.

To make this analysis we have used help and data provided by AEMET, the State Meteorological Agency in Spain. AEMET is responsible for making national predictions, is the aerospace authority, among other tasks. These causes the model verification tasks are secondary.

Therefore, the wind's strength and direction have been collected by AEMET for 80 days at hourly intervals. From October 3 to December 21, collecting behaviour in the area during the autumn. To get representative data for the area we have chosen four, strategically located stations. Firstly, Tarifa was chosen because it is located in the middle of the Strait of Gibraltar, San Roque and Barbate, were chosen to represent the east and west sides of the Strait, respectively. In addition, we have chosen Ceuta, to provide a station on the African continent.

With data from these stations, we have attempted to identify repetitive behaviours at each of these stations and, therefore in the Strait of Gibraltar. Furthermore, we believe that this information can be helpful for energy studies in the future.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
Notación	xxi
1 Instrucciones para Cubierta y Portada	1
2 Aspectos Generales sobre la Energía Eólica	3
2.1. Historia de la Energía Eólica	3
2.2. Producción y obtención de la Energía Eólica	4
2.2.1. Estructura aerogenerador	4
2.2.2. Potencia del viento en un aerogenerador	5
2.3. Factores que influyen en un parque eólico	5
2.4. Ventajas y Desventajas de la Energía Eólica	6
• Energía Eólica en Andalucía	7
3 Caracterización General de los Vientos en el Estrecho de Gibraltar	9
3.1 Orografía	9
3.2 Atlántico-Mediterráneo	10
3.3 Brisas	11
3.3.1 Brisa diurna o de mar	11
3.3.2 Brisa nocturna o de tierra	12
3.4. Otras influencias	12
4 Metodología	13
4.1 Hipótesis de partida	14
4.2 Proceso	15
4.2.1 Gráficas	15
4.2.2 Error absoluto y relativo	15
4.2.3 Tasa de acierto	16
4.2.4 Admisibilidad	17
4.2.5 Sobrepredicción y Subpredicción	17
4.2.6 Estudio del periodo	18
4.2.7 Programación	19
4.3. Presentación de las Estaciones Meteorológicas	20
5 Análisis de Resultados	21
5.1. Tarifa	21
5.1.1 Dirección del viento	22
5.1.1.1 Levante	22
5.1.1.2 Poniente	23
5.1.1.3 Cambiante	24

5.1.2	Intensidad del viento	26
5.1.2.1	Flojo.....	26
5.1.2.2	Moderado.....	27
5.1.2.3	Fuerte	28
5.1.3	Comparativa otoño-primavera	29
5.2.	<i>San Roque</i>	29
5.2.1	Dirección del viento.....	29
5.2.1.1	Levante	30
5.2.1.2	Poniente.....	32
5.2.1.3	Cambiante.....	34
5.2.2	Intensidad del viento	35
5.2.2.1	Muy flojo.....	35
5.2.2.2	Flojo y moderado.....	36
5.2.3	Comparación otoño-primavera	37
5.3.	<i>Ceuta</i>	37
5.3.1	Dirección del viento.....	37
5.3.1.1	Levante	38
5.3.1.2	Poniente.....	39
5.3.1.3	Cambiante.....	40
5.3.2	Intensidad del viento	41
5.3.2.1	Muy flojo.....	41
5.3.2.2	Flojo.....	42
5.3.3	Comparación otoño-primavera	43
5.4.	<i>Barbate</i>	43
5.4.1	Dirección del viento.....	43
5.4.1.1	Levante	43
5.4.1.2	Poniente.....	45
5.4.1.3	Cambiante.....	46
5.4.2	Intensidad del viento	47
5.4.2.1	Muy flojo.....	48
5.4.2.2	Flojo.....	49
5.4.2.3	Moderado.....	50
5.4.3	Comparación otoño-primavera	50
6	Conclusiones	53
6.1.	<i>Tarifa</i>	56
6.2.	<i>San Roque</i>	56
6.3.	<i>Ceuta</i>	60
6.4.	<i>Barbate</i>	60
6.5.	<i>Resumen de las conclusiones</i>	61
7	Limitaciones del Estudio y Trabajos Futuros	65
8	Bibliografía.....	69
9	Anexos	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4-1. Ejemplo método 1	16
Tabla 4-2. Ejemplo método 2	17
Tabla 4-3. Ejemplo definición día en cuanto al error	18
Tabla 5-1. Reparto intensidades del viento	21
Tabla 5-2. Viento levante en Tarifa	22
Tabla 5-3. Brisas en Tarifa para levante	23
Tabla 5-4. Viento poniente en Tarifa	23
Tabla 5-5. Brisas en Tarifa para poniente	24
Tabla 5-6. Viento cambiante en Tarifa	25
Tabla 5-7. Brisas en Tarifa para cambiante	25
Tabla 5-8. Viento flojo en Tarifa	26
Tabla 5-9. Viento moderado en Tarifa	27
Tabla 5-10. Viento fuerte en Tarifa	28
Tabla 5-11. Viento levante en San Roque	30
Tabla 5-12. Brisas en San Roque para levante	30
Tabla 5-13. Viento poniente en San Roque	32
Tabla 5-14. Brisas en San Roque para poniente	32
Tabla 5-15. Viento cambiante en San Roque	34
Tabla 5-16. Brisas en San Roque para cambiante	34
Tabla 5-17. Viento muy flojo en San Roque	35
Tabla 5-18. Viento flojo y moderado en San Roque	36
Tabla 5-19. Viento levante en Ceuta	38
Tabla 5-20. Brisas en Ceuta para levante	38
Tabla 5-21. Viento poniente en Ceuta	39
Tabla 5-22. Brisas en Ceuta para poniente	39
Tabla 5-23. Viento cambiante en Ceuta	40

Tabla 5-24. Brisas en Ceuta para cambiante	40
Tabla 5-25. Viento muy flojo en Ceuta	41
Tabla 5-26. Viento flojo en Ceuta	42
Tabla 5-27. Viento levante en Barbate	44
Tabla 5-28. Brisas en Barbate para levante	44
Tabla 5-29. Viento poniente en Barbate	45
Tabla 5-30. Brisas en Barbate para poniente	46
Tabla 5-31. Viento cambiante en Barbate	46
Tabla 5-32. Brisas en Barbate para cambiante	47
Tabla 5-33. Viento muy flojo en Barbate	48
Tabla 5-34. Viento flojo en Barbate	49
Tabla 5-35. Viento moderado en Barbate	50
Tabla 9-1. Resumen Tarifa	71
Tabla 9-2. Resumen San Roque	74
Tabla 9-3. Resumen Ceuta	77
Tabla 9-4. Resumen Barbate	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Estructura aerogenerador	4
Figura 2-2. Reparto potencia en CCAA	7
Figura 2-3. Reparto estaciones eólicas en Andalucía	8
Figura 3-1. Orografía Estrecho de Gibraltar	10
Figura 3-2. Efecto Venturi	10
Figura 3-3. Atlántico-Mediterráneo	11
Figura 3-4. Brisa diurna	12
Figura 3-5. Brisa nocturna	12
Figura 4-1. Ejemplo gráfica	15
Figura 4-2. Localización estaciones meteorológicas	20
Figura 5-1. Ejemplo Tarifa con levante	23
Figura 5-2. Ejemplo Tarifa con poniente	24
Figura 5-3. Ejemplo Tarifa con cambiante	25
Figura 5-4. Ejemplo Tarifa con viento flojo	27
Figura 5-5. Ejemplo Tarifa con viento moderado	28
Figura 5-6. Ejemplo Tarifa con viento fuerte	29
Figura 5-7. Errores por viento levante en San Roque	31
Figura 5-8. Ejemplo San Roque con levante	31
Figura 5-9. Errores por viento poniente en San Roque	33
Figura 5-10. Ejemplo San Roque con poniente	33
Figura 5-11. Ejemplo San Roque con cambiante	35
Figura 5-12. Ejemplo San Roque con viento muy flojo	36
Figura 5-13. Ejemplo San Roque con viento flojo y moderado	37
Figura 5-14. Ejemplo Ceuta con levante	38
Figura 5-15. Ejemplo Ceuta con poniente	40
Figura 5-16. Ejemplo Ceuta con cambiante	41
Figura 5-17. Ejemplo Ceuta con viento muy flojo	42

Figura 5-18. Ejemplo Ceuta con viento flojo	43
Figura 5-19. Errores por viento levante en Barbate	44
Figura 5-20. Ejemplo Barbate con levante	45
Figura 5-21. Ejemplo Barbate con poniente	46
Figura 5-22. Ejemplo Barbate con cambiante	47
Figura 5-23. Ejemplo Barbate con viento muy flojo	48
Figura 5-24. Ejemplo Barbate con viento flojo	49
Figura 5-25. Ejemplo Barbate con viento moderado	50
Figura 6-1. Efecto brisas en el Estrecho con levante	53
Figura 6-2. Efecto brisas en el Estrecho con poniente	54
Figura 6-3. Error debido al filtro	55
Figura 6-4. Efecto brisas en San Roque ante viento levante	57
Figura 6-5. Efecto brisas en San Roque ante viento poniente	58
Figura 6-6. Efecto brisa en San Roque con levante en un día concreto	58
Figura 6-7. Efecto brisa en San Roque con poniente en un día concreto	59
Figura 6-8. Demostración de los resultados de predicción para distintas intensidades de viento	59
Figura 6-9. Efecto brisa en Barbate con levante en un día concreto	61

Obs_i	Dato de observación para una hora i
$Obsfil_i$	Dato de observación filtrada para una hora i
Predicción 1	Datos de predicción para un intervalo horario inferior a 24 horas
Predicción 2	Datos de predicción para un intervalo horario comprendido entre 48 y 24 horas
SOBP	Día cuya predicción es considerada como sobrepredimensionada
SUBP	Día cuya predicción es considerada como subpredimensionada
IGUAL	Día cuyo error no es considerado ni sobrepredimensionado ni subpredimensionado
P1	Resultado de la predicción para un intervalo horario inferior a 24 horas mediante el método 1
P2	Resultado de la predicción para un intervalo horario comprendido entre 48 y 24 horas mediante el método 1
P1F	Resultado de la predicción para un intervalo horario inferior a 24 horas mediante el método 1 y con el uso del filtro
P2F	Resultado de la predicción para un intervalo horario comprendido entre 48 y 24 horas mediante el método 1 y con el uso del filtro
P1R	Resultado de la predicción para un intervalo horario inferior a 24 horas mediante el método 2
P2R	Resultado de la predicción para un intervalo horario comprendido entre 48 y 24 horas mediante el método 2
P1RF	Resultado de la predicción para un intervalo horario inferior a 24 horas mediante el método 2 y con el uso del filtro
P2RF	Resultado de la predicción para un intervalo horario comprendido entre 48 y 24 horas mediante el método 2 y con el uso del filtro

1 INTRODUCCIÓN

El término Meteorología proviene del libro escrito alrededor del 340 a.C. por Aristóteles cuyo título es “Meteorológica”, donde presenta observaciones y pensamientos sobre los fenómenos atmosféricos y su origen. *Meteoron* en griego hace referencia al objeto “altos en el cielo”, entre la Tierra y el reino de las estrellas, mientras que *logos* significa estudio. Otra obra pionera en el estudio de la Meteorología fue la publicada por el discípulo de Aristóteles, Teofrasto, llamada “Libro de las señales” donde se exponen temas relacionados sobre la previsión del tiempo en base a las observaciones de los fenómenos meteorológicos.

El viento, entendido como energía, desempeña un papel importante en las primeras civilizaciones. En la Antigüedad, aprovechaban la fuerza del viento para desplazarse mediante el uso de velas en los barcos. De todos es sabido, la importancia del comercio en las culturas sumerias y egipcias, una actividad que tuvo su gran apogeo con el comercio fluvial, que transcurría por los cursos de los ríos Tigris, Éufrates y Nilo y donde el viento tuvo gran importancia.

La civilización griega asociaba el viento, así como los otros fenómenos meteorológicos a la voluntad de los dioses. Es por ello, que no hay un gran interés en esta época por el desarrollo de aplicaciones tecnológicas meteorológicas, así como, por el estudio de la previsión de estos fenómenos. Este desconocimiento de la cultura occidental contrasta con los ingenios impulsados por el viento, que hicieron su aparición en las culturas orientales. En Mongolia utilizaban las ruedas de oraciones y su objetivo era producir sonidos rituales durante las celebraciones religiosas. La escuela de Alejandría, en concreto Herón, siglo II D.C., crea una máquina neumática conocida como el Auneriom, que giraba impulsada por la fuerza del viento, y que debía su movimiento a un rotor de eje horizontal, parecidos a los molinos mediterráneos y, en general, a los europeos. Este precedente es el más antiguo encontrado en la historia de la humanidad, pero hay que esperar otros siete siglos más para encontrar molinos de viento en pleno funcionamiento.

Estos han sido los precursores de los famosos molinos de viento que poblaban gran parte de la geografía española. Los molinos eran un artefacto o máquina usado para moler utilizando la energía del viento. El desarrollo de estos artefactos llevó a la creación de los aerogeneradores. Los aerogeneradores son generadores eléctricos que funcionan convirtiendo la energía cinética del viento en energía mecánica a través de una hélice y en energía eléctrica gracias a un alternador.

En cuanto a la medición del tiempo, el primer artefacto para la medida de la intensidad del viento fue el anemómetro construido en 1667 por Robert Hooke. En meteorología, se usan principalmente los anemómetros de cazoletas o de molinete, especie de diminuto molino de tres aspas con cazoletas sobre las cuales actúa la fuerza del viento; el número de vueltas puede ser leído directamente en un contador o registrado sobre una banda de papel (anemograma), en cuyo caso el aparato se denomina anemógrafo. Aunque también los hay de tipo electrónicos.

Durante la Historia, cada vez fue a mayor el interés por pronosticar el tiempo. Los antiguos métodos de predicción del tiempo usualmente tomaban en cuenta la experiencia de señalar patrones de eventos. Por ejemplo, un amanecer con cielo nublado de color rojizo se solía interpretar como el inicio de un día de mal tiempo. La experiencia acumulada por generaciones ayudaba a generar un pronóstico. De todos modos, estas predicciones no siempre se cumplían.

Con la llegada del desarrollo de los satélites meteorológicos se dejó atrás tales limitaciones, aunque nunca llegue a ser un conocimiento perfecto en el tiempo y el espacio. Francis Beaufort fue una de las personalidades que más acreditaron el nacimiento del pronóstico. Con los satélites meteorológicos surgieron las predicciones mediante modelos meteorológicos. La predicción meteorológica numérica hace referencia a los sistemas que usan datos meteorológicos actuales de los satélites para alimentar complejos modelos físico-matemáticos de la atmósfera para predecir la evolución meteorológica. Aunque los primeros esfuerzos por realizar predicciones utilizando este tipo de metodologías se remontan a la década de 1920, no fue hasta la llegada de la computación y de la simulación por ordenador cuando se pudieron implementar modelos que realizaran cálculos en tiempo real. La manipulación de grandes conjuntos de datos y la realización de cálculos avanzados con una resolución lo suficientemente detallada, y por tanto práctica en las previsiones meteorológicas, requiere del empleo de algunos de los mayores superordenadores del mundo. Las previsiones se calculan utilizando ecuaciones matemáticas de la física y dinámica de la atmósfera. Estas ecuaciones son no lineales y son imposibles de resolver con exactitud. Por consiguiente, los métodos numéricos obtienen soluciones aproximadas. Los modelos parten de datos obtenidos en radiosondeos, satélites meteorológicos, y observaciones meteorológicas en tierra. Las observaciones que están distribuidas de forma irregular se procesan por asimilación de datos y métodos de análisis objetivos que realizan un control de calidad y obtienen valores utilizables por los algoritmos matemáticos de los modelos numéricos. A continuación, estos datos se usan en el modelo como punto de partida para la previsión.

Algunos de los modelos numéricos de predicción, tanto a escalas global y regional, son utilizados para realizar previsiones para países del mundo entero. Uno de los modelos meteorológicos más utilizados es el denominado GFS (Global Forecast System), el cual puede consultarse libremente en su web y que es utilizado diariamente por multitud de personas y entidades.

Como se ha dicho anteriormente, para captar la fuerza del viento y transformarla en energía necesitamos un aerogenerador, pero antes de construirlo necesitamos saber donde ubicarlo. Para ello es fundamental conocer el régimen de vientos locales y en qué dirección y con qué fuerza soplan en un determinado lugar. Es un paso fundamental, ya que, elegir de manera equivocada el lugar de construcción de un parque eólico puede ocasionar que el rendimiento no sea el esperado. Una vez que el emplazamiento está elegido y todos los aerogeneradores están funcionando, se hace imprescindible contar con información de primera calidad para gestionar la producción eléctrica. Con velocidades excesivamente bajas no hay generación eólica y con velocidades muy altas se corre el riesgo de dañar alguna de las partes que conforman el aerogenerador. Como acabamos de ver, la meteorología juega un papel fundamental en todas y cada una de las fases de vida de un parque eólico, desde su nacimiento hasta su correcto funcionamiento pasando por la fase de construcción.

2 ASPECTOS GENERALES SOBRE LA ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica es la energía obtenida a partir del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas. En la actualidad, esta energía es utilizada principalmente para producir electricidad mediante aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución de energía eléctrica. Los parques eólicos construidos en tierra suponen una fuente de energía cada vez más barata y competitiva, e incluso más barata en muchas regiones que otras fuentes de energía convencionales. El auge de la energía eólica ha provocado también la planificación y construcción de parques eólicos marinos —a menudo conocidos como parques eólicos offshore por su nombre en inglés—, situados cerca de las costas. La energía del viento es más estable y fuerte en el mar que en tierra, y los parques eólicos marinos tienen un impacto visual menor, pero sus costes de construcción y mantenimiento son considerablemente mayores. Este tipo de energía es un recurso abundante, renovable y limpio que ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar fuentes de energía a base de combustibles fósiles.

La energía del viento es bastante estable y predecible a escala anual, aunque presenta variaciones significativas a escalas de tiempo menores. Diversas técnicas de control energético, como una mayor capacidad de almacenamiento de energía, una distribución geográfica amplia de los aerogeneradores, la disponibilidad de fuentes de energía de respaldo, la posibilidad de exportar o importar energía a regiones vecinas o la reducción de la demanda cuando la producción eólica es menor, pueden ayudar a mitigar en gran medida estos problemas. Adicionalmente, la **predicción meteorológica** permite a los gestores de la red eléctrica estar preparados frente a las previsibles variaciones en la producción eólica que puedan tener lugar a corto plazo.

2.1. Historia de la Energía Eólica

La energía eólica no es algo de reciente utilización para producir energía, es una de las energías más antiguas junto con la energía térmica. El viento se ha usado en la antigüedad como fuerza motriz para mover las velas de los barcos o para moverlas aspas de los molinos. Sin embargo, recientemente ha sufrido una revolución, a partir de los años ochenta del siglo XX este tipo de energía limpia experimentó un renacimiento.

La referencia de uso de energía eólica que se tiene proviene de un molino de viento usado en Afganistán para hacer funcionar un órgano. Posteriormente se fueron usando para moler trigo o extraer agua.

En Europa aparecieron los primeros molinos en el siglo XII. Los molinos fueron usados extensamente en Europa Occidental para moler trigo desde la década de 1180 en adelante. Basta recordar los famosos molinos de viento en las andanzas de Don Quijote. Aún siguen existiendo molinos de esa clase.

En Estados Unidos, el desarrollo de molinos de bombeo, reconocibles por sus múltiples velas metálicas, fue el

factor principal que permitió el desarrollo de la agricultura y la ganadería en grandes áreas de Norteamérica. Estos molinos también contribuyeron a la expansión del ferrocarril alrededor del mundo, cubriendo las necesidades de agua de las locomotoras a vapor.

Ya en el siglo XX, se produce el impulso definitivo para el aprovechamiento del viento como fuente de energía y es debido al encarecimiento del precio del petróleo. El primer generador instalado en España se realizó en Tarifa en 1985. Así de esta manera, se ha ido desarrollando en los posteriores años hasta llegar al punto en el que nos encontramos en la actualidad.

2.2. Producción y obtención de la Energía Eólica

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan desde zonas de alta presión atmosférica hacia zonas adyacentes de menor presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Los vientos se generan a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre debido a la radiación solar; entre el 1 y el 2 % de la energía proveniente del Sol se convierte en viento. Es necesario realizar un estudio profundo de las características del viento, su comportamiento estacional y sus variaciones diurnas y nocturnas, para obtener un aprovechamiento máximo de este recurso.

2.2.1. Estructura aerogenerador

La energía del viento se aprovecha mediante el uso de máquinas eólicas o aeromotores capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas operatrices o para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el más ampliamente utilizado en la actualidad, se usan las palas de los aerogeneradores para provocar el movimiento circular del rotor a través del par producido, que a su vez provoca la rotación del eje y así, acaba transformando la energía eólica en energía mecánica y finalmente, la energía mecánica en energía eléctrica.

En la siguiente figura se muestran los principales agentes que intervienen en la actual transformación de la energía cinética en energía eléctrica en un aerogenerador.

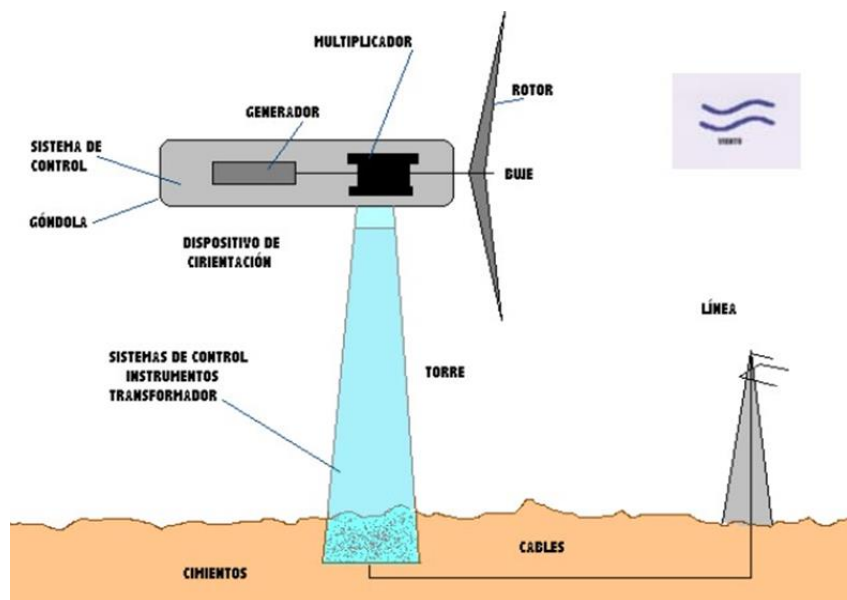


Figura 2-1. Estructura aerogenerador

El proceso que siguen los aerogeneradores en su funcionamiento se inicia con la fuerza del viento que acciona las palas del rotor. El viento incide perpendicularmente sobre las palas y debido a la diferencia de presiones que se produce se genera una fuerza que permite el movimiento rotatorio de las palas. Estas palas se encuentran fijadas a un buje, que está conectado a un primer eje (llamado eje de baja velocidad) y gira a la misma velocidad

angular que el rotor. El eje de baja velocidad está conectado a un multiplicador del que sale un eje de alta velocidad e incorpora un generador eléctrico que produce la energía eléctrica canalizada por los cables a la red. Todos estos elementos se encuentran en la llamada góndola que se puede orientar según la orientación del viento y a su vez está situada sobre un soporte o torre anclada al terreno con cimientos de hormigón armado.

La góndola se completa con un sistema de control de la potencia y otro de control de la orientación. El primero tiene la doble función de regular la potencia en función de la velocidad instantánea (haciendo funcionar la turbina lo más cerca de su potencia nominal) y de interrumpir el funcionamiento de la máquina en caso de viento excesivo. El segundo, en cambio, consta de un control continuo del paralelismo entre el eje de la máquina y la dirección del viento.

2.2.2. Potencia del viento en un aerogenerador

Una vez determinadas las condiciones del viento en una zona específica, se puede cuantificar el potencial energético contenido en el viento.

Una masa “m” que se mueve a una velocidad “v” tiene una energía cinética que viene determinada por la siguiente expresión:

$$E_C = \frac{1}{2}mv^2$$

Si esta energía se quiere cuantificar por unidad de volumen:

$$E_C = \frac{1}{2}\rho v^2$$

La energía cinética que atraviesa el volumen de control del aerogenerador en un incremento de tiempo “t” dado, será la potencia que podrá ser convertida:

$$P = \frac{1/2 \rho v^2 V_{control}}{\Delta t} = \frac{1/2 \rho v^2 A_{aerogenerador} \Delta x}{\Delta t} = \frac{1}{2} \rho v^3 A_{aerogenerador}$$

Donde el volumen de control es un cilindro de área A y longitud Δx.

Esta es la potencia que contiene el aire que discurre a través de un aerogenerador, pero hay que saber que toda esta potencia no puede ser convertida en potencia eléctrica. Si se intenta extraer toda la energía del viento, el aire saldría del aerogenerador con velocidad nula, no avanzando y evitando que nuevo aire atravesase las palas. También existen pérdidas en el proceso de transformación de energía mecánica en energía eléctrica.

2.3. Factores que influyen en un parque eólico

Los resultados obtenidos por el conjunto de aerogeneradores que configuran un parque eólico quedarán determinados por algunos factores que inciden en los procesos de captación de energía, transporte de la misma, control etc.

En primer lugar, hay que señalar que la ubicación del parque responde a un diseño sobre el territorio condicionado por la exposición al viento y al impacto visual, por lo que antes de decidir sobre la instalación de un sistema eólico es indispensable conocer adecuadamente las características del viento en el emplazamiento, para lo que será necesario realizar estudios de frecuencia, velocidad, duración y dirección del viento. Esto es así debido a que el rendimiento de las máquinas eólicas depende de la intensidad del viento. A su vez, el factor de la intensidad se encuentra determinado por las características orográficas del terreno, sobre todo por la rugosidad. En el mar, el viento sopla con más intensidad debido al menor rozamiento con la superficie terrestre. En el continente, en las zonas altas de las colinas se incrementa la velocidad del viento al existir menor rozamiento con la superficie.

En segundo lugar, ciertas características del aerogenerador pueden tener una repercusión en la actividad. Algunas de estas características pueden ser:

- Tipo de generador. Puede ser síncrono o asíncrono, cuya diferencia reside en que este último, también conocido como de inducción, posee un rotor de jaula, lo que le convierte en un aerogenerador muy fiable,

comparativamente no muy caro y posee una propiedad mecánica muy útil: El deslizamiento del generador, que constituye la razón de su uso por delante del síncrono, en turbinas eólicas conectadas directamente a la red eléctrica, ya que la velocidad de un generador asíncrono variará con la fuerza del giro que se le aplique, lo que ocasiona una menor rotura y desgaste de la caja multiplicadora.

- Sistema de velocidad. Se distingue entre velocidad constante y variable, y generalmente está asociada al tipo de conexión. La conexión indirecta a red permite hacer funcionar la turbina eólica a velocidad variable puesto que el rotor puede girar más rápidamente durante las rachas de viento y almacenar parte de la energía extra, superando la limitación de la conexión directa.
- Tipo de corriente. El tipo de corriente utilizada (corriente o alterna) determinará la necesidad de su conversión. Por ejemplo, las turbinas eólicas que utilizan generadores síncronos suelen usar imanes en el rotor alimentados por corriente continua de la red eléctrica. Debido a que la red suministra corriente alterna, habrá que convertirla en continua por medio de transistores de potencia.

Estos factores condicionan los requerimientos técnicos de las máquinas eólicas, limitando su funcionamiento y los periodos de activación de las mismas. Especial influencia tiene la velocidad del viento, en la que los parámetros de referencia son:

- Pueden ser activados con viento variable de 7 a 15 km/h.
- Cuando el viento alcanza la velocidad de 36 a 50 km/h se activa un dispositivo de control de potencia.
- Se paran cuando la velocidad del viento supera los 70-90 km/h para evitar que el generador se queme al trabajar a una velocidad mayor que la de diseño o para que la estructura sea excitada a su frecuencia natural y acabe colapsando.

2.4. Ventajas y Desventajas de la Energía Eólica

En primer lugar, se van a enumerar las numerosas ventajas del uso de la energía eólica:

- Es una fuente inagotable de energía, ya que esta proviene del Sol.
- El aprovechamiento de la energía eólica no produce contaminación directa al no realizar emisiones, ni generar residuos.
- Ayuda, en la zona de instalación, a disminuir la dependencia de energía exterior.
- La utilización de este tipo de energía ayuda a mejorar la economía de la zona, creando puestos de trabajo e ingresos.
- Su incursión en la red eléctrica permite, cuando las condiciones del viento son adecuadas, ahorrar combustible en las centrales térmicas o agua en los embalses de las centrales hidroeléctricas.
- Es posible construir parques eólicos en el mar, donde el viento es más fuerte, más constante y el impacto social es menor, aunque aumentan los costes de instalación y mantenimiento.

Por otro lado, este tipo de energía también consta de inconvenientes que se van a enumerar a continuación:

- Debido a la falta de seguridad en la existencia de viento, la energía eólica no puede ser utilizada como única fuente de energía eléctrica. Además, la dependencia de los regímenes implica que la producción de energía sea muy variable, por lo que no se produce más energía en los picos de consumo. Este problema podría solucionarse mediante dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica, pero hasta el momento no existen sistemas lo suficientemente grandes como para almacenar cantidades considerables de energía de forma eficiente. Por lo tanto, para salvar los valles en la producción de energía eólica y evitar apagones generalizados, es indispensable un respaldo de las energías convencionales.
- El impacto paisajístico es una nota importante debido a la disposición de los elementos horizontales que lo componen y la aparición de un elemento vertical como es el aerogenerador.
- El ruido que producen puede llevar a la gente hasta un alto nivel de estrés, con efectos de consideración para la salud. No obstante, la mejora del diseño de los aerogeneradores ha permitido ir reduciendo progresivamente el ruido que producen.

- Al comienzo de su instalación, los lugares seleccionados para ello coincidieron con las rutas de las aves migratorias o con las zonas donde las aves aprovechan vientos de ladera, lo que hace que los aerogeneradores entren en conflicto con aves y murciélagos. Afortunadamente los niveles de mortandad son muy bajos en comparación con otras causas como por ejemplo los atropellos, aunque esta afirmación es cuestionada por expertos independientes.
- Los proyectos de instalaciones eólicas están sujetos a un lento proceso de tramitación.

2.5. Energía Eólica en Andalucía

Andalucía es una región de gran recurso eólico. La gran extensión de su costa, así como sus amplias zonas de montaña, permiten encontrar a lo largo áreas con unas características adecuadas para aprovechamiento eólico. Existen además determinadas comarcas en las que, debido a sus especiales condiciones, el recurso eólico se extiende a grandes superficies.

Sin embargo, Andalucía produce alrededor de un 15 por ciento de la energía eólica producida en España. Un dato bastante preocupante teniendo en cuenta que Tarifa fue la zona donde se implantó la primera planta eólica y que en años posteriores producía alrededor del 73 por ciento de la energía producida en España. La distribución de producción de potencia eólica se observa en la tabla siguiente:

Reparto de la potencia instalada por Comunidades Autónomas en 2015
(ordenadas por potencia acumulada)

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Potencia acumulada a cierre de 2015 (MW)	Nº de parques
Castilla y León	5.561	241
Castilla-La Mancha	3.807	139
Andalucía	3.338	153
Galicia	3.328	161
Aragón	1.893	87
Cataluña	1.269	47
Comunidad Valenciana	1.189	38
Navarra	1.004	49
Asturias	518	21
La Rioja	447	14
Murcia	262	14
Canarias	177	56
País Vasco	153	7
Cantabria	38	4
Baleares	4	46
TOTAL	22.988	1.077

Fuente: AEE

Figura 2-2. Reparto potencia en CCAA

La primera de las causas por la que nos encontramos en esta situación es por la tramitación necesaria para implementar una planta eólica. Andalucía se ha caracterizado por un ritmo muy lento en esta tramitación, ante los posibles conflictos que podrían surgir tanto económicos como de conservación del medio natural. Estos conflictos son más palpables en CCAA de gran tamaño como es nuestro caso.

Otro problema que está frenando el desarrollo de la energía eólica en Andalucía es la insuficiencia de redes eléctricas y centros de transformación diseñados para la evacuación de la energía eléctrica producida en los parques eólicos.

Por último, hay que destacar las opiniones contrarias al desarrollo de la energía eólica basadas en el impacto

medioambiental. Desconociendo que el uso de este tipo de energía es uno de las maneras más eficaces de contribuir al desarrollo de nuestra sociedad con un mínimo de impacto sobre la conservación del medio natural.

La imagen inferior, muestra una distribución de las plantas eólicas existentes en Andalucía.

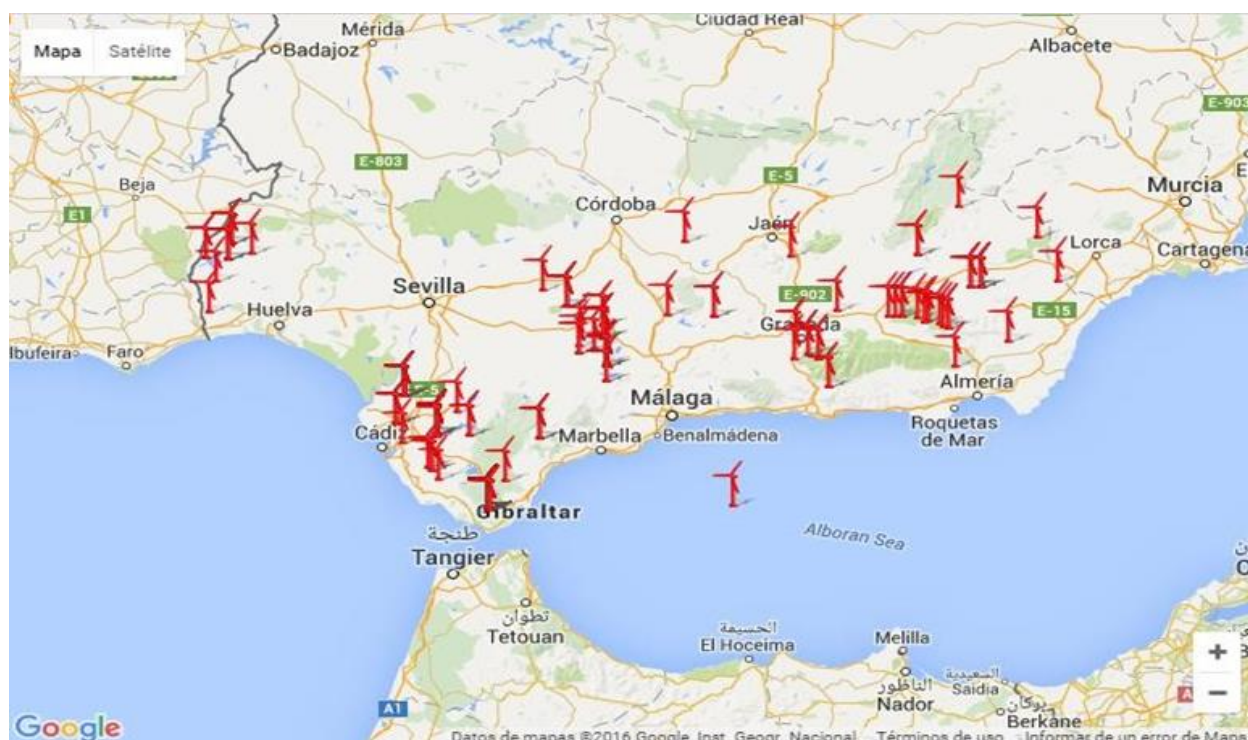


Figura 2-3. Reparto estaciones eólicas en Andalucía

Como se advierte en el mapa superior, la zona del Estrecho es una de las que recoge mayor concentración de aerogeneradores. El motivo de esta alta densidad es debido a las características propias del Estrecho, las cuales van a ser comentados a continuación.

3 CARACTERIZACIÓN GENERAL DE LOS VIENTOS EN EL ESTRECHO DE GIBRALTAR

La Real Academia de la Lengua Española define el viento como:

“Corriente de aire producida en la atmósfera por causas naturales”.

Real Academia de la Lengua Española.

La diferencia de presiones de la atmosfera, conocida como gradiente, es la responsable de generar el viento. Esto se debe al hecho de que una masa de aire siempre se desplaza de la zona de mayor presión a la de menor. La velocidad de este desplazamiento está en función de la proximidad entre los cambios de presión de las diferentes zonas de la atmosfera. Si observamos un mapa de isobaras, la proximidad entre estas y la latitud, indica la velocidad, a mayor proximidad, mayor velocidad, gradiente y fuerza.

Debido a esto se produce la circulación general del viento, pero en este texto, no vamos a estudiar la circulación global de este fenómeno, sino que, nos vamos a centrar en el estudio de una zona localizada. Es por ello, que antes de abordar el análisis empírico de los datos que constituyen la base de este trabajo, resulta necesario hacer algunos comentarios acerca del marco geográfico en el cual se sitúa la zona de estudio, ya que éste va a determinar, en gran medida, las características del viento resultante y la calidad de las predicciones.

El estrecho de Gibraltar es la zona de comunicación entre las aguas del Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo. Además, marca la separación de dos continentes, como son Europa y África. Ambos continentes son separados por una distancia mínima de 14,4 km. Este es el motivo por el que esta zona adquiere gran valor en muchos ámbitos y por ello, es una zona de estudio.

3.1 Orografía

Referente a la orografía es un lugar con condiciones particulares. El efecto que genera la existencia del propio Estrecho se ve reforzado por la existencia de dos cadenas montañosas perfilando dichas costas: el sistema Penibético que discurre paralelo al litoral andaluz desde el cabo de Gata hasta Tarifa, y al otro lado del Estrecho, la cordillera Atlas, que se extiende por gran parte del norte de África.



Figura 3-1. Orografía Estrecho de Gibraltar

Ante esta “barrera topográfica”, las masas de aire que llegan al Estrecho se ven obligadas a discurrir siguiendo aproximadamente la dirección de su eje. De esta forma, los vientos que provengan del norte o del sur, se verán modificados hasta alcanzar una dirección más zonal en sentido este u oeste, alcanzándose el máximo de la velocidad del viento en el punto más estrecho. Por este motivo el Estrecho es una zona muy importante para el aprovechamiento del viento como energía renovable y por ello, que determinar las características y la calidad de las predicciones se convierta en vital para un mayor aprovechamiento.

Se puede comparar el paso del viento por el Estrecho a un embudo en el que se produce el “efecto Venturi”. Debido a la dinámica de fluidos sabemos que el efecto Venturi:

“Consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión cuando aumenta la velocidad al pasar por una zona de sección menor”.

El estrechamiento induce una disminución de presión a sotavento y una sobrepresión a barlovento, con la consiguiente aceleración del viento.

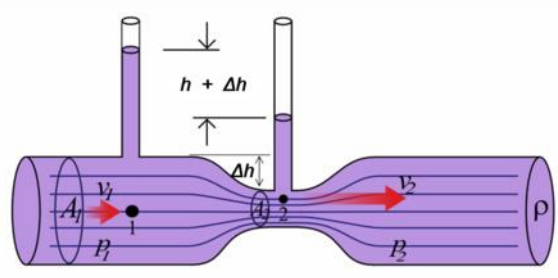


Figura 3-2. Efecto Venturi

3.2 Atlántico-Mediterráneo

Como se ha dicho anteriormente, el Estrecho es la zona de separación de dos aguas con características diferentes como son el Atlántico y el Mediterráneo. Estas características tienen relevancia en el viento.

El Mar Mediterráneo posee una temperatura superficial media de 2 a 5 grados mayor en la zona Atlántica, originando un gradiente de temperatura del aire superficial. Esta diferencia térmica no influye directamente sobre el viento; sin embargo, origina a su vez una diferencia de presiones entre ambos lados del Estrecho, la cual sí puede llegar a modificar sus parámetros. Este gradiente de temperaturas es máximo a finales de verano, cuando la temperatura del Mediterráneo es máxima, originando típicamente vientos de poniente.

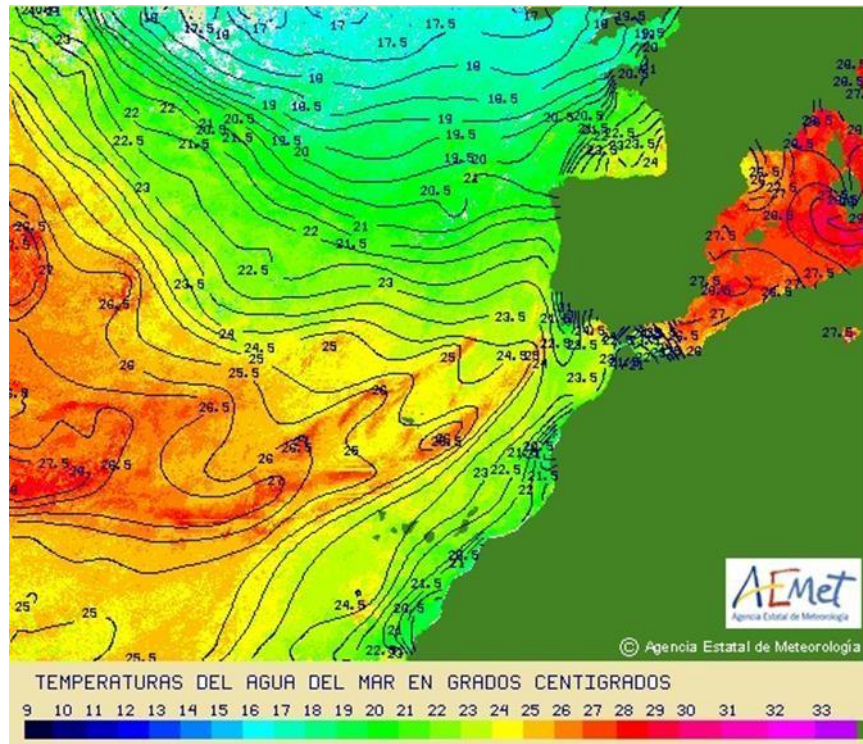


Figura 3-3. Atlántico-Mediterráneo

3.3. Brisas

Se sabe ya que el gradiente térmico es el principal factor que produce el movimiento de las masas de aire. Esta diferencia térmica es patente en las zonas costeras, debido a que el mar es más reactivo al cambio de temperatura que la tierra, y por lo tanto, la tierra se calienta o se enfría más rápido produciéndose estas diferencias de temperatura. Este tipo de vientos son conocidos como brisas.

Las brisas pueden aumentar o disminuir la dirección del viento según, se oponga o no, a la dirección principal de este. Además, puede variar la dirección. Es fácil de comprender que, la influencia de las brisas en los vientos será mayor cuando estos sean suaves.

Dependiendo del tramo horario en el que nos encontremos podemos diferenciar dos tipos de brisas: nocturna o diurna.

3.3.1 Brisa diurna o de mar

Ya sabemos que la tierra se calienta más rápido que el mar. Por ello, al amanecer con el aumento de la temperatura, el aire que está en contacto con la tierra se calienta, y al ser menos denso, asciende dejando bajas presiones en superficie. En el mar, la presión en superficie es mayor y, como consecuencia a este gradiente, nace una brisa en el mar que se adentra en el continente.

Este tipo de viento sopla durante el día y penetra en tierra hasta unos 30 o 40 km, con vientos que pueden variar entre los 10 y 40 km/h, dependiendo del tamaño del gradiente térmico.

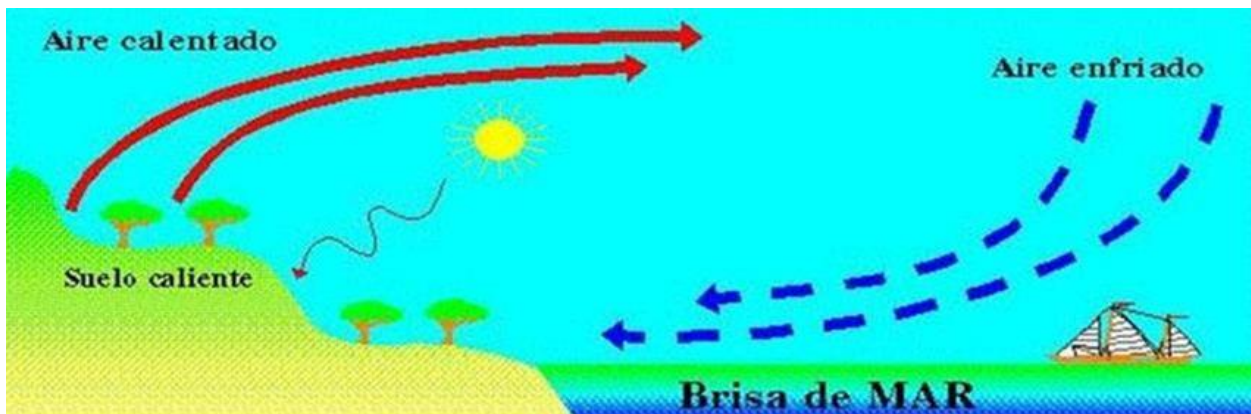


Figura 3-4. Brisa diurna

3.3.2 Brisa nocturna o de tierra

Cuando llega la noche y el Sol desaparece, la tierra comienza a enfriarse más rápido que el mar, manteniéndose este a una temperatura mayor. En el mar, el aire está a mayor temperatura y asciende, dejando bajas presiones en superficie, mientras que, en la tierra, el aire es más frío y, por tanto, al ser más denso, descende, con el aumento de presión en superficie correspondiente. Este gradiente provoca la brisa que nace del continente y se adentra en el mar.

Este tipo de brisa sopla durante la noche y penetra en el mar una distancia aproximada de 20 km, con unas velocidades oscilando entre los 5 y los 20 km/h.

Como podemos concluir con estos datos, la brisa nocturna es menos influyente que la diurna debido a su velocidad más suave.

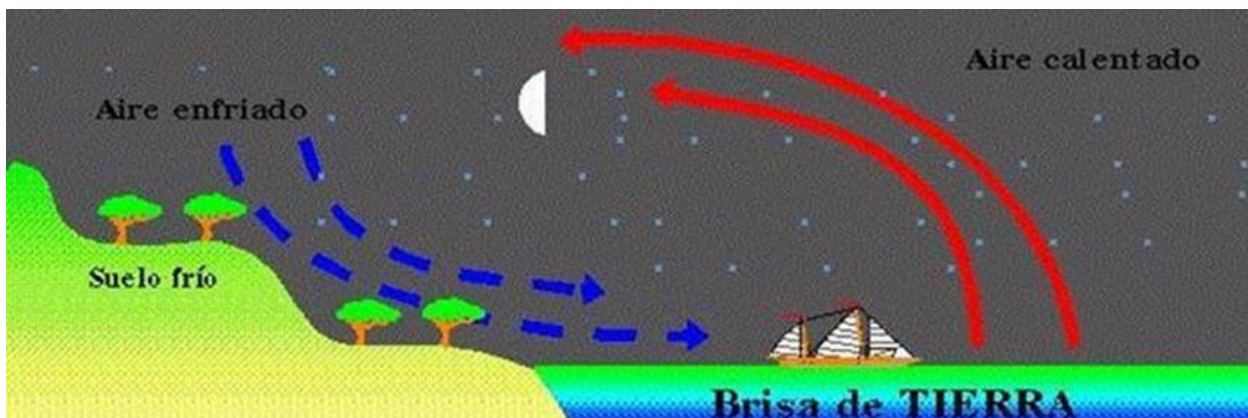


Figura 3-5. Brisa nocturna

3.4. Otras influencias

Como se ha expuesto, el principal motor del viento son los gradientes de presión producidos por las diferencias de temperatura. Pero no solo este factor domina la naturaleza del viento, sino que, otros factores también influyen de manera algo menos notoria.

Estos otros factores pueden ser la situación meteorológica del momento, tales como, frentes, anticiclones, tormentas, estaciones y otros agentes que hacen modificar los parámetros del viento.

4 METODOLOGÍA

La verificación de modelos meteorológicos no es un tipo de estudio que haya surgido en los últimos años, sino que, llevan más de dos décadas realizándose este tipo de trabajos centrados en fenómenos tales como temperaturas máximas, ([14] Calvo Sánchez, Javier (1994). Verificación de las predicciones MOS de temperaturas extremas para el año 1993 o [15] Ayuso, Juan José & del Río, Pablo (1991). Verificación objetiva de la predicción por adaptación estadística de temperaturas extremas) presiones atmosféricas o intensidades de viento ([13] Instituto Nacional de Meteorología (1995). Boletín mensual de verificación del modelo de área limitada del INM) ayudándose de estimadores estadísticos como el error medio, el error cuadrático medio u otras herramientas provistas por el antiguo INM (Instituto Nacional de Meteorología). En la actualidad, sigue siendo necesario realizar verificaciones de los modelos meteorológicos como demuestra el estudio [9] Montes Gil, Rocío Asunción. (2015). Estudio de validación del modelo de vientos de AEMET en el Estrecho de Gibraltar. En este trabajo se verifica el modelo HIRLAM de AEMET para los vientos en el Estrecho de Gibraltar durante la primavera.

Este trabajo se ha centrado en verificar dicho modelo pero en este caso para el otoño (desde el 3 de octubre al 21 de diciembre). Para ello, nos hemos servido, nuevamente, de la página web de la Agencia Estatal de Meteorología (www.aemet.es).

El primer paso del proceso ha consistido en una descarga diaria de los datos presentados por esta web mediante unos archivos que proporciona para las 4 estaciones elegidas. Se ha procurado realizar la obtención de datos a una hora aproximada para que las predicciones se vean influenciadas mínimamente por otros factores que se alejan de lo meramente meteorológico.

Estos archivos, tanto los de predicción como los de observación, contienen la velocidad del viento y la dirección de éste para cada hora del día. Es por esto que se ha realizado la comparación en cada tramo horario de una hora. Además de estos datos, estos archivos que provienen de AEMET incluyen otros datos como rachas de viento, lluvia, temperatura etc. que no nos es de utilidad para este proyecto pero podrían ser útiles para otros trabajos.

Para la realización de un estudio más profundo, se han obtenido dos predicciones designadas como “Predicción 1” y “Predicción 2”. Se denomina como “Predicción 1” a aquella que contiene valores del viento predichos como máximo a 24 horas vista, es decir a 1 día. Por el contrario, se denomina como “Predicción 2” a la que contiene datos de predicción de más de 24 horas, es decir a 2 días. Ambas, las cuales se refieren al mismo día, han sido comparadas con el archivo “Observación” que contiene los datos observados en las 24 horas de dicho día.

Además, para obtener un abanico de resultados más amplios, ya que todo conjunto de datos obtenidos de forma experimental, como es la observación, es propenso a sufrir errores instantáneos, se ha realizado la filtración de la observación de la siguiente manera:

$$Obsfil_i = \frac{Obs_{i-1} + Obs_i + Obs_{i+1}}{3}$$

Siendo “i” el tramo horario elegido y “Obs” el valor de la observación. Hay que tener en cuenta que se trabaja con conjuntos de datos agrupados en las 24 horas de un día, por tanto, la primera hora del día y la última no puede realizarse un adecuado filtrado por falta de datos. Es por ello, que se decide que la observación y la observación filtrada de ambas horas sean coincidentes. También ocurre en ciertas ocasiones que, por un fallo de la estación no hay dato para una hora cualquiera. Por ejemplo, si falta el dato anterior de la hora indicada se realiza de la siguiente manera:

$$Obsfil_i = \frac{Obs_i + Obs_{i+1}}{2}$$

Una vez que se han obtenido los datos de predicción, observación y observación filtrada, han sido comparados con la herramienta informática “Excel”. Este programa nos da la facilidad de realizar un modelo de cálculo que al introducir los datos de ese día para esa estación, nos aporte automáticamente los datos que analizan el comportamiento del viento y del modelo. Para entender mejor como se ha realizado esta comparativa, se va a explicar a continuación los procesos realizados.

4.1 Hipótesis de partida

Después de obtener todos los datos en el periodo estudiado y para realizar un estudio más profundo del comportamiento del viento en este periodo. Se decide crear un sistema de clasificación que unifique días con patrones repetitivos de comportamiento, permitiendo de esta manera estudiar las características de los modelos de predicción según el patrón.

Este sistema de clasificación se va a basar principalmente en dos criterios: la dirección y la intensidad

En primer lugar, la clasificación por dirección se realizará de manera muy sencilla. Se distinguen 3 tipos de comportamiento:

- **Levante.** Es el nombre con el que se suele designar al viento procedente del este en el litoral mediterráneo de España. Alcanza su mayor velocidad en el Estrecho de Gibraltar, donde deja lluvias en la vertiente este de las sierras gaditanas, antes de bajar muy seco, ya descargado de humedad, y con altas temperaturas a lo largo de la vertiente oeste. Se le aplica denominación de viento de Levante si la mayoría de sus observaciones en las 24 horas de un día oscilan entre los 45° y los 135°.
- **Poniente.** Proveniente del océano Atlántico, se desplaza de oeste a este. A medida que avanza, de forma paulatina va perdiendo humedad y aumentando de temperatura, debido al efecto Foehn. Por ello, llega a la costa levantina de España como un viento muy seco y cargado de calor. Aunque su presencia en invierno contribuye a suavizar las temperaturas, en verano provoca un sustancial aumento de las mismas. Para este estudio, se le aplica la denominación de Poniente si mayoritariamente las observaciones en el día oscilan entre los 225° y los 315°.
- **Cambiante.** Se engloban en esta denominación aquellos vientos que no tienen cabida en las anteriores denominaciones. Esta denominación se caracteriza por ser vientos de baja intensidad donde las brisas tienen mayor importancia o de ser días de transición entre Poniente y Levante.

Por otro lado, para realizar la clasificación según la intensidad, se ha realizado la media aritmética de la velocidad del viento en el día y según el valor de esta media se ha encasillado el día en uno u otro rango de la clasificación. Hay que decir que esta clasificación no es común, sino es una clasificación que se ha considerado la más adecuada para el correcto análisis en este estudio. El rango de intensidades elegido es el siguiente:

- **Muy flojo.** Vientos con intensidades menores a 10 km/h.
- **Flojo.** Se incluyen los vientos con intensidades que van desde los 10 km/h y menores a 20 km/h.
- **Moderado.** Desde los 20 km/h hasta por debajo de 30 km/h.

- **Moderado-Fuerte.** Valores de intensidad entre 30 km/h e inferiores a los 40 km/h.
- **Fuerte.** Intensidades desde el rango anterior hasta menores de 50 km/h.
- **Muy Fuerte.** Valores superiores a 50 km/h.

4.2 Proceso

A continuación, se va a realizar una breve explicación de que ha consistido el tratamiento de los datos.

4.2.1 Gráficas

Se dice que para entender algo bien y de una forma rápida no hay nada como visualizarlo gráficamente. Por lo tanto, para realizar una primera comparativa se han equiparado los valores en gráficas. A continuación, se puede ver un ejemplo de una gráfica de un día cualquiera en una de las estaciones:

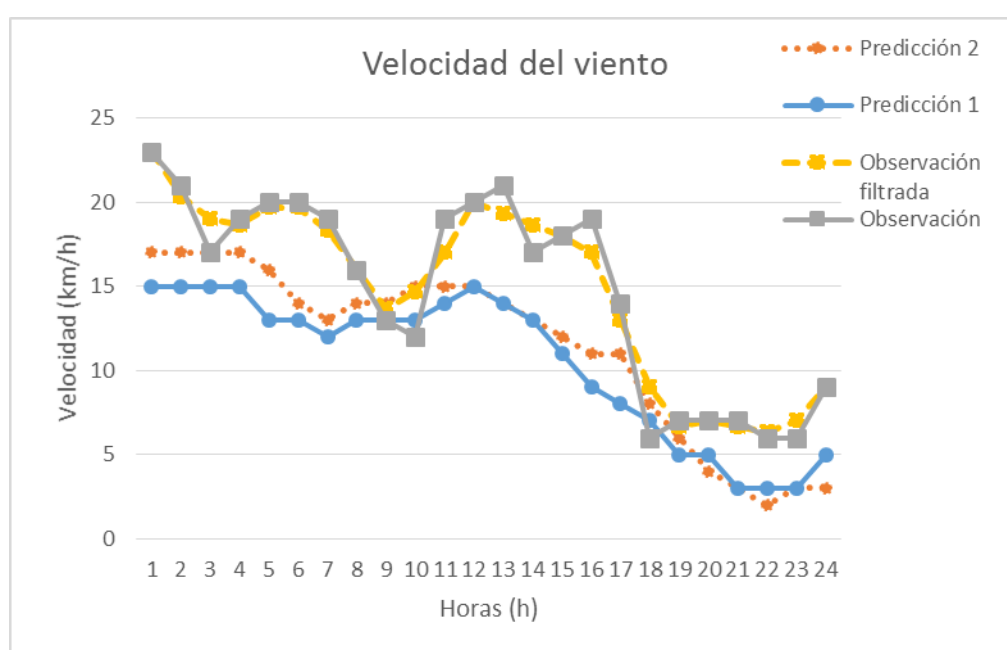


Figura 4-1. Ejemplo gráfica

Como muestra la leyenda, podemos observar 4 velocidades de tiempo. Los valores correspondientes al color azul, trazo continuo y marcador circular se refiere a la “Predicción 1”, la que se realiza con 24 horas de tiempo, el color naranja de trazo discontinuo y marcador circular va ligado a la “Predicción 2”, referida a 48 horas vista, por otro lado, el gris con marcador cuadrado y trazo continuo hace referencia a la observación recogida, mientras que el amarillo discontinuo y marcador cuadrado, es la observación filtrada.

4.2.2 Error absoluto y relativo

El primer análisis numérico para observar el error de una predicción es calcular el error absoluto y relativo de un valor instantáneo. Así, si observamos que el error es bastante considerable podemos suponer que posteriormente la medida no será considerada como válida. El error absoluto se ha calculado de la siguiente manera:

$$E_{abs,i} \left(\frac{km}{h} \right) = |Predicción_i - Observación_i|$$

Por otro lado, el error relativo se ha obtenido tal que así:

$$E_{rel,i}(\%) = \frac{|Predicción_i - Observación_i|}{Observación_i} * 100$$

4.2.3 Tasa de acierto

Los errores descritos anteriormente nos son de utilidad para observar la eficacia del modelo en una hora determinada, sin embargo, el motivo de este estudio es verificar el modelo durante el otoño, por lo que se necesita analizar una franja temporal. En primer lugar, esta franja va a ser la misma que la de adquisición de datos, es decir, un día. Se define como tasa de aciertos a aquel porcentaje que compara el número de aciertos en una franja determinada con el número de datos comparados, tal que así:

$$Tasa\ de\ acierto\ (\%) = \frac{Número\ de\ aciertos}{Número\ de\ datos\ comparados} * 100$$

Antes de conocer la tasa de acierto de un día, se debe explicar qué se considera un acierto. Para sacar más provecho de los datos procesados, se han llevado a cabo dos métodos con diferente tolerancia, uno más restrictivo que el otro, para observar la diferencia entre ambos, y en qué casos hay más diferencia entre ellos. Estos rangos de tolerancia son función de la velocidad del viento. Se pasa ahora detallar ambos métodos:

- 1^{er} método:

- Para vientos con una intensidad menor o igual a 15 km/h, se considerará como acierto aquellos en los que el error absoluto entre la predicción y la observación sea menor o igual a 5 km/h
- Por otro lado, para vientos mayores a 15 km/h, se tomará como error de predicción, aquella en la que el error absoluto sea mayor del 33% de la velocidad instantánea de la observación.
- En este método de análisis de acierto, se le añade un anexo para la estación meteorológica de Tarifa, la cual supera varias veces, a lo largo del periodo de adquisición de datos, la velocidad instantánea de 45 km/h. Debido a que el 33% de error permitido para vientos mayores de 45 km/h es un rango de error demasiado amplio, se marca como error máximo permitido 15 km/h para no ser tan restrictivos. Es decir, en Tarifa, para vientos mayores de 45 km/h se considera como no acierto, aquellas predicciones que se difieran en más de 15 km/h de la observación.

Para que se vea de una forma más clara este método se añaden varios ejemplos:

Ejemplo	Observación (km/h)	Predicción (km/h)	Diferencia (km/h)	Acierto
1	8	12	$ 8-12 =4 \leq 5$	SI
2	33	23	$ 33-23 =10 \leq 0,33*33$	SI
3	21	13	$ 21-13 =8 > 0,33*21$	NO
4	48	32	$ 48-32 =16 > 15$	NO

Tabla 4-1. Ejemplo método 1

- 2^o método:

- En este caso, para ser más restrictivos, se considerará como error a aquellas predicciones, que para vientos observados de menos o igual a 20 km/h, tengan un error mayor a 5 km/h. Se observa que este caso es más duro, porque para una observación de 18 km/h, en el caso anterior se permitía un error de 6 km/h, mientras que con el segundo método el error máximo para esta velocidad es de 5 km/h.
- Para vientos mayores a 20 km/h, se supondrá como error a las predicciones que superen a la observación en el 25% de esta. De nuevo, estamos ante un caso más restrictivo, pues antes para una velocidad de 30 km/h, permitía un error de 10 km/h, mientras que ahora, el error no debe superar los 7,5 km/h.
- Para terminar, para vientos mayores de 40 km/h, el error no debe ser mayor de 10 km/h para ser considerados como válidos, mientras que antes se permitía un error de 15 km/h.

De nuevo se ejemplifica este método:

Ejemplo	Observación (km/h)	Predicción (km/h)	Diferencia (km/h)	Acierto
1	17	11	$ 17-11 =6 > 5$	NO
2	33	23	$ 33-23 =10 > 0,25*33$	NO
3	24	20	$ 24-20 =4 \leq 0,25*24$	SI
4	42	32	$ 42-32 =10 \leq 10$	SI

Tabla 4-2. Ejemplo método 2

Sabiendo ya, que se considera como acierto, se puede sumar el número de aciertos de ese día y así obtener, la tasa de aciertos descrita anteriormente.

4.2.4 Admisibilidad

Durante todo el periodo de adquisición de datos, se han obtenido tasas de aciertos de todos los valores, por eso surge la necesidad de admitir una tasa de acierto como válida o no. Para ello, se ha considerado qué si esta tasa es mayor del 50%, es decir, de todos los datos comparados durante el periodo se han acertado más de la mitad, se considera que la predicción para ese día en esa estación meteorológica ha sido correcta.

4.2.5 Sobrepredicción y Subpredicción

Además de determinar si una predicción ha sido correcta o no, también se ha creído importante realizar un estudio, sobre el tipo de fallo que el modelo comete. Este error ha sido debido por una sobrepredicción o, por el contrario, por una subpredicción. Esto nos permite, en un estudio a más largo plazo, ver si el modelo comúnmente falla por que realiza unas predicciones superiores a la observación o inferiores, pudiendo esto ayudar a reprogramar el modelo para que se ajuste más a la realidad. Con este fin, se definen dos términos como son la “tasa de sobrepredicción” y la “tasa de subpredicción” de la siguiente manera:

$$\text{Tasa de sobrepredicción (\%)} = \frac{\text{Número de errores de valor positivo}}{\text{Número de errores}} * 100$$

$$\text{Tasa de subpredicción (\%)} = \frac{\text{Número de errores de valor negativo}}{\text{Número de errores}} * 100$$

4.2.6 Estudio del periodo

Durante todo el otoño, se ha realizado la toma de datos. El objetivo final de este trabajo es la verificación del modelo para este marco temporal. Anteriormente se han introducido herramientas tanto para el análisis de horas como para días. Es ahora el momento de explicar como se ha realizado el análisis del otoño. Para ello, se han realizado varios estudios tanto para la “Predicción 1” como para la “Predicción 2”, así como, para ambos métodos, como para las observaciones filtradas y no. Estos cálculos realizados son:

- Media de la Tasa de Aciertos. Se ha obtenido la media de la tasa de aciertos de todos los días de estudio para todas las estaciones meteorológicas. Esto nos permite observar que estación produce una predicción más certera y cuál es la menos fiable. Además, nos permite observar como la “Predicción 2”, al ser más lejana en el tiempo, es menos fiable que la “Predicción 1”. También nos permite corroborar como el método 2 es más exigente que el método 1.
- Número de Aciertos. Por otro lado, se ha contado el número de días en los cuales el modelo ha acertado con la predicción, es decir, cuantos días la tasa de acierto ha sido superior al 50%. Esto es otra forma de comparar todas las estaciones.
- Número de días con sobrepredicción o subpredicción. Con estos datos, se ve si un modelo para una estación meteorológica tiene más días con sobrepredicción o subpredicción. Así, si un modelo tiene una tendencia a alguno de los dos casos, se podría reprogramar para hacer que este se acerque más a la realidad. Se han establecido tres casos que pueden suceder en un día: sobrepredicción (SOBP), subpredicción (SUBP) o ni una ni otra (IGUAL). Para definir un día como con sobrepredicción se ha impuesto que el porcentaje de horas sobrepredichas tiene que ser mayor al 60%. Se puede ver mejor en los siguientes ejemplos:

Ej.	Tasa de Sobrepredicción	Tasa de Subpredicción	SOBP – SUBP – IGUAL
1	75%	25%	SOBP
2	33,33%	66,66%	SUBP
3	60%	40%	IGUAL

Tabla 4-3. Ejemplo definición día en cuanto al error

Para realizar un estudio más en profundidad y con unos resultados más variados se ha realizado este estudio, pero dividiendo el periodo total de 80 días en otros cuyas características son similares, pero de inferior número de días. La primera división, como se ha dicho anteriormente, es según la dirección del viento:

- Levante.
- Poniente.
- Cambiante.

Estos vientos, tienen diferentes características y es por ello que es importante estudiarlos diferenciadamente para observar su comportamiento.

Otra división ha sido según la intensidad del viento diferenciando en:

- Muy flojo.
- Flojo.
- Moderado.
- Moderado-Fuerte.
- Fuerte.

Hay bastante diferencia en la facilidad de predecir un viento muy flojo con otro de una intensidad considerable. Por este motivo, se ha decidido realizar también un estudio de este tipo de periodos.

Para hacer que el estudio sea más ameno y para evitar extraer conclusiones sobre algún tipo de intensidad del viento con pocos datos se ha decidido agrupar, según la estación, algunas de las divisiones anteriores para, por ejemplo, evitar que haya análisis con 1 o 2 días de ese tipo de viento.

También se ha realizado un estudio más profundo del efecto de las brisas. Se han analizado por separado dos tramos

horarios, el primero contempla las primeras 12 horas del día, es decir desde las 0 horas hasta las 11 horas, donde tiene influencia la brisa diurna. El segundo, las últimas 12 horas, desde las 12 hasta las 23 horas para analizar la actuación de la brisa nocturna. En ambos casos se han observado si los errores producidos son mayor por sobreproducción o subpredicción y, de esta manera, analizar la actuación del modelo respecto a las brisas.

4.2.7 Programación

En primer lugar, se extraen los valores de los archivos obtenidos en AEMET y se introducen en el programa de Excel creado para tal efecto. Para el caso de la velocidad del viento, es sencillo pues, se trata de copiar y pegar el valor. Sin embargo, en el caso de la dirección del viento, AEMET te proporciona la dirección con flechas en sentido de la dirección del viento. Para pasar esto a un valor numérico se sigue la siguiente norma:

- NE: 45°
- E: 90°
- SE: 135°
- S: 180°
- SW: 225°
- W: 270°
- NW: 315°
- N: 360°

Una vez introducidos los datos se han realizados los cálculos anteriores ayudándonos de varias funciones de Excel que se van a detallar a continuación:

- ABS(): La función “ABS” en Excel nos devuelve el valor absoluto de un número y es de utilidad cuando las operaciones que estamos realizando en Excel requieren que utilicemos solamente el valor absoluto de un número, es decir sin tener en cuenta su signo. Se han utilizado, entre otras cosas, para calcular el error absoluto de la comparación entre observación y predicción.
- SUMA(): Esta función nos suma todos los valores de las celdas seleccionadas. Por ejemplo, si usamos “SUMA(B2:B25)”, nos devuelve el valor de la suma de los valores entre las celdas “B2” hasta la “B25”. Ha sido utilizada para calcular el sumatorio en la fórmula del error cuadrático medio.
- CONTAR.SI(): Se usa “CONTAR.SI”, una de las funciones estadísticas, para contar el número de celdas que cumplen un criterio. En nuestro caso, sirve para contar el número de aciertos en un día. Un ejemplo puede ser, “CONTAR.SI(T2:T25;“VERDADERO”)”. En este caso, entre las casillas “T2” y “T5”, cuenta el número de veces que está escrita la palabra “VERDADERO”.
- Y(): Esta función devuelve “VERDADERO” si todos los argumentos se evalúan como “VERDADERO”; devuelve “FALSO” si uno o más argumentos se evalúan como “FALSO”. La sintaxis de la función es la siguiente “Y(valor_lógico1; [valor_lógico2]; ...)”. En el proyecto es usada de la siguiente forma, “Y(F2<=15;K2<=5)”. Aquí se devuelve “VERDADERO” si la velocidad es menor o igual a 15 km/h y el error es menor o igual a 5 km/h. Si uno de los dos falla, se devuelve “FALSO”.
- O(): La función “O()” en Excel nos ayudará a determinar si al menos uno de los argumentos de la función es “VERDADERO”. La única manera en que la función “O()” devuelva el valor “FALSO” es que todas las expresiones lógicas sean falsas. Si al menos una expresión es verdadera entonces el resultado de la función “O()” será “VERDADERO”. La sintaxis es similar a la de la función “Y()”. En este trabajo ha sido usada combinada con la función “Y()” de la siguiente forma, “O(Y(F2<=15;K2<=5);Y(F2>15;F2*0,33>=K2))”. En este caso, si se da una de las dos condiciones que imponen los comandos “Y()”, devuelve “VERDADERO”, es decir, si la velocidad es menor o igual a 15 km/h y el error es menor a 5 km/h o por otro lado, la velocidad es mayor de 15 km/h y el error menor del 33% devuelve “VERDADERO”.

4.3. Presentación de las Estaciones Meteorológicas

Para poder realizar un estudio adecuado del análisis del viento en el Estrecho de Gibraltar hay que analizar más de una estación meteorológica, pues de esta manera, es la única forma de abarcar la total extensión del estrecho. Para ello, se ha decidido seleccionar 4 localidades de la comarca del Estrecho. Estas son: Tarifa, San Roque, Barbate y Ceuta. A continuación, se va a realizar una breve exposición sobre el motivo de tal elección.

Tarifa: Es un municipio de la provincia de Cádiz. Sus coordenadas geográficas son 36° 01' N, 5° 36' O y es aquí donde se encuentra el punto más meridional de la península. La punta de Tarifa marca el lugar exacto donde se separan el Océano Atlántico y el Mar Mediterráneo. Está situada en la parte más angosta del Estrecho, separada de África por tan solo 14 km. Es por tanto una localidad clave para el estudio del viento en dicha zona, ya que, debido a su situación geográfica, presenta los vientos de mayor intensidad. Como contrapunto, debido a los vientos de mayor intensidad, el estudio de la influencia de las brisas es más dificultoso, pues, su influencia es menor.

Barbate: También es un municipio perteneciente a la provincia andaluza de Cádiz. Tiene 36°11'24" N, 5°55'12" O por coordenadas geográficas, por tanto, se encuentra al oeste del estrecho de Gibraltar. Barbate está bañado por el Océano Atlántico. Al no encontrarse en pleno Estrecho, presenta vientos con intensidades menores, lo que nos permite, estudiar la influencia de las brisas en los modelos meteorológicos.

San Roque: Es un municipio español situado en el área del Estrecho de Gibraltar, o sea, en el extremo suroccidental de la provincia de Cádiz, en la comunidad autónoma de Andalucía. Se encuentra al este del Estrecho de Gibraltar, como muestra sus coordenadas geográficas (36° 16' 20,691" N, 05° 17' 02,584" W). De esta forma, nos muestra el comportamiento del viento en la zona bañada por el Mar Mediterráneo. Al ser una zona con mayor orografía, los vientos son más fuertes que en el caso de Barbate, pero nos sigue permitiendo realizar el estudio de las brisas.

Ceuta: Es una ciudad autónoma española, situada en la orilla africana del Estrecho de Gibraltar (35°53'22" N, 05°19'11" W). Esta localidad juega un papel fundamental en el estudio del viento en el Estrecho, pues representa el comportamiento de este, al otro lado del Estrecho.

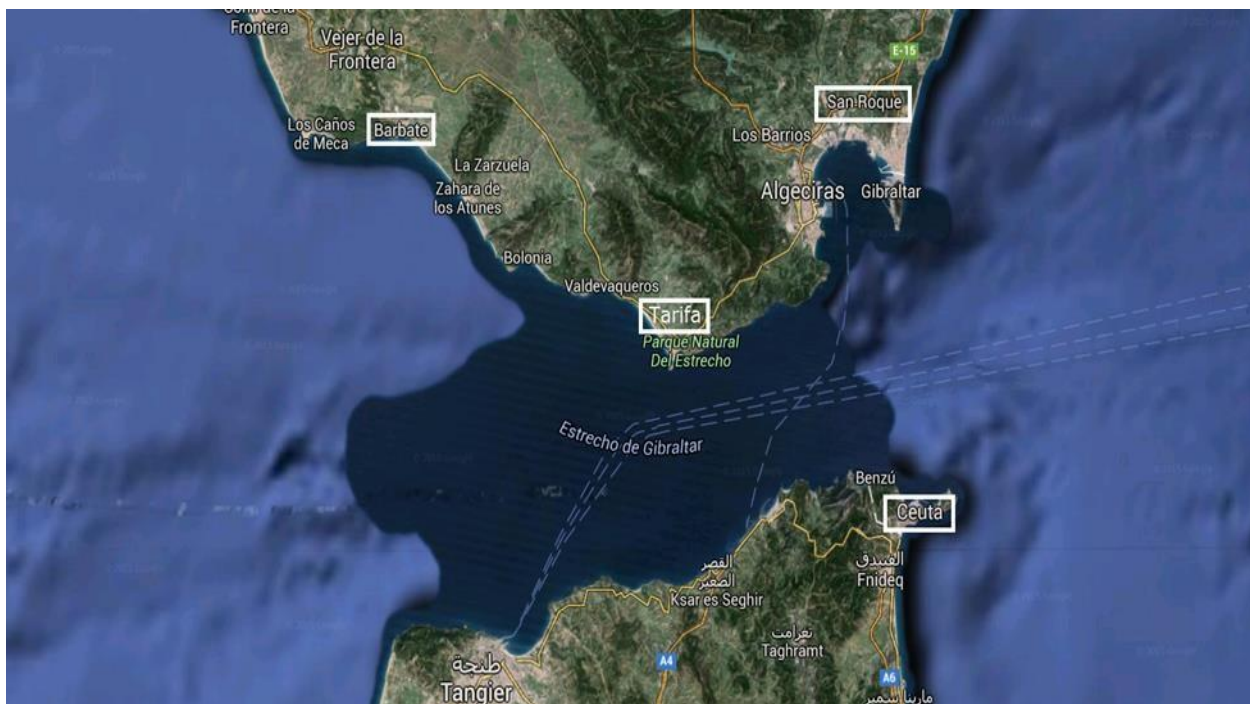


Figura 4-2. Localización estaciones meteorológicas

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se ha declarado con anterioridad, para obtener un análisis más rico y variado sobre la actuación del modelo, se ha establecido una división de días según la intensidad o dirección del viento. Tras la clasificación realizada, se ha advertido como se repiten ciertos patrones de comportamiento del modelo. Para exponer el comportamiento de estos distintos patrones se ha estimado conveniente realizar un análisis con estas distintas clasificaciones.

Para ayudar a visualizar mejor los resultados adquiridos se han realizado unas tablas resumen, donde el lector puede obtener con una simple mirada la tasa de acierto, con y sin filtro (denominando con “F” la filtrada) o con el método 1 o 2 (denominado con la letra “R” de restrictivo), el número de aciertos o si se tiende a la sobrepredicción o a la subpredicción.

Para algunas situaciones nos hemos encontrado con muy pocos días de análisis para algún tipo de clasificación. Estamos hablando sobre todo de vientos de mayor intensidad para localidades como San Roque o Barbate. En estas localidades la intensidad del viento es menor que en Tarifa, pero si a esto le unimos que, el otoño 2015 se ha caracterizado por vientos de poca intensidad da lugar a los problemas con los que nos hemos encontrado para verificar el modelo en algunas estaciones para grandes intensidades de viento. Con el fin de evitar extraer conclusiones erróneas se decide incorporar estos días en otras clasificaciones similares con mayor número de días para su estudio.

En las 4 localidades elegidas, según su situación geográfica, se tienen vientos de mayor o menor intensidad. El número de días que forma parte de cada distribución establecida se puede obtener de la siguiente tabla.

	TARIFA	SAN ROQUE	CEUTA	BARBATE
MUY FLOJO	13	41	49	37
FLOJO	29	32	30	27
MODERADO	23	2	0	11
MODERADO-FUERTE	14	0	0	2
FUERTE	1	0	0	0
MUY FUERTE	0	0	0	0

Tabla 5-1. Reparto intensidades del viento

Una vez observada esta tabla, se han realizado las pertinentes divisiones que se comentaran posteriormente.

5.1. Tarifa

Esta ciudad está situada en una localización especial que hace que su análisis en todo estudio sobre el viento sea imprescindible. Tarifa establece la división entre dos continentes, además de separar el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico, por tanto, actúa como doble frontera. Además, se encuentra en el epicentro del Estrecho de

Gibraltar. Por estos, entre otros motivos, el estudio de Tarifa para cualquier tema en relación a lo que ocurre en el Estrecho, es de vital importancia.

5.1.1 Dirección del viento

El viento en Tarifa es el actor principal, o mejor decir que son los actores principales ya que cuenta con 2 vientos predominantes. En Tarifa existe un viento que proviene del oeste denominado Poniente y otro que es más frío y proviene del este que se denomina Levante. Acostumbran a tener unas direcciones muy fijas, ya que, debido a su alta intensidad son poco influenciados por otros factores como pueden ser las brisas.

Como consecuencia, el estudio del viento en Tarifa adquiere gran interés por su posible implementación en campos de la ingeniería como por ejemplo, un estudio sobre la construcción de un campo de aerogeneradores, donde el exhaustivo conocimiento de los vientos adquiere una gran importancia.

5.1.1.1 Levante

Durante el estudio de este trabajo se han recogido en Tarifa 43 días de viento provenientes del este. Como se contempla, es el tipo de viento más propenso en esta zona, pues se tienen más del 50% de vientos de esta dirección, frente a los 37 días de viento de poniente y cambiante. En la siguiente tabla se puede observar los resultados obtenidos.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	89	42	98	7	19	0
P2	80	36	84	5	24	2
P1F	91	42	98	5	15	0
P2F	82	37	86	3	20	2
P1R	77	38	88	7	33	0
P2R	68	33	77	6	31	2
P1RF	79	37	86	6	31	0
P2RF	68	32	74	5	32	1

Tabla 5-2. Viento levante en Tarifa

Ante el primer caso de análisis, se va a realizar una breve indicación sobre qué son los datos que nos indica la tabla. Las filas están formadas por los datos relacionados con las predicciones a 24 horas (1) y a 48 horas (2), filtradas (F) o no filtradas (-) y mediante el método 1, el más benévolo, o el método 2 (R). En cuanto a las columnas, por orden de aparición, se tiene la tasa de acierto horario en todo el intervalo de tiempo estudiado, los días que se consideran acertados, el porcentaje de estos días acertados, y si las predicciones se caracterizan por errar por sobrepredicción (SOBP), subpredicción (SUBP) o no destacar ni por uno ni por otro caso (IGUAL).

Introduciéndonos en el análisis en sí, se advierte como la media de aciertos para la predicción primera suele estar en torno al 90%, es decir, de cada diez horas, el modelo acierta 9, mientras que para la predicción 2 se encuentra en torno al 80%. Con el siguiente método, como era de esperar al ser más restrictivo, estos valores bajan considerablemente en más del 10%.

Se ha dicho anteriormente que un día se considera como acierto si más del 50% de las horas son consideradas como correctas. Para la predicción 1, con el método menos duro, se obtienen 42 de 43 aciertos, un dato que roza el 100% de días acertados. Para la predicción 2, al ser más lejana en el tiempo, baja un poco este porcentaje, al igual que ocurre al implementar el método 2. Aun así, tanto estos valores, como el porcentaje de acierto, siguen siendo muy buenos.

Como el modelo de predicción perfecto no existe, es de esperar que se produzcan errores que hay que analizar para una posible mejora futura. Vemos en la tabla que el número de subpredicciones sobresa sobre los casos de sobrepredicción o los casos que no muestran una tendencia clara. Por tanto, se puede concluir que cuando el modelo se muestra errático suele ser por subpredicción.

El viento de levante en Tarifa es el viento con mayor intensidad de todos los analizados y es por eso que es en el que menos influyen las brisas. Por esto apenas hay diferencia entre la brisa de tarde y mañana, teniendo un comportamiento similar donde destaca siempre la subpredicción. Como se ve en la siguiente tabla:

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBP T	SUBP T	IGUAL T
P1	7	19	0	4	14	1	5	16	0
P2	5	24	2	5	19	1	3	19	1

Tabla 5-3. Brisas en Tarifa para levante

En la tabla superior, se agrupan los diferentes tipos de errores en 3 intervalos de tiempo, las tres primeras columnas pertenecen a las 24 horas del día, las tres siguientes a las 12 primeras horas, donde influye la brisa diurna (M) y las tres últimas columnas a las 12 últimas horas con brisa nocturna (T).

A continuación, se contempla un día típico de esta clasificación, se trata del día 4 de diciembre.

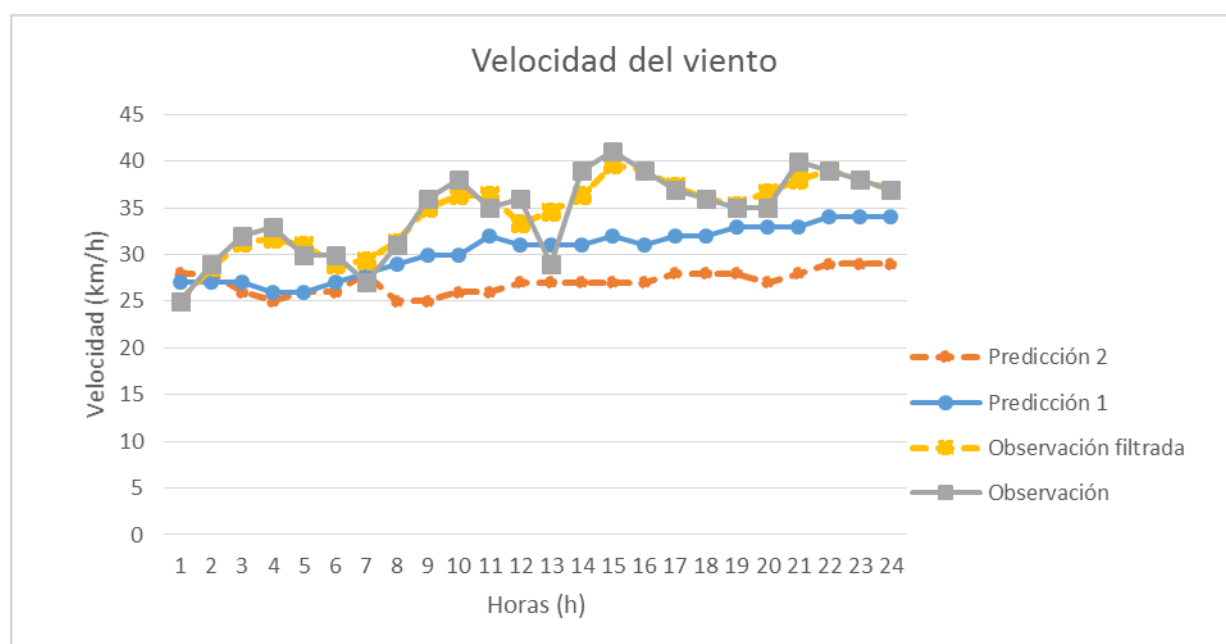


Figura 5-1. Ejemplo Tarifa con levante

Este día, aunque el modelo se acerca muy bien a la observación, como suele pasar para levante en Tarifa, los errores que se producen son debidos a subpredicción. También se aprecia como la predicción 2 al estar realizada más lejana en el tiempo, se encuentra más errática en cuanto a la predicción. Algo más que razonable. El filtrado ayuda a suavizar los picos de la observación haciendo que la diferencia con las predicciones sea menor.

5.1.1.2 Poniente

Para este tipo de viento, en Tarifa, durante el periodo estudiado, se han tenido 15 días de poniente, lo que representa casi un 20% del total de días. A continuación, vamos a comentar los datos obtenidos.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	76	13	89	5	7	2
P2	76	14	93	9	3	3
P1F	78	12	80	5	6	2
P2F	77	14	93	8	2	2
P1R	73	13	87	4	7	3
P2R	75	14	93	9	4	2
P1RF	76	13	87	5	7	1
P2RF	76	14	93	8	4	2

Tabla 5-4. Viento poniente en Tarifa

Lo primero que nos llama la atención es como la media baja considerablemente respecto a la dada por el viento de levante. Por lo tanto, se puede establecer que el modelo actúa peor para este tipo de viento. Tenemos una media horaria de alrededor del 75% de acierto, sin grandes diferencias entre la predicción 1 y la predicción 2. Esta última no varía mucho respecto al viento de levante. Por este motivo, es conveniente concluir que, a 2 días vista la probabilidad de acierto entre el viento de levante y de poniente es similar. Sin embargo, el modelo es más fiable para viento de levante en la predicción 1. En relación al resultado obtenido por el filtrado, no se observan grandes diferencias, así como tampoco, entre ambos métodos de análisis.

Respecto al número de aciertos, se encuentra en una horquilla de entre 12 y 14 aciertos de 15 analizados. Unos valores bastante aceptables.

Al contrario que en el viento de levante, no hay una clara tendencia de los errores. Hay una leve influencia a la sobrepredicción, pero no es tan claro como ocurría en el caso anterior.

En cuanto a las brisas, para poniente ocurre un caso similar que para levante, no hay gran diferencia en los vientos entre la zona diurna y la nocturna del día debido a la localización geográfica en la que se encuentra Tarifa.

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBP T	SUBP T	IGUAL T
P1	5	7	2	4	7	1	5	6	1
P2	9	3	3	9	3	1	9	4	1

Tabla 5-5. Brisas en Tarifa para poniente

Un día que refleja fielmente este análisis podría ser el 8 de octubre.

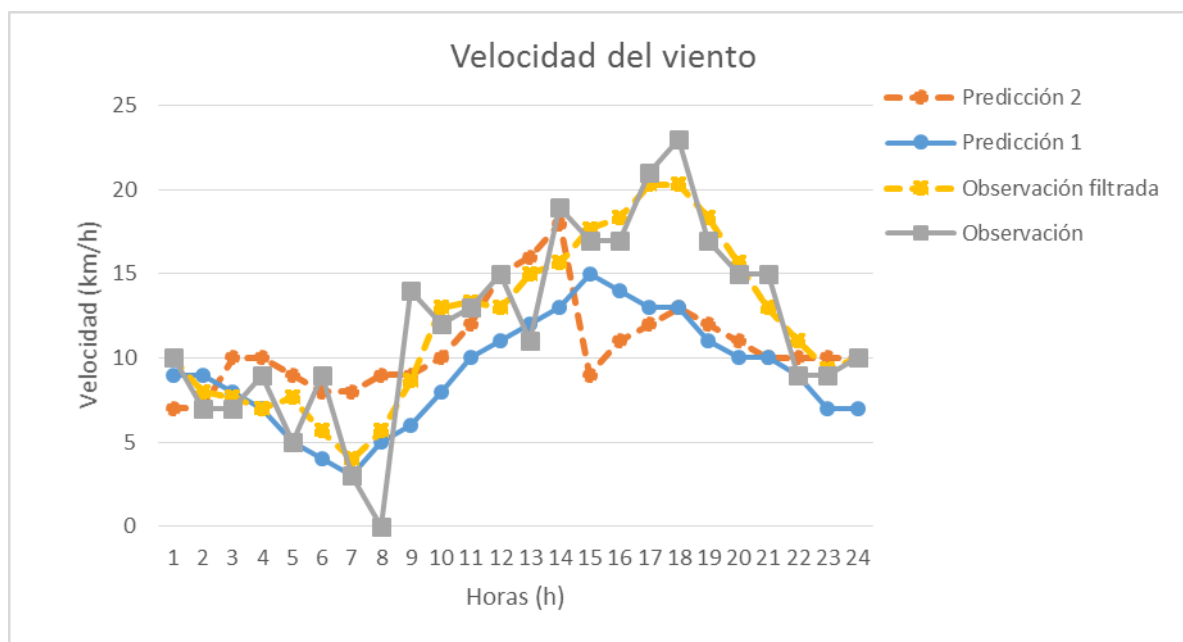


Figura 5-2. Ejemplo Tarifa con poniente

Como se esperaba, hay algunos errores de subpredicción, otros de sobrepredicción, no dejando clara la tendencia. Además, hay zonas donde el acierto es mayor y otras donde se observa más error, haciendo que el porcentaje de acierto no sea tan elevado como con viento de levante.

5.1.1.3 Cambiante

Durante el estudio hemos obtenido 22 días de viento cambiante en Tarifa, lo que representa casi el 30% de los días del periodo. Los datos obtenidos son los siguientes.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	78	20	91	8	9	3
P2	73	19	86	8	10	3
P1F	81	20	91	7	9	1
P2F	75	19	86	6	12	2
P1R	77	19	86	6	10	4
P2R	70	18	82	7	10	4
P1RF	80	20	91	6	8	2
P2RF	72	16	73	5	11	3

Tabla 5-6. Viento cambiante en Tarifa

No hay mucha diferencia entre los resultados cosechados para el viento de poniente y el cambiante. La media de acierto se encuentra como antes, entorno al 75%, pero en este caso hay más diferencia entre la predicción 1 y 2. Esto se debe a que, el viento cambiante es mucho más difícil de predecir, por eso, cuanto más cercano en el tiempo nos encontremos más probabilidad de acertar la predicción.

En cuanto a los días de aciertos, se han obtenido entre 18 y 20 días, con un porcentaje de acierto similar al de poniente.

Cuando se habla del error, como ocurre en el viento de levante, tenemos una tendencia a la subpredicción, aunque también hay también bastantes errores por sobrepredicción.

En este caso, el comportamiento del modelo para las brisas tiene, al contrario que para los casos anteriores, notables diferencias entre la mañana y la tarde. Durante las primeras horas del día es más probable que existan los errores por sobrepredicción mientras que durante la tarde es más probable la subpredicción. No es fácil encontrar un motivo por el que se produce esto, ya que, al ser un viento variable está influenciado por diversos factores.

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBPT	SUBPT	IGUAL T
P1	8	9	3	8	7	1	6	13	0
P2	8	10	3	10	7	3	5	11	3

Tabla 5-7. Brisas en Tarifa para cambiante

Analizando un día en concreto, podemos tener en cuenta el 1 de noviembre.

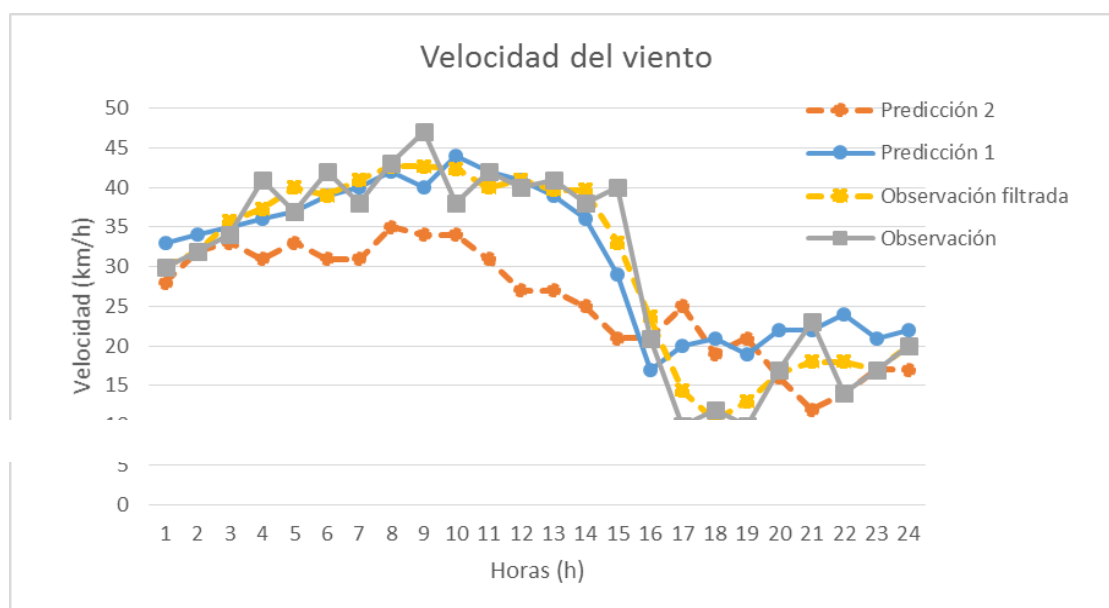


Figura 5-3. Ejemplo Tarifa con cambiante

Este día es un típico día de transición entre uno de levante y otro de poniente. Se comprueba que la predicción 1 es mucho más exacta. Los errores de predicción en este día son por sobrepredicción, en su mayoría por la tarde, cuando según lo comentado anteriormente se esperan más errores por subpredicción. Pero al igual que se tienen más días errados por subpredicción también se han recogido días con errores de sobrepredicción durante la tarde como es este caso. En cuanto a la predicción 2, se muestra mucho más errática con tendencia a cometer errores por subpredicción.

5.1.2 Intensidad del viento

Esta estación es la que se ha recogido los vientos de mayor intensidad debido a su localización clave en el Estrecho de Gibraltar, la cual ya se ha explicado anteriormente. Se ha tenido una media para los 80 días de cerca de 20 km/h. Debido a la diversidad de vientos se ha decidido hacer 3 clasificaciones. En primer lugar, tendríamos los vientos flojos que constan de los 13 días de viento muy flojo y de los 29 de viento flojo. Por otro lado, estarán los vientos moderados con 23 días. Y para concluir, los vientos de mayor intensidad, formados por los 14 días de viento moderado-fuerte y el único día de viento fuerte.

5.1.2.1 Flojo

Como se ha indicado en el párrafo anterior, se tienen, por tanto, 42 días de vientos flojos. El análisis realizado con estos días demuestra que:

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	75	37	88	14	20	5
P2	71	36	86	17	18	6
P1F	77	36	86	13	19	3
P2F	73	36	86	14	17	6
P1R	73	35	83	11	21	7
P2R	68	35	83	16	19	6
P1RF	75	35	83	12	19	3
P2RF	70	33	79	13	19	6

Tabla 5-8. Viento flojo en Tarifa

Se tiene una media de acierto horaria entorno al 75% para la predicción 1 y 70% para la 2. Esta media es mejorada con el filtro y como era de esperar empeora con el método más duro. Una media de un 75% para un viento flojo, que siempre es más difícil de predecir, es un valor bastante bueno. Esto también se ve reflejado en el número de aciertos, ya que, para 42 días se aciertan casi 40, con unos porcentajes de acierto diario del 80%.

En cuanto a los errores, la tabla parece indicar que hay una leve tendencia hacia la subpredicción. Pero tampoco lo muestra de una manera tan clara como en algunos casos analizados con anterioridad. Es de esperar, teniendo en cuenta que los vientos flojos son más difíciles de predecir ya que son más influenciados por otros factores. Esto hace que los errores se deban a diversos motivos y por tanto no haya una tendencia clara.

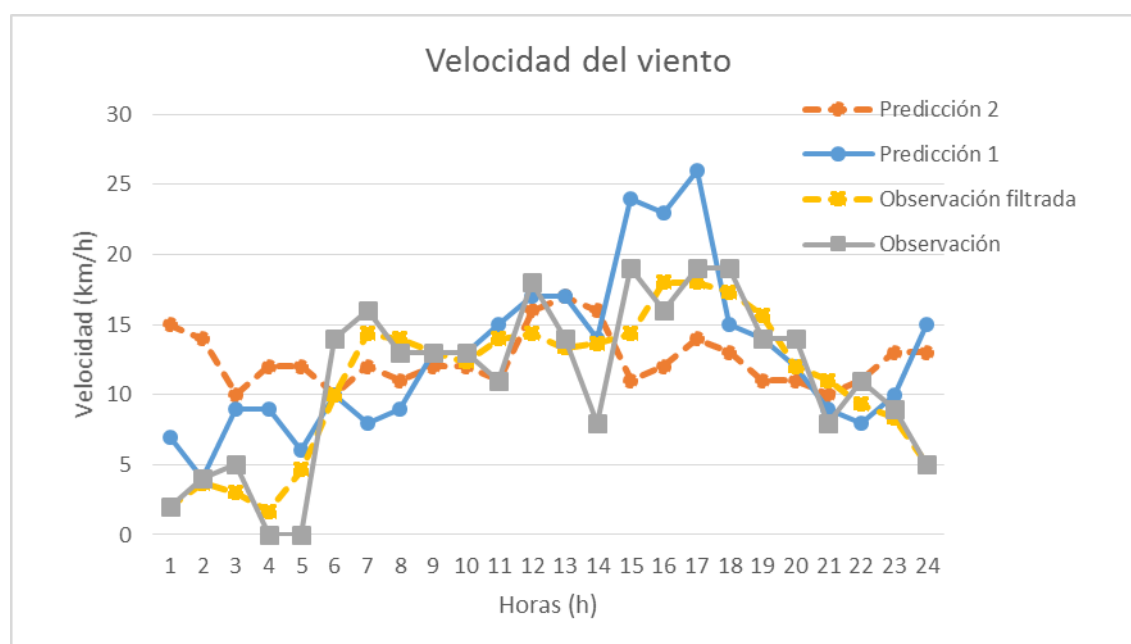


Figura 5-4. Ejemplo Tarifa con viento flojo

Un día que puede satisfacer lo explicado anteriormente es el día 11 de octubre. Con una velocidad media de 11 km/h, podemos observar como el modelo de predicción no tiene una clara tendencia hacia un tipo de error. Además, los errores no son numerosos y se obtiene una buena predicción teniendo en cuenta que estamos tratando con vientos de carácter flojo.

5.1.2.2 Moderado

Analizando ahora vientos de mayor intensidad, de los cuales se han recogido 23 días, se ha extraído lo siguiente:

	Acierto horario (%)	Días acertados	Aciertos diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	90	23	100	4	13	0
P2	77	18	78	2	16	1
P1F	93	23	100	2	10	0
P2F	80	19	83	2	14	0
P1R	73	20	87	3	20	0
P2R	61	15	65	4	18	0
P1RF	78	20	87	3	18	0
P2RF	61	15	61	4	18	0

Tabla 5-9. Viento moderado en Tarifa

Como es razonable, al subir la intensidad del viento el modelo se muestra más fiable. La dirección principal del viento se ve menos influenciada por otros factores y el modelo es capaz de realizar mejores predicciones. Por tanto, se aprecia una media para el método 1 (el más benévolo) de casi el 90%, superado incluso cuando usamos el filtro. Y para la predicción a 2 días de casi el 80%, valores realmente buenos. El punto negativo se muestra cuando usamos el otro método, ya que, los resultados bajan bastante. Esto demuestra que, aunque las predicciones son buenas, tienen cierto error y para lo que el método 1 es una predicción buena, para el 2, que es más exigente, no lo es. Lo mismo se ve reflejado en los aciertos. Por ejemplo, mientras que para la predicción 1 del método uno se alcanza el 100% de aciertos, para el método dos se obtiene un 87%, un 13% menos.

Si pasamos a analizar los errores producidos, ahora sí, se ve una tendencia clara a la subpredicción. Conforme la intensidad aumenta, el modelo es reticente a llegar a tal nivel de intensidad y, por tanto, se producen los errores por subpredicción.

Un buen ejemplo para demostrar esto es el día 11 de noviembre.

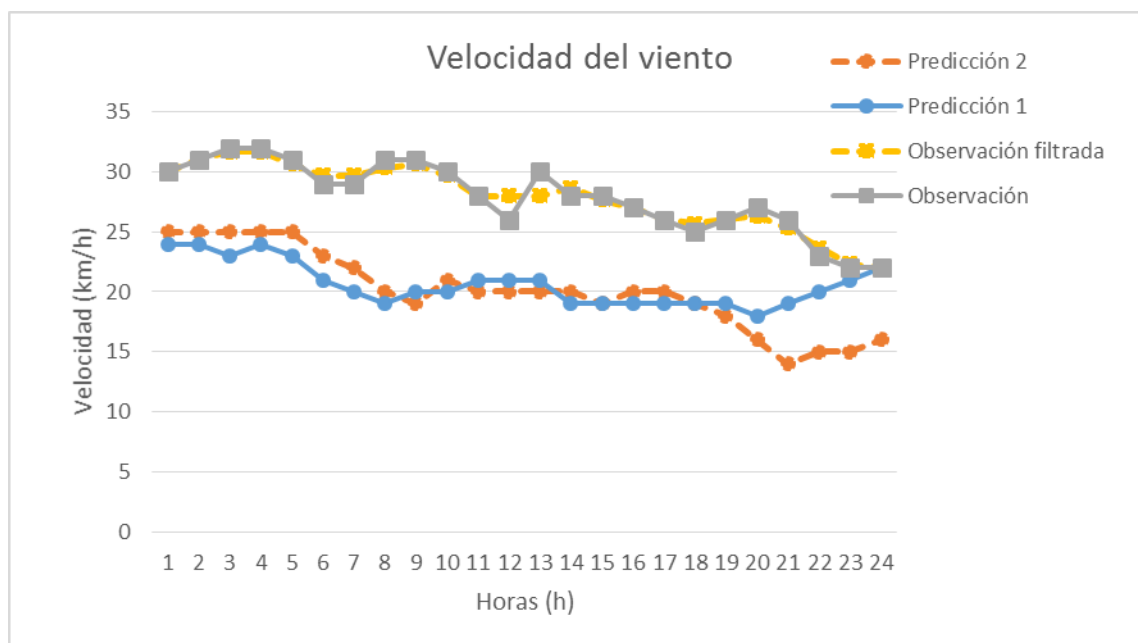


Figura 5-5. Ejemplo Tarifa con viento moderado

Lo primero que llama la atención es qué en caso de haber errores, estos van a ser por subpredicción, tal y como se ha dicho anteriormente. En este caso, ambas predicciones se muestran similares, pero en general la predicción 1 suele estar bastante más acertada que la 2.

5.1.2.3 Fuerte

Por último, queda el análisis referente a los vientos más fuertes. Otoño de 2015 ha sido una estación de vientos poco intensos, es por ello que en este apartado tenemos tan solo 15 días. El resultado obtenido es el siguiente.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	98	15	100	2	2	0
P2	96	15	100	3	3	1
P1F	98	15	100	2	1	0
P2F	96	15	100	1	3	0
P1R	90	15	100	3	9	0
P2R	86	15	100	2	8	2
P1RF	92	15	100	2	9	0
P2RF	87	14	93	1	10	0

Tabla 5-10. Viento fuerte en Tarifa

Cuando un viento es de gran intensidad, es poco influenciado por otros factores y por tanto más fácil de predecir. Los resultados tan buenos, por lo tanto, eran de esperar. Se tiene una media, para el método 1, de más del 95% y un porcentaje de aciertos del 100%, unos valores que rozan la perfección. También hay que decir que, aunque el método restrictivo baja algo los valores, estos siguen siendo excelentes.

Respecto a los errores, hay muy pocos, debido al gran porcentaje de aciertos, pero en caso de haberlos parece que tienden algo más a la subpredicción.

Podemos ver lo comentado en el día 30 de noviembre.

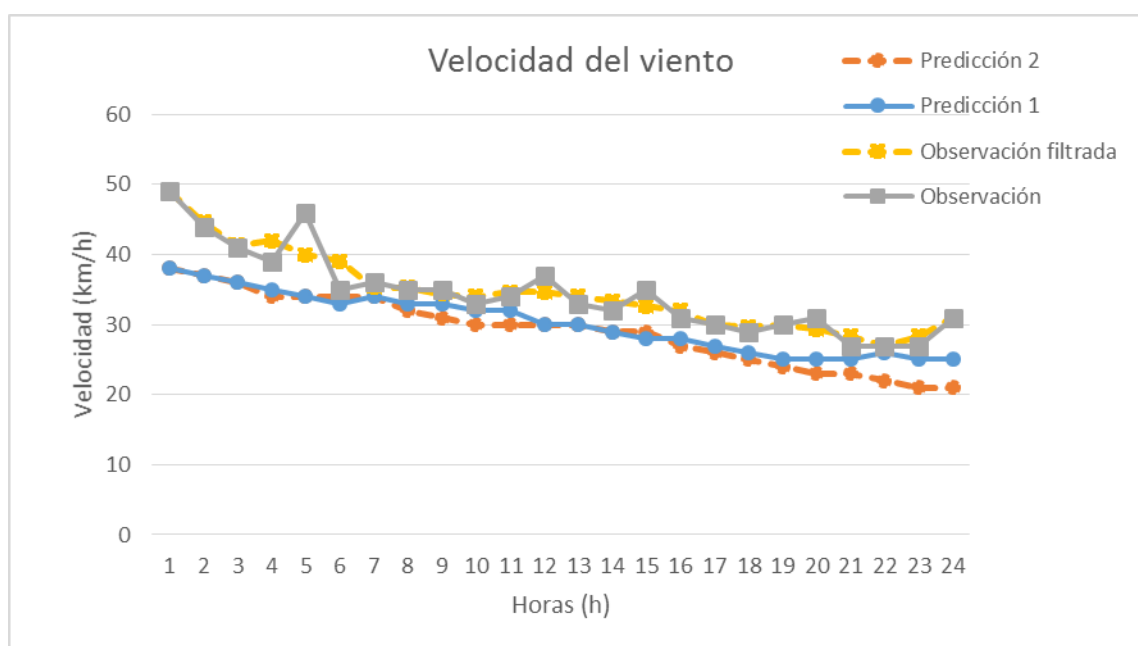


Figura 5-6. Ejemplo Tarifa con viento fuerte

Con una media de 34 km/h para este día, se aprecia que la predicción es muy buena, siendo ambas predicciones y la observación prácticamente iguales.

5.1.3 Comparativa otoño-primavera

Una vez analizados los resultados para la estación meteorológica de Tarifa se ha estimado conveniente realizar una comparativa de comportamientos entre los realizados en este estudio para el otoño y los realizados en el estudio [9] “Montes Gil, Rocío Asunción (2015). Estudio de validación de vientos de AEMET en el Estrecho de Gibraltar” para la primavera.

En este caso, el comportamiento es bastante similar entre la primavera y el otoño. El modelo sigue comportandose de manera adecuada para los dos casos. Teniéndose una tasa de acierto diaria del 80% aproximadamente. Al igual que ocurre en nuestro periodo de estudio, ante viento levante es cuando la estación es predicha de manera más adecuada, con una tasa del 90%. También, como era de esperar, ante vientos con mayor intensidad la actuación es más acertada. Además, los errores que se siguen recogiendo son debidos a una subpredicción del modelo.

La única diferencia es la intensidad de los vientos recogidos, ya que, durante la primavera estos han sido de mayor intensidad.

5.2. San Roque

Muestra la situación del viento en la zona bañada por el Mediterraneo. Su estudio también es importante para mostrar como se comporta el viento en esta zona del Estrecho. Expone el transcurso del viento de levante antes de su paso por el Estrecho y del viento de poniente una vez ha sido acelerado.

5.2.1 Dirección del viento

En esta zona al ser el viento de menor intensidad la dirección del viento se ve más influenciada por otros condicionantes como son la orografía o brisas. Cuando en la zona predomina el viento de levante, el viento tiende a dirección NE, mientras que cuando predomina el Poniente, tiende hacia el SW.

5.2.1.1 Levante

Para San Roque se han considerado 24 días de viento Levante, obteniéndose los siguientes resultados.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	49	10	42	21	2	1
P2	30	4	17	22	1	1
P1F	49	9	38	20	1	1
P2F	30	4	17	22	1	1
P1R	47	10	42	20	2	2
P2R	29	4	17	22	1	1
P1RF	46	9	38	20	2	0
P2RF	28	4	17	22	1	0

Tabla 5-11. Viento levante en San Roque

Se contempla como los resultados no son muy aceptables, ya que, para la predicción a 1 día, tenemos una media horaria de aciertos que no supera el 50%, mientras que, para la predicción a 2 días se tiene una media de un 30%. Hay un hecho que llama bastante la atención. Es el hecho de que el uso del filtro disminuya aún más la media. Esto se debe a que cuando un modelo no es muy acertado, el filtro elimina los picos y suaviza la observación produciendo así que el modelo no tome como aciertos algunos de estos picos como si pasa cuando no se usa el filtro.

El mal comportamiento del modelo también se ve palpable en el número de aciertos y el porcentaje, los cuales no superan la mitad en ningún caso.

Ante un panorama como este, donde el modelo se muestra bastante erróneo, es más útil, aún si cabe, el análisis de los errores. Como se puede ver en la tabla, los errores son producidos mayoritariamente por sobrepredicción.

Estos errores en algunos casos son inducidos por las brisas. En San Roque, las brisas sí que juegan un papel fundamental. Ante viento levante, con la brisa diurna introduciéndose en el continente y debido a la situación geográfica de San Roque ambos vientos unen sus fuerzas aumentando levemente la intensidad del viento principal. El modelo no predice correctamente este aumento dando lugar a subpredicciones durante la brisa diurna y sobrepredicciones durante la brisa nocturna, cuando esta se opone al viento levante, como muestra a tabla. En ella podemos ver cómo aunque la sobrepredicción destaca en ambos momentos del día, en la tarde la sobrepredicción es mayor y en la mañana la subpredicción.

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBPT	SUBPT	IGUAL T
P1	21	2	1	17	3	0	18	1	2
P2	22	2	1	20	1	0	21	1	1

Tabla 5-12. Brisas en San Roque para levante

El motivo por el que, aunque la brisa produzca subpredicciones por la mañana, se sigan recogiendo sobrepredicciones en su mayoría se aprecia en la siguiente figura correspondiente al 20 de octubre.

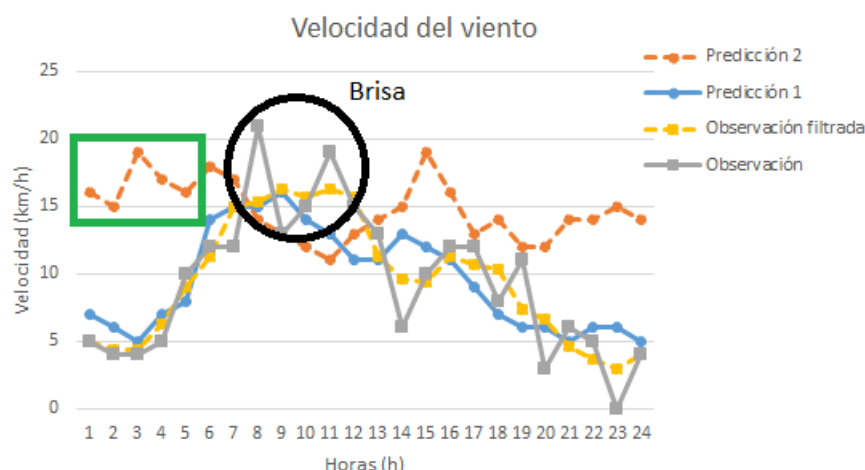


Figura 5-7. Errores por viento levante en San Roque

En esta figura se puede advertir como la predicción 2 y la 1 realizan diferentes comportamientos. La predicción 1 representa una predicción adecuada, mientras que la 2 está fuertemente sobrepredimensionada. En San Roque, para viento de levante, debido a las brisas, se espera subpredicciones durante la mañana y sobrepredicciones durante la tarde. Al estar la predicción 2 alterada, produciendo sobrepredicciones durante todo el día hace que el modelo acierte el momento de la brisa, pero produzca errores en el momento anterior como señala el rectángulo, recogiendo durante las primeras 12 horas sobrepredicciones cuando esperábamos subpredicciones y dando como resultado la tabla mostrada anteriormente. Lo mismo que ocurre aquí con la predicción 2 ocurre en otros casos con la predicción 1, pero se ha creído conveniente mostrar este día para ver la diferencia entre una buena predicción y una incorrecta.

Un día que representa bastante leal el comportamiento de la estación para viento de levante es el 14 de noviembre.

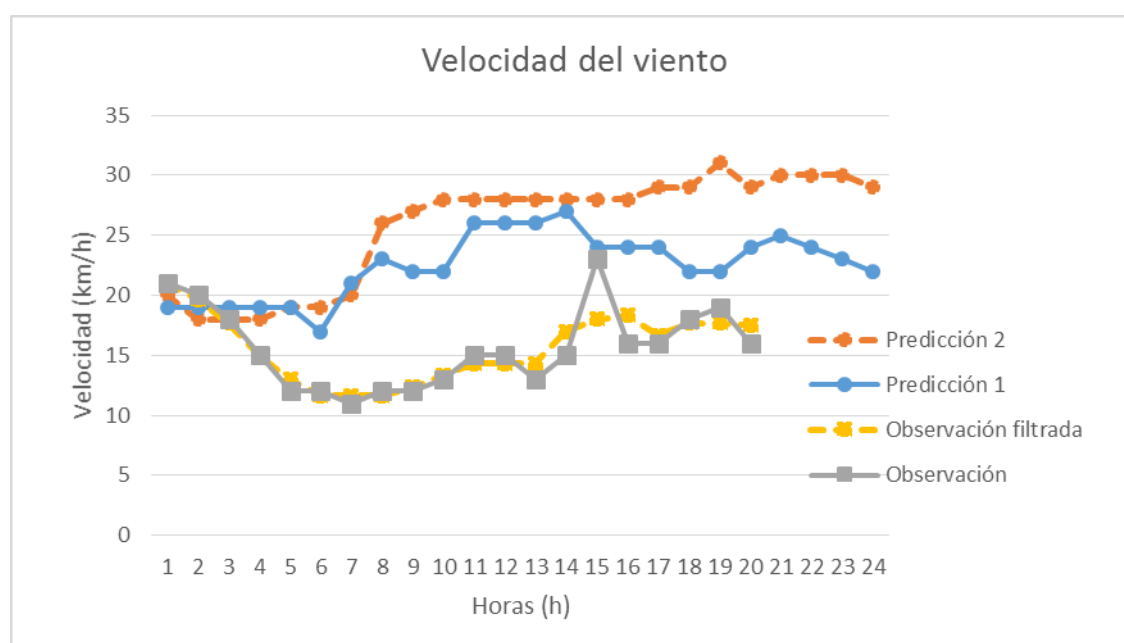


Figura 5-8. Ejemplo San Roque con levante

Se puede apreciar como el modelo no es muy preciso, ya que tiene bastante error por sobrepredicción. Además, también muestra claramente como actúa negativamente el filtro. Por ejemplo, a las 15 horas, el pico de la observación no filtrada puede ser dado como bueno, sin embargo, al suavizar el filtro la observación podría ser tomada como error.

5.2.1.2 Poniente

En este momento se van a analizar 20 días de viento del oeste que se han tenido en San Roque durante el periodo estudiado.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	66	17	85	4	12	4
P2	70	19	95	6	12	2
P1F	69	16	80	4	14	2
P2F	74	19	95	6	10	2
P1R	64	17	85	4	12	4
P2R	68	18	90	6	11	3
P1RF	66	15	75	4	14	2
P2RF	71	18	90	6	12	1

Tabla 5-13. Viento poniente en San Roque

Los resultados obtenidos son algo más benévolos que en el caso de viento de levante. Se tiene una media horaria de acierto de entorno al 70%, un valor aceptable. Pero en este caso, se observa un hecho bastante extraño, y es que, la predicción a 2 días es más precisa (cierto es que no hay mucha diferencia) que la predicción a 1 día.

El número de aciertos es alto, cercano al pleno, con porcentajes de 85-95%. Esto indica que la mayoría de los días la media horaria es mayor al 50%, por lo que el modelo es bastante estable en sus pronósticos.

Aun así, se tienen errores que como se observa en su gran mayoría, y al contrario que sucedía para el viento de levante, son por subpredicción.

Si analizamos el comportamiento de las brisas, para poniente ocurre justamente lo contrario que en el caso anterior. La brisa diurna va a en contra del poniente disminuyendo la intensidad de este y produciéndose más sobrepredicciones en este tramo horario. Mientras que, por la tarde la brisa va a favor del poniente y se produce mayor número de errores por subpredicción. Como muestra la tabla donde para la tarde hay, 14 días en los cuales destaca la subpredicción y para la mañana 10 días.

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBPT	SUBPT	IGUAL T
P1	4	12	4	7	10	1	5	14	0
P2	6	12	2	5	11	0	6	9	3

Tabla 5-14. Brisas en San Roque para poniente

Pero aunque exista diferencia entre mañana y tarde, en ambas sigue predominando la subpredicción. El motivo por el cual se produce esto es igual que para el caso de levante pero opuesto y se puede ver representando en lo que ocurre en el día 16 de noviembre.

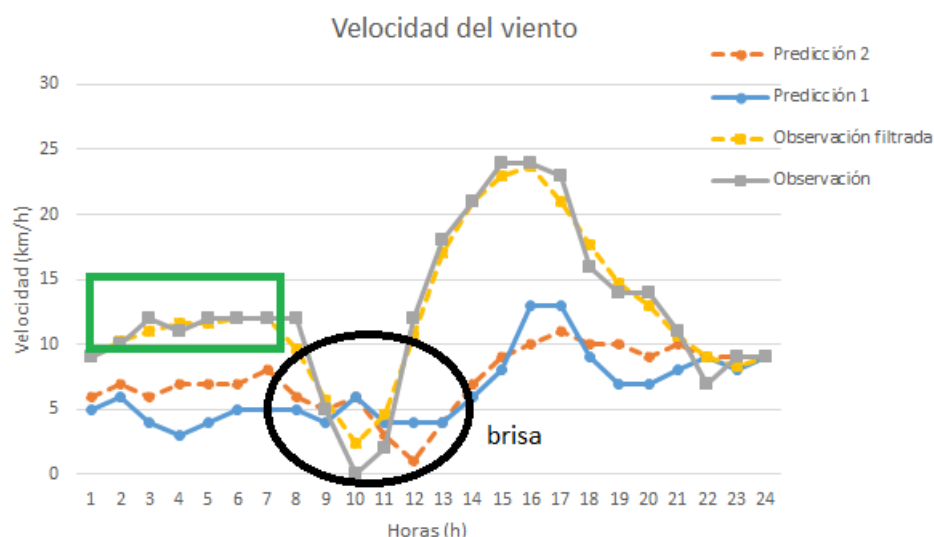


Figura 5-9. Errores por viento poniente en San Roque

Como se dice en la tabla anterior, en San Roque, con viento de poniente, se esperan subpredicciones. Esto se debe a que la brisa de la mañana provoca en la observación una disminución de la intensidad como se muestra en la imagen. Debido a la tendencia a la subpredicción pronostica bien este momento, pero no ocurre lo mismo para las horas anteriores. Por tanto, durante las 12 primeras horas del día se recogen más subpredicciones que sobrepredicciones. Hecho que es contrario a lo esperado.

Otro ejemplo de esto tipo de viento en San Roque puede ser el siguiente (24 de noviembre).

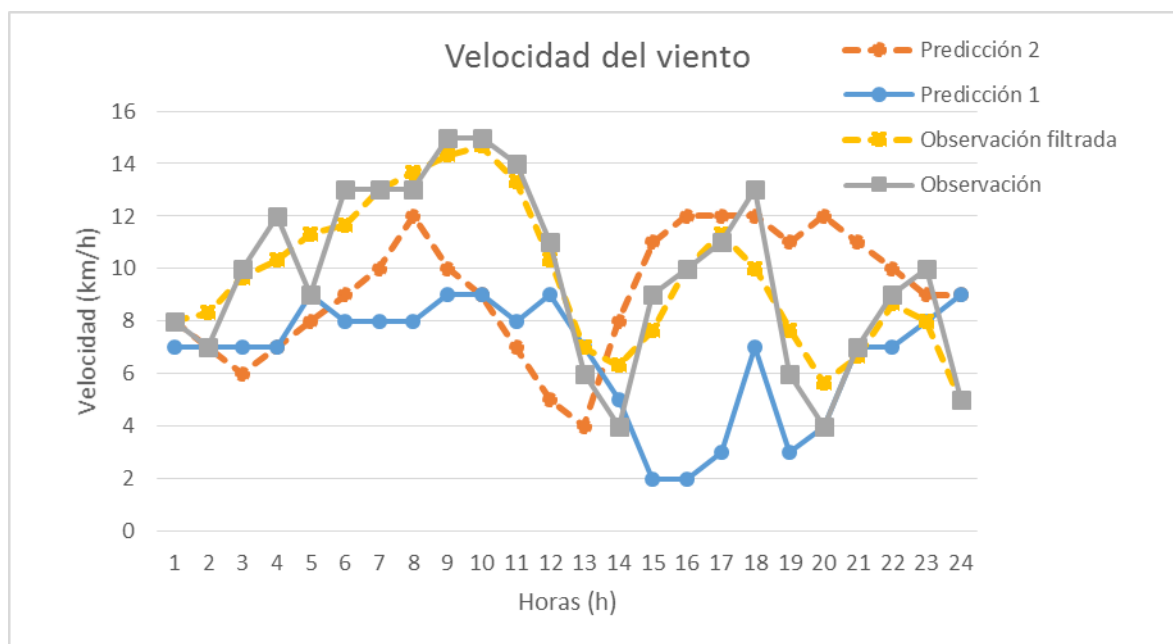


Figura 5-10. Ejemplo San Roque con poniente

En este caso, como se expone anteriormente, la predicción 2 es más exacta que la 1, pero aún así no existe gran diferencia entre ambas. Como en el ejemplo anterior, cuando la intensidad del viento disminuye por el efecto de las brisas, el modelo se comporta de una manera más correcta, pero al igual que antes, para las horas anteriores muestra errores por subpredicción.

5.2.1.3 Cambiante

Debido a que en San Roque el viento no tiene tanta intensidad, la dirección del viento depende de más factores. Es por ello que, de viento cambiante se tienen 31 días de estudio.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	62	18	58	12	16	3
P2	58	16	52	16	6	6
P1F	59	16	52	15	15	1
P2F	59	16	52	17	6	3
P1R	62	18	58	16	16	5
P2R	58	16	52	15	6	6
P1RF	59	16	52	15	15	1
P2RF	59	16	52	17	6	5

Tabla 5-15. Viento cambiante en San Roque

Se observa como se tiene una media horaria que varía poco entre la predicción 1 y la 2, si se ha filtrado o no, o si se usa el método 1 o 2. Todos los valores están alrededor del 60%, qué para ser un viento cambiante, y por tanto, más difícil de predecir, no es un mal resultado.

Respecto, al número de aciertos y su porcentaje, se tiene que es superior a la mitad, es decir, la mitad de los días se pueden considerar que el modelo acierta.

Los errores que se tienen, tienen dos variables. Por un lado, para la predicción 1, destacan notablemente los errores por sobrepredicción, mientras que, para la predicción 2, se tiene la misma probabilidad de un error por sobrepredicción que por subpredicción.

En este caso es donde más se ven las diferencias entre tipos de brisas. Por la mañana se ve una clara tendencia a la subpredicción mientras que por la tarde a la sobrepredicción. Este comportamiento es el esperado para viento de levante. Puede deberse que muchos de los casos recogidos en esta clasificación puedan ser vientos de levante que debido a las brisas han cambiado su dirección y han sido catalogados como vientos cambiantes.

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBP T	SUBP T	IGUAL T
P1	12	6	3	9	17	1	16	7	3
P2	16	6	6	12	11	2	15	5	2

Tabla 5-16. Brisas en San Roque para levante

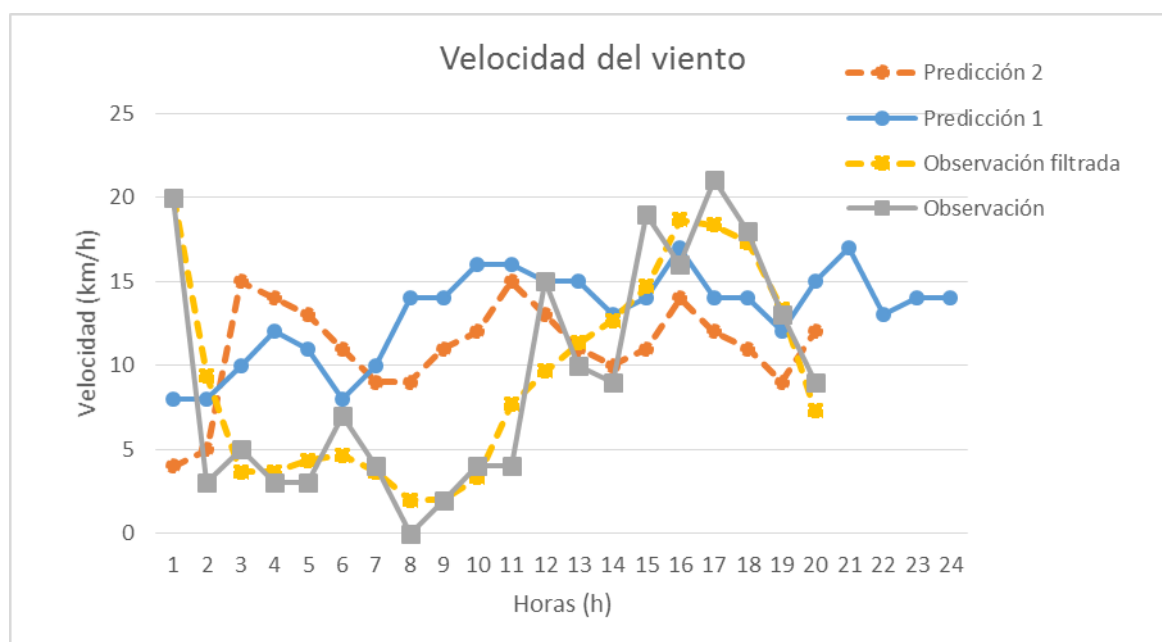


Figura 5-11. Ejemplo San Roque con cambiante

El día 19 de octubre refleja lo que se ha intentado expresar en las líneas superiores. Se demuestra como hay zonas donde el modelo es más certero que en otro y, mientras que, para la predicción 1 el error es sobre todo de sobrepredicción, para la predicción 2 hay de ambos. Por el contrario, este caso no es el típico proceso de actuación ante lo comentado sobre las brisas anteriormente, pues, para la mañana se esperan subpredicciones y en este caso nos encontramos ante sobrepredicciones.

5.2.2 Intensidad del viento

En esta estación se ha observado una media de casi 11 km/h. Esto implica que al no haberse registrado vientos de alta intensidad se ha decidido realizar dos divisiones. Por un lado, los vientos muy flojos con un total de 41 días y, por otro lado, los vientos flojos que constan de 32 días junto a 2 días de viento moderado que se han obtenido.

5.2.2.1 Muy flojo

Se va tratar, a continuación, que nos arrojan los datos recogidos sobre vientos muy flojos (41 días)

Teniendo en cuenta que es un viento de baja intensidad, y que pertenece a San Roque, donde los vientos están más influenciados que en Tarifa, una media para la predicción 1 de entorno al 60-70% y en torno al 58-60% para la predicción 2 son datos bastante buenos. Un análisis similar se puede desprender de los aciertos.

Respecto a los errores hay diferencias entre la predicción a 24 horas y a 48 horas. Para la predicción 1, no hay gran diferencia entre errores por sobrepredicción y por subpredicción. Sin embargo, para la predicción 2 hay una tendencia a la sobrepredicción.

	Acuerdo horario (%)	Días acertados	Acuerdo diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	64	29	71	16	20	5
P2	59	24	59	20	10	6
P1F	68	26	63	18	19	3
P2F	60	25	61	23	10	5
P1R	64	29	71	15	20	6
P2R	59	24	59	22	10	6
P1RF	62	26	63	18	19	3
P2RF	60	25	61	23	10	5

Tabla 5-17. Viento muy flojo en San Roque

Veamos el día 17 de noviembre.

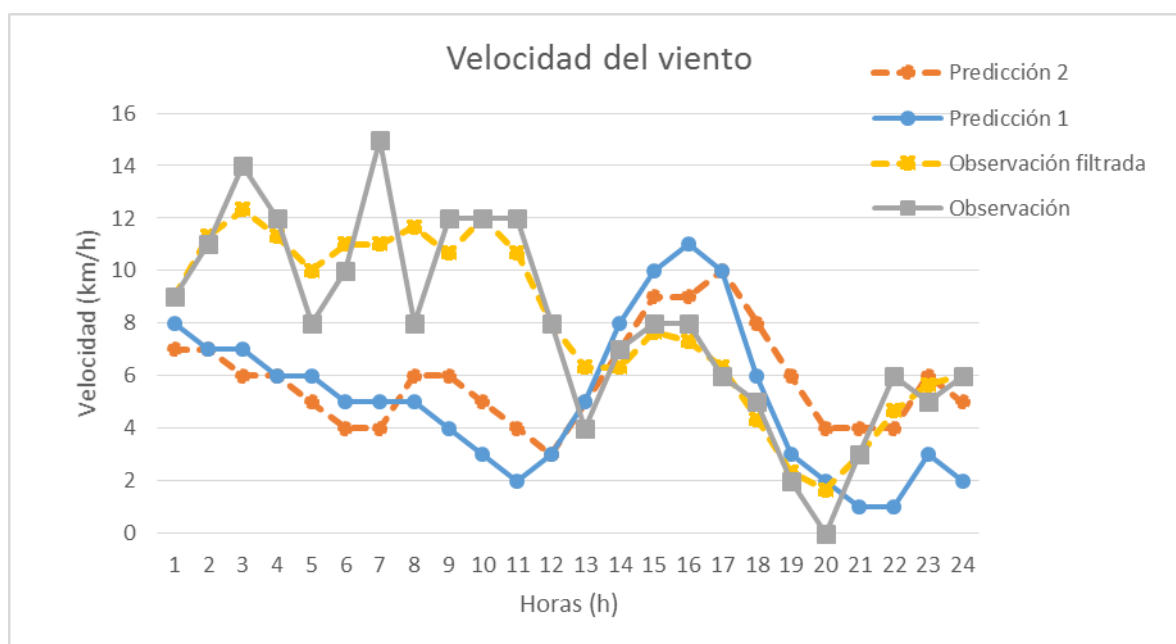


Figura 5-12. Ejemplo San Roque con viento muy flojo

Vemos como el modelo se muestra bastante errático por momentos, mientras que, en otros casos predice bastante bien. Lo esperado ante una tasa de acierto del 60%. En cuanto a las brisas no muestra una clara tendencia ni en la tabla, ni en este ejemplo, pues en ambos casos se han sucedido sobrepredicciones y subpredicciones.

5.2.2.2 Flojo y moderado

Con los 34 días analizados de esta división de viento se ha obtenido los siguientes datos:

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	52	16	47	21	10	3
P2	45	15	44	22	9	3
P1F	53	15	44	21	11	1
P2F	46	14	41	22	7	2
P1R	50	16	47	21	10	3
P2R	43	14	41	22	8	4
P1RF	50	14	41	21	12	0
P2RF	43	13	38	22	9	2

Tabla 5-18. Viento flojo y moderado en San Roque

Al contrario de lo esperado, cuando la intensidad aumenta la fiabilidad del modelo disminuye. Como se ve, tenemos unos datos entorno al 50% en la media, mientras que, para los vientos flojos era del 60%. Algo menor para la predicción 2, como es normal. No hay gran diferencia entre métodos de bondad, ni entre el uso del filtro o no. Por lo que las predicciones se puede extraer que estas son muy estables. Un análisis similar se puede desprender de los aciertos.

Si nos fijamos ahora en las últimas tres columnas, vemos que el mayor número de errores, recae sobre la columna de sobrepredicción.

En el ejemplo siguiente, correspondiente al día 14 de noviembre se aprecia como el modelo falla por sobrepredicción como han demostrado la tabla anterior. La predicción no es muy aceptable, ya que, aunque empieza con una buena actuación, con el transcurso del día empeora notablemente.

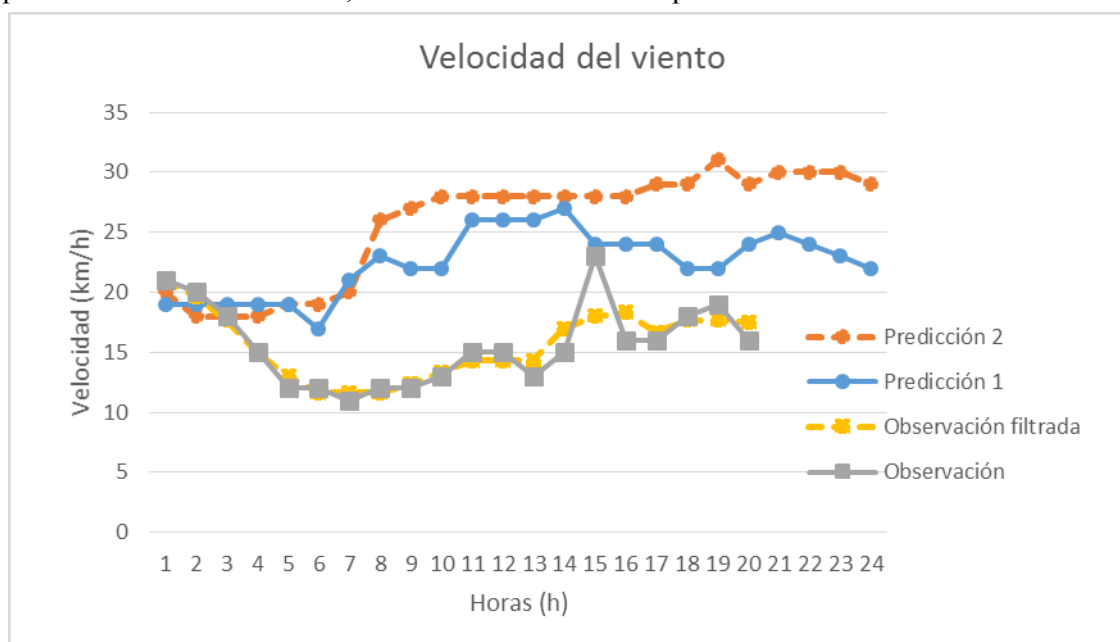


Figura 5-13. Ejemplo San Roque con viento flojo y moderado

5.2.3 Comparación otoño-primavera

Si se compara, nuevamente, las diferencias entre primavera y otoño con la ayuda del TFG [9] podemos establecer que no hay muchas diferencias. Comenzando con los errores, se recogen errores de sobrepredicción para viento levante y errores de subpredicción para viento poniente, tal y como ocurre en el periodo de nuestro estudio. Si estudiamos las brisas, que son el fenómeno más importante en San Roque, para la primavera se establece que la brisa que se produce durante el atardecer es la más perjudicial. En nuestro estudio ocurre un comportamiento similar, pues, para el caso de levante, aunque la tendencia diaria es a la sobrepredicción, el incremento de este error es mucho mayor por la tarde si se compara con el incremento de subpredicciones por la mañana cuando las brisas son propensas a producir este tipo de error. Lo mismo ocurre con viento poniente, aunque la tendencia general ante este viento es a la subpredicción esta se ve mucho más patente en la tarde.

La mayor diferencia puede residir en los datos obtenidos cuando analizamos la intensidad del viento. Durante primavera se obtienen mejores resultados para vientos de mayor intensidad, mientras que, para otoño ocurre lo contrario.

5.3. Ceuta

Muestra la verificación del modelo en un punto de la costa africana del Estrecho de Gibraltar. Una zona de gran importancia porque es la única de las cuatro estaciones elegidas que se encuentra en el continente africano y, por tanto, más al sur.

5.3.1 Dirección del viento

Al encontrarse en una zona simétrica respecto al eje horizontal del Estrecho respecto a Tarifa, la dirección del viento sigue un patrón similar a la localidad analizada anteriormente.

5.3.1.1 Levante

De los 27 días, clasificados como viendo de levante en Ceuta, se han extraído los siguientes datos.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	24	3	11	27	0	0
P2	10	1	4	27	0	0
P1F	17	1	4	27	0	0
P2F	7	0	0	27	0	0
P1R	22	3	11	27	0	0
P2R	10	1	4	27	0	0
P1RF	13	1	4	27	0	0
P2RF	7	0	0	27	0	0

Tabla 5-19. Viento levante en Ceuta

Se advierte rápidamente que el comportamiento del modelo, en este caso, no es bueno, teniendo una media de la tasa de acierto entorno al 10-20% y con situaciones donde, de los 27 días estudiados ninguno se ha considerado como día acertado por la predicción. Vuelve a ocurrir, como se comentó antes, que cuando el modelo tiene un mal comportamiento, el filtro no hace nada más que empeorar, aún si cabe, los resultados.

Es, por tanto, vital estudiar el tipo de error ante esta situación. El resultado, al igual que el modo de comportamiento del modelo, vuelve a ser claro. Durante todos los días de viento de levante se han tenido errores de sobrepredicción.

Si observamos el comportamiento ante las brisas, para este caso, no se puede extraer ninguna información no comentada con anterioridad, ya que, la situación respecto a la predicción en Ceuta está fuertemente influenciada por los errores de sobrepredicción.

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBP T	SUBP T	IGUAL T
P1	27	0	0	26	0	0	26	1	0
P2	27	0	0	26	0	0	26	1	0

Tabla 5-20. Brisas en Ceuta para levante

Podemos ejemplificar lo comentado con el día 6 de noviembre.

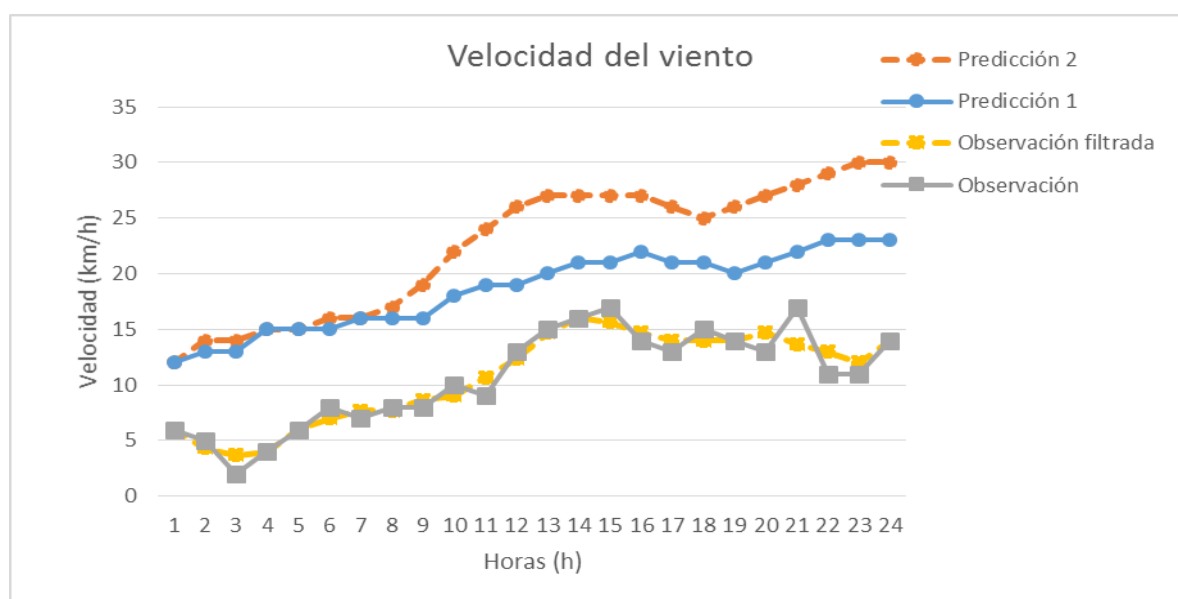


Figura 5-14. Ejemplo Ceuta con levante

Para este día, se tiene una tasa media de acierto de 16,67% para la predicción 1 y de 0% para la predicción 2. Se ve claramente como todos los errores son de sobrepredicción, como refleja también la tabla. Por tanto, la estación de Ceuta ante un viento de levante, no tiene un buen comportamiento.

5.3.1.2 Poniente

Se han clasificado como viento poniente en Ceuta un conjunto de 14 días.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	56	7	50	13	0	0
P2	43	5	36	13	1	0
P1F	57	9	64	13	0	1
P2F	43	5	36	13	1	0
P1R	54	6	43	13	0	0
P2R	42	5	38	13	1	0
P1RF	56	9	64	13	0	1
P2RF	41	5	36	13	1	0

Tabla 5-21. Viento poniente en Ceuta

Para la predicción 1, tras lo visto en el viento de levante, se tendría un comportamiento aceptable ya que la media es superior al 55% y el número de días acertados es mayor o como mínimo igual que el de días fallados. Es este caso, al actuar de forma más benévola el filtro actúa de manera adecuada. Por otro lado, para la predicción 2, el funcionamiento del modelo de predicción es peor con una media algo superior al 40% y una tasa de aciertos que en algunos casos es del 35%, que no puede ser considerada como buena. Vuelve a suceder, ante malos comportamientos, que el filtro no es de ayuda para la predicción.

Hay algo en lo que si coincide con el tipo de viento anterior, y es el tipo de error. Para poniente, los errores tienen una clara tendencia a ser por sobrepredicción nuevamente.

Lo mismo ocurre con las brisas, el modelo tiene errores sistemáticos por sobrepredicción y no es posible extraer conclusión alguna.

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBP T	SUBP T	IGUAL T
P1	13	0	0	11	0	0	11	0	1
P2	13	1	0	13	1	0	11	1	2

Tabla 5-22. Brisas en Ceuta para poniente

Un ejemplo de este tipo de comportamiento es el día 3 de noviembre.

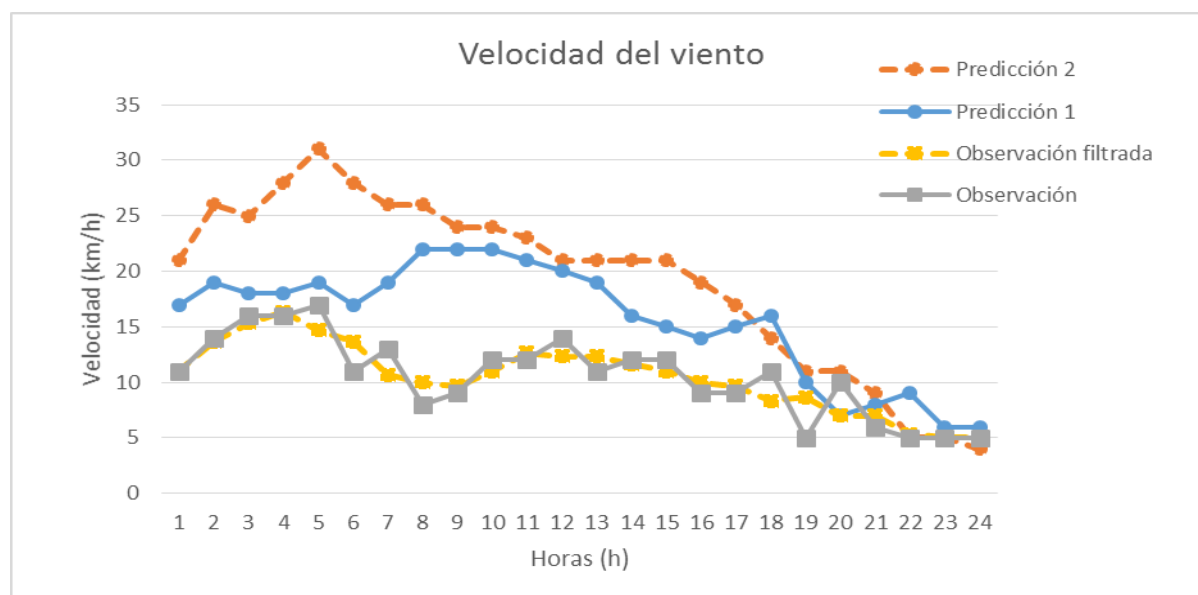


Figura 5-15. Ejemplo Ceuta con poniente

Aunque en este ejemplo el comportamiento es algo mejor que en el caso de levante se siguen sucediendo los errores por sobrepredicción durante todo el día. Además, el modelo es menos fiable cuanto mayor sea la intensidad de la predicción.

5.3.1.3 Cambiante

El resto de los días estudiados, es decir 38 días, se han considerado como viento cambiante o variable.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	64	26	68	33	4	0
P2	44	18	47	30	2	4
P1F	62	23	61	31	3	0
P2F	46	17	45	32	2	1
P1R	64	26	68	33	4	0
P2R	42	18	47	30	2	4
P1RF	62	23	60	31	3	0
P2RF	46	17	45	32	2	1

Tabla 5-23. Viento cambiante en Ceuta

Para viento cambiante tenemos una conducta muy similar al viento poniente, con una media de acierto horario de la predicción 1 cercana al 60% y para la predicción 2 superior al 40%. El número de aciertos y su porcentaje está muy parejo con el tipo de viento anterior. Además, los errores, como se viene repitiendo en Ceuta, son por sobrepredicción.

En las brisas ocurre algo similar. Si acaso resaltar que durante la tarde incrementa algo la probabilidad de errores por subpredicción.

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBPT	SUBPT	IGUAL T
P1	33	4	0	26	3	1	26	5	1
P2	30	2	4	26	3	0	28	4	1

Tabla 5-24. Brisas en Ceuta para cambiante

Por ejemplo, se tiene el día 30 de octubre.

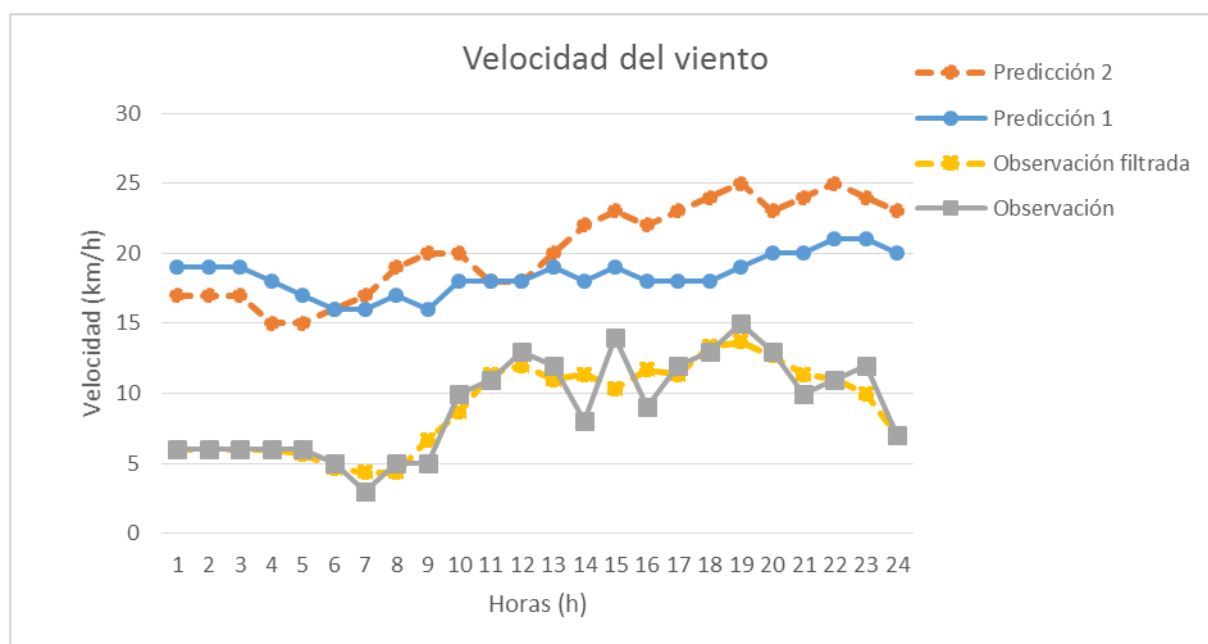


Figura 5-16. Ejemplo Ceuta con cambiante

El problema con la sobrepredicción es latente en el caso de Ceuta. Como se ha visto en los 3 tipos de viento todas las predicciones superan a la observación durante gran parte del día o el día completo como en este caso.

5.3.2 Intensidad del viento

Al igual que ocurre con San Roque, en Ceuta tampoco se han recogido vientos de alta intensidad, incluso menos, ya que, se ha tenido durante los 80 días una media de velocidad poco superior a 9 km/h. Es por ello que se ha decidido realizar dos divisiones, por un lado, los vientos de carácter muy flojo, y por otro, los vientos flojos.

5.3.2.1 Muy flojo

Para este tipo de viento contamos con 49 días de estudio, una gran cantidad de días que nos permite hacer un buen análisis de la situación ante este tipo de viento.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	61	30	61	43	4	0
P2	44	21	43	40	3	4
P1F	59	29	59	41	3	1
P2F	42	20	41	42	3	1
P1R	61	30	61	43	4	0
P2R	44	21	43	40	3	4
P1RF	59	29	52	41	3	1
P2RF	42	20	41	42	3	1

Tabla 5-25. Viento muy flojo en Ceuta

En primer lugar, hay que destacar que se tiene una gran diferencia entre la predicción 1 y la 2, siendo la primera entorno al 60% y la segunda entorno al 40-45%. Otro factor importante que llama la atención, es ver como el filtro no mejora la situación, sino que la empeora, como ha sucedido en algunos casos anteriores. La diferencia entre ambos métodos de bondad es apenas inexistente.

En cuanto a los errores, en este caso, y en general para todos los tipos de clasificaciones en Ceuta, son claramente debidos, a sobrepredicción.

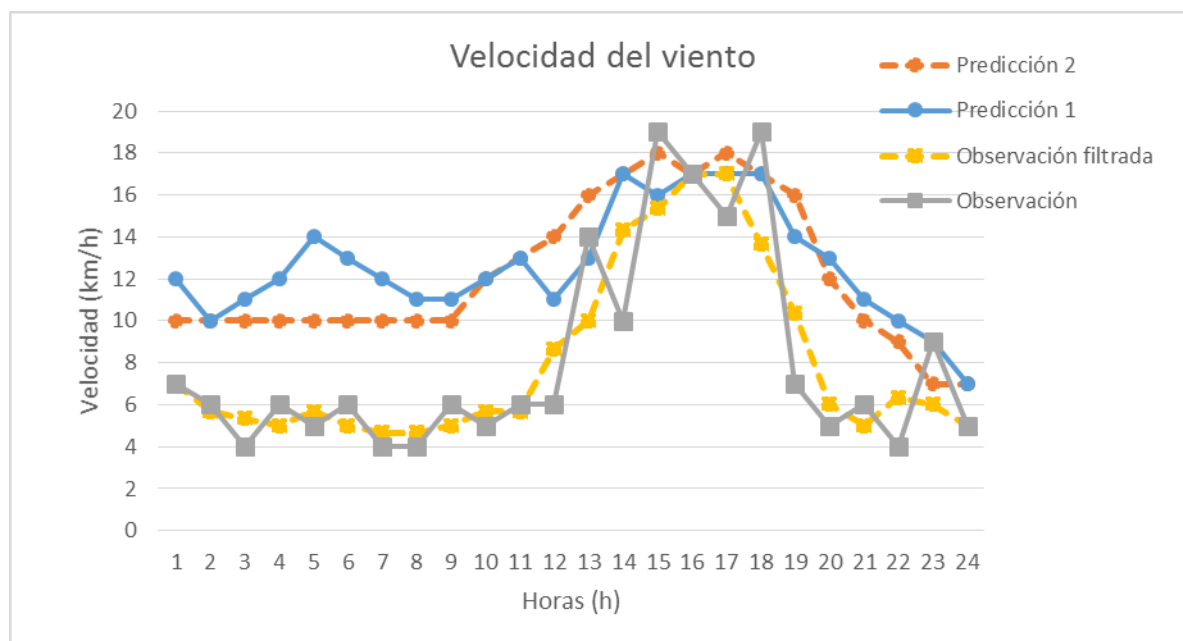


Figura 5-17. Ejemplo Ceuta con viento muy flojo

La imagen superior corresponde al día 28 de octubre. En ella se ve como para algunos momentos el modelo se muestra más fiable, ya que para tiene un 60% de fiabilidad de acierto, pero para otros inevitablemente falla, dando lugar a los típicos errores por sobrepredicción de Ceuta.

5.3.2.2 Flojo

El resto de días analizados en Ceuta, es decir, los 30 días restantes, corresponden a viento flojo.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	29	6	20	30	0	0
P2	18	3	10	30	0	0
P1F	24	4	13	30	0	0
P2F	16	2	7	30	0	0
P1R	27	5	17	30	0	0
P2R	18	3	10	30	0	0
P1RF	20	4	13	30	0	0
P2RF	15	2	7	30	0	0

Tabla 5-26. Viento flojo en Ceuta

Al igual que ocurre en San Roque, y en contra de lo esperado, cuando se aumenta la intensidad, la fiabilidad del modelo disminuye. En este caso, estamos hablando de unos valores de media horaria por debajo del 30% en todos los casos y unas tasas de acierto bastante bajas.

Es importante, por tanto, analizar a que se puede deber este mal resultado. Como se ve, todos los días se han caracterizado por ser un día de sobrepredicción. Esto puede deberse a que la estación se encuentre apantallada por algún motivo y cuanto mayor es la intensidad, más difícil es recoger el dato de velocidad instantánea.

Por ejemplo, el día 14 de noviembre, viene a ejemplificar claramente lo dicho anteriormente. Como se ve en la imagen inferior, el modelo hace una mala predicción sobreprediciendo.

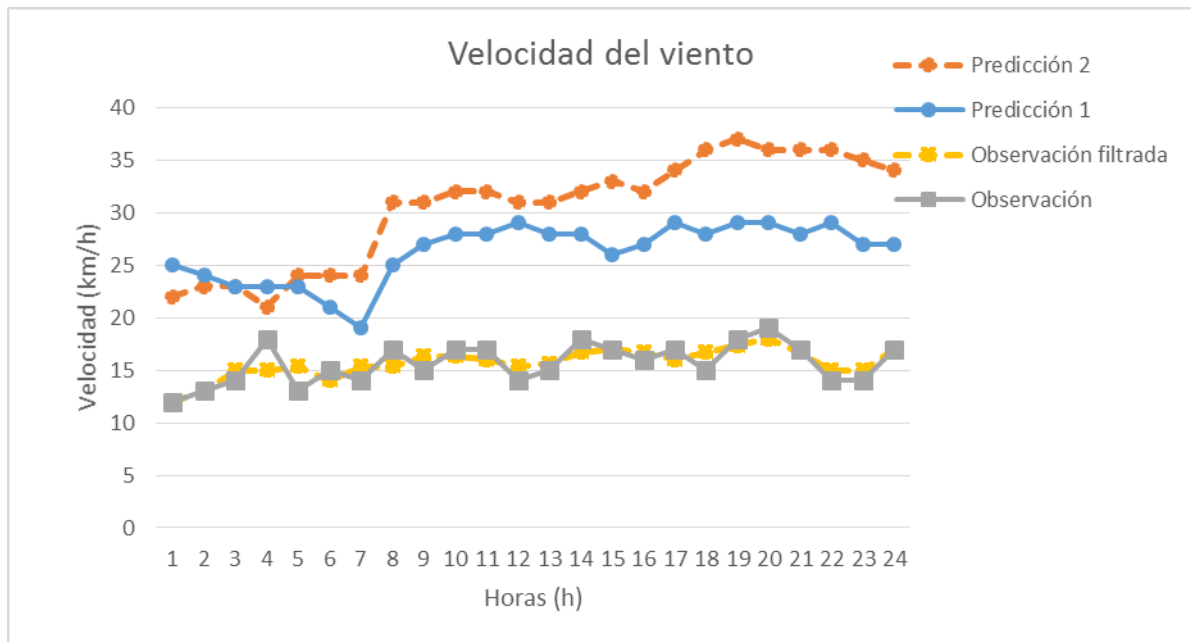


Figura 5-18. Ejemplo Ceuta con viento flojo

5.3.3 Comparación otoño-primavera

En el estudio durante la primavera [9] se siguen repitiendo los mismos errores que en este estudio para Ceuta. El modelo aparentemente no acierta, ya que los resultados obtenidos, al igual que aquí, son bastante negativos. Al igual que en este caso, para el viento cambiante es para el que se obtienen mejores resultados, algo que nos indica que algún problema debe residir en esta estación, pues, el tipo de viento más complicado de predecir es el que mejor predice en ambas estaciones del año.

5.4. Barbate

Barbate representa una posición relativamente simétrica respecto a San Roque y muestra el comportamiento del viento en las aguas bañadas por el Atlántico en la parte andaluza del Estrecho.

5.4.1 Dirección del viento

Como sucede en San Roque, la intensidad del viento en esta zona no es muy alta, por tanto, se ve influenciada por otros factores que hacen variar la dirección del viento. Por ejemplo, cuando en la zona hay viento de levante, en Barbate suele tener componente SE, mientras que, cuando hay poniente, la tendencia es a vientos de NW.

5.4.1.1 Levante

Se van a estudiar 26 días de levante en Barbate.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Aciertos diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	65	22	87	20	2	3
P2	42	9	35	25	1	0
P1F	66	21	81	20	2	2
P2F	41	7	27	25	1	0
P1R	60	19	73	18	2	5
P2R	38	5	19	25	1	0
P1RF	64	20	77	19	2	3
P2RF	35	5	19	25	1	0

Figura 5-27. Viento levante en Barbate

Lo primero que salta a la vista en este análisis es la gran diferencia que existe entre la precisión de la predicción 1 y la de la predicción 2. Siendo esta diferencia superior a 20%. Para la predicción 1 se tiene una media de alrededor del 65%, un dato bastante bueno, mientras que para la segunda de un 40%. Por otro lado, sigue siendo palpable, que cuando la predicción no es buena, el uso del filtro no es adecuado.

Si nos centramos en los días, la diferencia es aún más notoria, ya que para la 1, el abanico de porcentaje diario es en torno al 75%-85%, siendo el menor para el método más restrictivo. Por otro lado, para la predicción a 2 días, se encuentra entre el 20-35%, un valor que no puede ser considerado como bueno.

Si pasamos a interpretar los errores, seguimos la tendencia de la localidad ceutí, con un modelo claramente errático en sobrepredicción.

El análisis de las brisas, al igual que ocurre en San Roque, es de gran valor en Barbate. Al ser la localidad simétrica respecto al Estrecho de San Roque ocurre justo lo contrario. Para levante la brisa diurna se opone al viento disminuyendo su intensidad y dando lugar a sobrepredicciones en la mañana (tenemos 17 días de sobrepredicción en la mañana frente a 15 en la tarde). Mientras que, durante la brisa nocturna se producen más subpredicciones. Aunque la tónica general es a la sobrepredicción, se puede percibir esta influencia de las brisas.

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBP T	SUBP T	IGUAL T
P1	20	2	3	17	2	3	15	4	1
P2	25	1	0	23	1	1	21	1	1

Tabla 5-28. Brisas en Barbate para levante

Durante la tarde, aunque se ve que hay más subpredicción respecto a la mañana debido a las brisas, se siguen recogiendo más errores por sobrepredicción, al igual que ocurría en San Roque, es debido a lo siguiente:

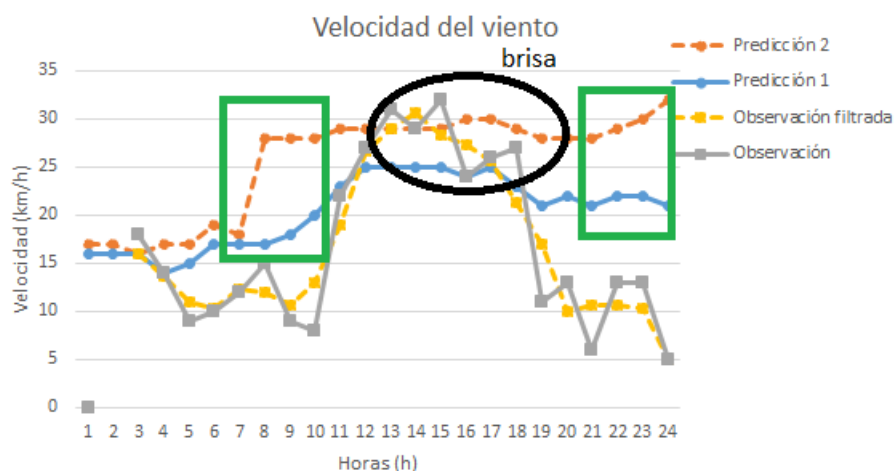


Figura 5-19. Errores por viento levante en Barbate

Por la tarde, la brisa hace aumentar la intensidad, pero el modelo, que tiende a realizar sobrepredicciones acierta el momento de las brisas y falla en los momentos anteriores y posteriores. En el primer rectángulo es de esperar porque por la mañana la intensidad disminuye y se producen sobrepredicciones, pero en el segundo no. Es por ello que durante la tarde se siguen sucediendo errores por sobrepredicción cuando se esperaban por subpredicción.

Otro ejemplo puede el día 25 de octubre.

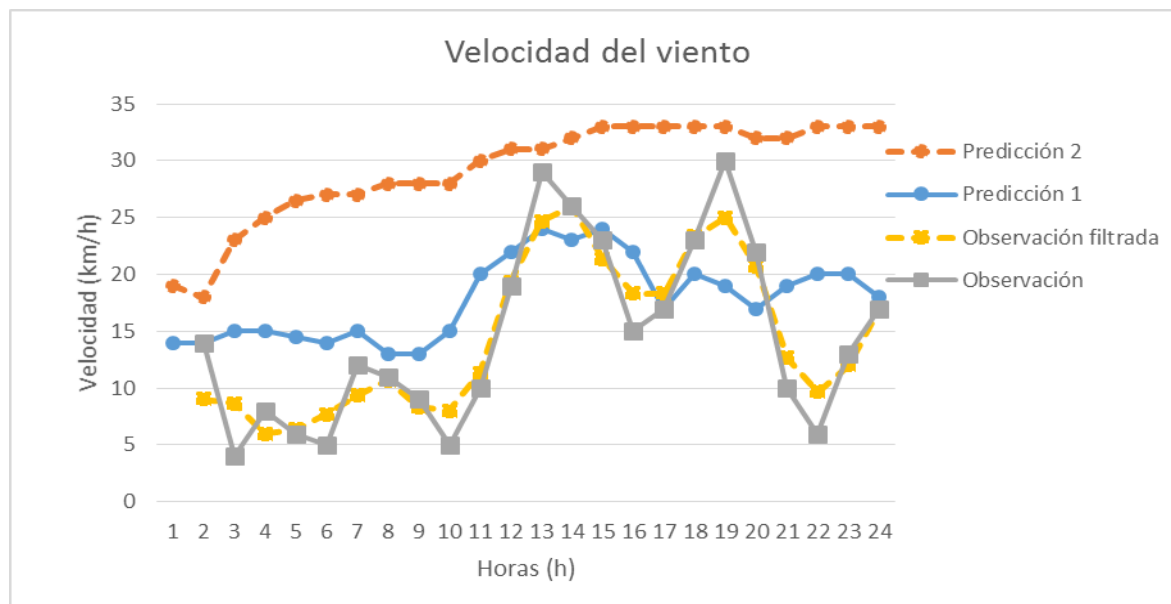


Figura 5-20. Ejemplo Barbate con levante

Vemos que la predicción 2 es, con diferencia, más errática que la 1, y que estos errores son por sobrepredicción. La sobrepredicción hace acertar los picos de brisas en la tarde pero falla varias horas después, por el motivo que se ha comentado en las líneas anteriores.

5.4.1.2 Poniente

Para el caso de Poniente, tenemos muy pocos casos, solo un total de 7 días.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	62	4	57	2	3	2
P2	46	2	29	4	1	2
P1F	66	4	57	3	4	0
P2F	47	3	43	4	1	1
P1R	58	4	57	2	3	2
P2R	43	2	29	4	1	2
P1RF	59	4	57	2	4	1
P2RF	41	1	14	3	1	2

Tabla 5-29. Viento poniente en Barbate

En cuanto a la pauta seguida por la media de acierto horario, estamos ante un caso muy similar al anterior. Donde estriba la mayor diferencia es en el número de aciertos. Si antes para la predicción 1 se tenía un gran número de aciertos, ahora para la misma media de acierto horario, se tiene un porcentaje de acierto menor. Esto se debe a que la predicción es más irregular para este caso, teniendo días de alta acierto y otros de bajo que compensan la media pero no los días acertados. También puede deberse a los pocos días que se han estudiado, ya que solo tenemos 7.

La otra diferencia es que no se observa una actuación clara en cuanto al tipo de error.

Si nos centramos en los dos distintos intervalos horarios, aunque para poniente se tienen pocos días de estudio, como se ha dicho anteriormente, se visualiza que ocurre justo lo contrario que en levante. Hay más subpredicción durante el amanecer y más sobrepredicción para el anochecer. Al cambiar la dirección del viento, las brisas actúan de manera contraria al caso anterior.

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBP T	SUBP T	IGUAL T
P1	2	3	2	2	4	0	4	3	0
P2	4	1	2	3	3	0	5	1	1

Tabla 5-30. Brisas en Barbate para poniente

Un día perteneciente a este tipo de viento en Barbate es el día 11 de octubre.

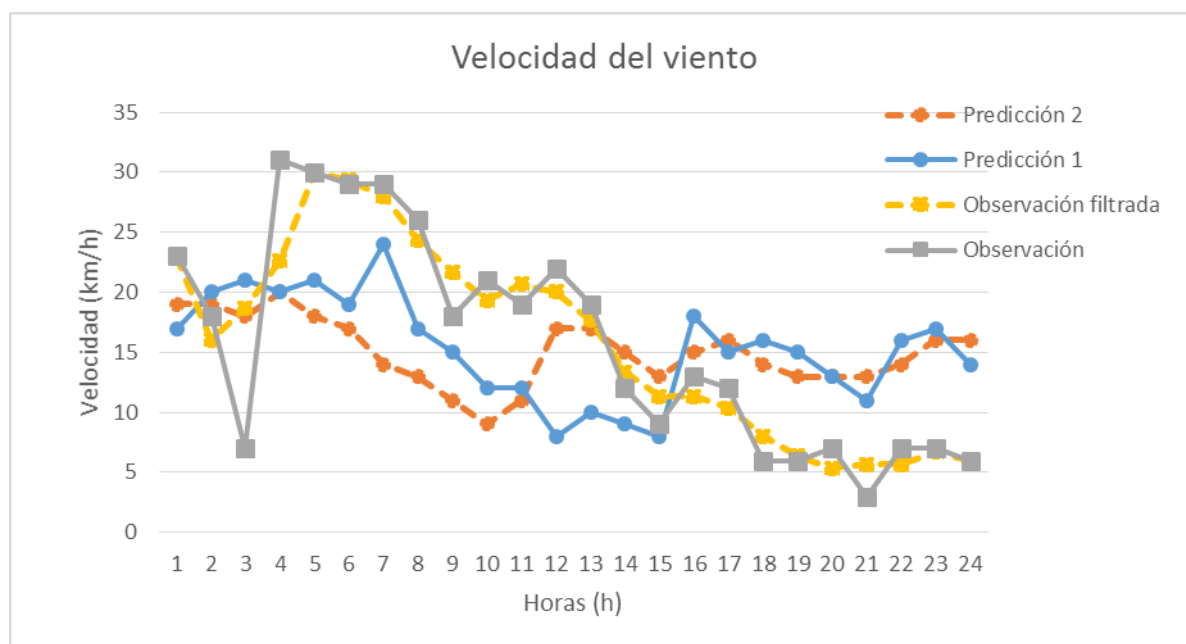


Figura 5-21. Ejemplo Barbate con poniente

Se observa que hay errores tanto por sobrepredicción como por subpredicción y que la predicción 1 es mucho más acertada que la 2. Los errores de subpredicción son debidos a la brisa diurna en las primeras horas del día y los de sobrepredicción a últimas horas del día debidos a la brisa nocturna.

5.4.1.3 Cambiante

El tipo de viento que no se corresponde ni a levante ni a poniente, es decir el cambiante o variable, es el tipo de viento que más se ha tenido en Barbate durante el periodo de estudio. Un total de 44 días.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	77	39	93	27	9	5
P2	55	26	62	32	4	5
P1F	79	38	90	25	8	6
P2F	56	28	67	33	4	4
P1R	74	36	86	22	11	9
P2R	57	24	57	32	4	5
P1RF	77	37	88	23	8	8
P2RF	54	25	60	33	4	4

Tabla 5-31. Viento cambiante en Barbate

Para ser un viento cambiante, es decir, de difícil predicción, para la denominada como 1, tiene unos datos bastante buenos, como demuestra que la media está entre 75-80% y que el número de días acertados es muy elevado, cifrándose estos en un 90% de los días aproximadamente. Sin embargo, para la predicción a 2 días vista, el modelo se resiente un poco más.

Al igual que para el levante, los errores de predicción se deben a una sobrepredicción del modelo como muestra esta tabla de análisis.

En cuanto a las brisas, no hay una gran diferencia entre ambas pero si se puede destacar como el número de subpredicciones aumenta por la tarde (11 frente a 5).

Predicciones	SOBP	SUBP	IGUAL	SOBP M	SUBP M	IGUAL M	SOBPT	SUBPT	IGUAL T
P1	27	9	5	20	5	5	21	11	5
P2	32	4	2	34	2	0	25	9	5

Tabla 5-32. Brisas en Barbate para cambiante

Como prueba se muestra el día 16 de octubre.

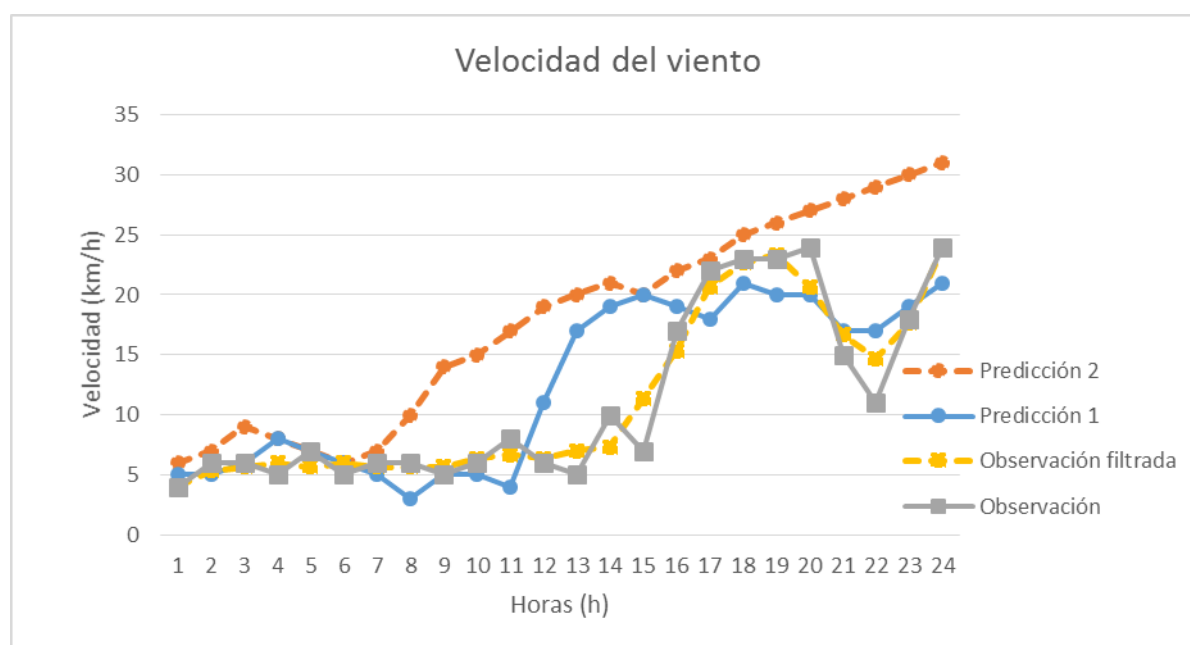


Figura 5-22. Ejemplo Barbate con cambiante

Como se contempla, la predicción 1 tiene una buena aproximación a la observación, aunque sus pocos errores son debidos a sobrepredicción. Por otro lado, también con sobrepredicción, la segunda no es muy acertada.

5.4.2 Intensidad del viento

Para la estación meteorológica de Barbate si se han recogido vientos de mayor intensidad. Se ha tenido una media de velocidad en el periodo estudiado de casi 13 km/h. Era de esperar que en esta zona se recogieran vientos de más intensidad, ya que el viento predominante ha sido el de levante y este al salir de su transcurso por el Estrecho adquiere mayor velocidad. Por ello, se ha decidido hacer 3 divisiones. La primera de ella, para vientos de menos de 10 km/h, la segunda, para vientos comprendidos entre 10 y 20 km/h, y la última, para vientos mayores de 20 km/h.

5.4.2.1 Muy flojo

Para los vientos del primer tipo constamos con un número de 37 días que nos ha permitido realizar el siguiente análisis.

	Acierto horario (%)	Días acertado	Aciertos diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	78	34	94	25	8	3
P2	56	23	64	29	2	4
P1F	79	32	89	23	7	3
P2F	55	22	61	30	2	3
P1R	77	34	94	21	8	7
P2R	55	22	61	29	2	4
P1RF	78	32	89	21	7	5
P2RF	55	22	61	30	2	3

Tabla 5-33. Viento muy flojo en Barbate

Se han obtenido unos datos bastante buenos para la predicción 1, mientras que, para la predicción 2 se tienen unos resultados algo mediocres. Esto se refleja en que mientras que la predicción 1 está cercana al 80%, la segunda esta por el 55%. Con respecto a los aciertos pasa algo similar. La predicción 1 tiene un porcentaje de acierto de casi 90% y la 2 algo superior al 60%. Sobre estos valores, no tiene una gran influencia el filtrado.

Los errores cometidos son claramente debidos a una sobrepredicción como presentan las 3 últimas columnas.

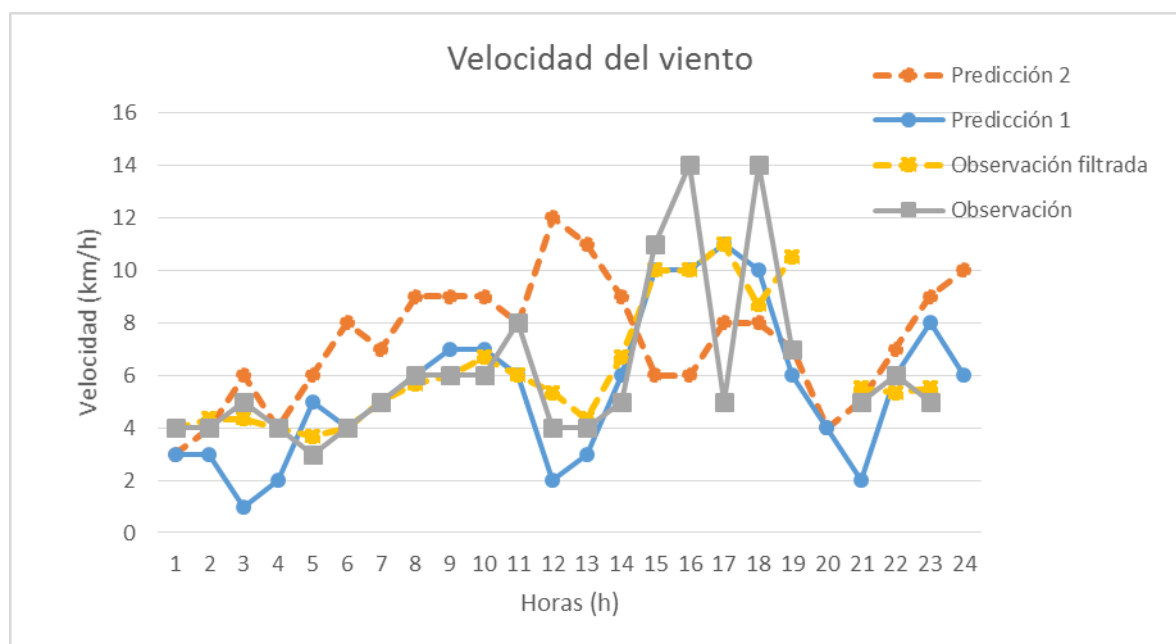


Figura 5-23. Ejemplo Barbate con viento muy flojo

El día 5 de noviembre demuestra como la predicción 1 es bastante más precisa que la 2, y que esta última tiene errores por sobrepredicción sobre todo.

5.4.2.2 Flojo

Se han clasificado en la siguiente tipología 27 días a estudiar cuyo resultado tras el análisis ha sido el siguiente.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	65	21	78	18	4	3
P2	40	7	26	23	3	2
P1F	67	21	78	18	5	2
P2F	39	8	30	23	3	1
P1R	62	19	70	16	5	5
P2R	37	5	19	23	2	2
P1RF	64	21	78	17	5	3
P2RF	35	4	15	22	2	2

Tabla 5-34. Viento flojo en Barbate

Se obtienen unos datos muy similares al anterior análisis, con la diferencia de que todos los valores han bajado algo, entorno a un 10-15%. Como ocurre en San Roque y Ceuta, al aumentar la intensidad, la exactitud del modelo disminuye. Por otro lado, sigue patente en Barbate, la gran diferencia que hay entre la predicción 1 y 2 estando esta siempre entorno al 20%. En los aciertos, la diferencia es aún mayor, mientras que para el primer caso se tiene un porcentaje de acierto de casi el 80%, para la predicción 2, está por debajo del 30%, llegando incluso para el método de análisis más restrictivo combinado con el filtro, a bajar del 15% de acierto. Como se ha dicho anteriormente, ante actuaciones buenas del modelo, el filtro mejora, mientras que para mal comportamiento, el filtro empeora más aún.

Los errores que se producen en este caso, como muestra claramente la tabla superior, son debidos a sobrepredicción.

Veamos a continuación que ocurre para el día 8 de diciembre en Barbate.

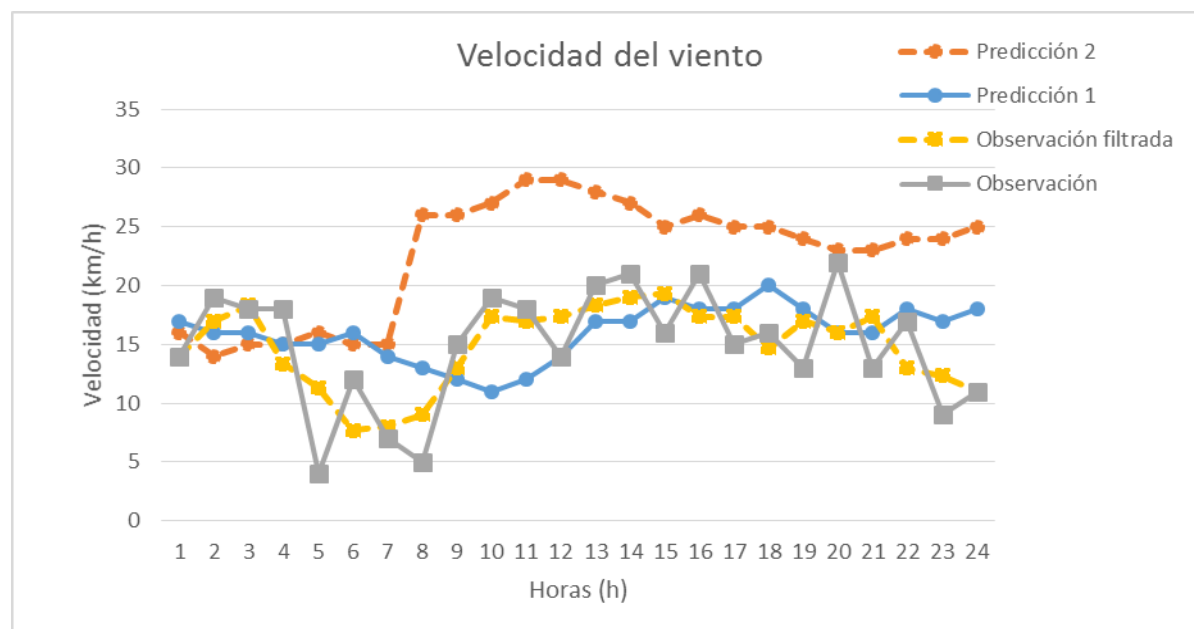


Figura 5-24. Ejemplo Barbate con viento flojo

Distinguimos como la predicción 1 es mucho mejor que la 2 que tiene bastante error y este como informa la tabla va a ser debido a sobrepredicción.

5.4.2.3 Moderado

Para concluir este análisis de intensidad del viento se van a analizar los vientos más fuertes que se han recogido en Barbate. Se cuenta con 13 días de análisis que nos proporcionan los siguientes datos.

	Acierto horario (%)	Días acertados	Acierto diario (%)	SOBP	SUBP	IGUAL
P1	65	11	85	7	2	4
P2	51	7	54	10	2	1
P1F	70	11	85	8	2	3
P2F	53	8	62	10	2	1
P1R	55	7	54	6	3	4
P2R	44	4	31	10	2	1
P1RF	62	9	69	7	2	4
P2RF	43	5	38	10	2	1

Tabla 5-35. Viento moderado en Barbate

Los resultados obtenidos son muy similares al caso anterior, si acaso, la diferencia estriba en que la fiabilidad de la predicción 2 aumenta algo. Hay que destacar también, el buen papel que desempeña el filtro en este caso para la predicción 1, aumentando más del 5% la fiabilidad. Por el contrario, para la predicción 2 se muestra más inestable.

En el tipo de error se sigue la tendencia en Barbate, con predicciones sobrepredimensionadas.

Para el día 5 de diciembre ocurre algo similar a lo que ocurre en general con los vientos moderados, y similar también al día 8 de diciembre que representaba al comportamiento de los vientos flojos. Se ve una predicción 1 aceptable y una peor predicción 2 con errores por sobrepredicción.

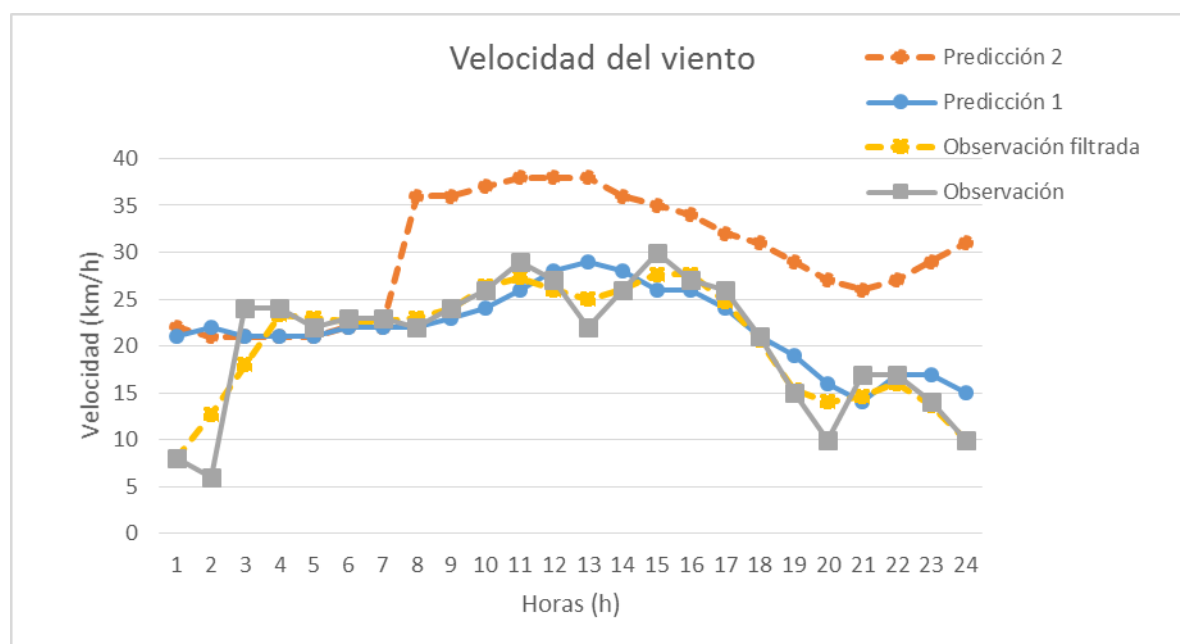


Figura 5-25. Ejemplo Barbate con viento moderado

5.4.3 Comparación otoño-primavera

Según el estudio de la zona para primavera descrito en [9], en Barbate ocurre un hecho que también ocurre en nuestro estudio durante el otoño y que es bastante peculiar. Nos estamos refiriendo a que el modelo predice mejor los vientos de menor intensidad que los más intensos. El motivo de este extraño comportamiento se explicará en el siguiente capítulo.

En el análisis primaveral se menciona que tanto para levante como para poniente se tiene un peor comportamiento para la brisa diurna. En nuestro caso, nos es imposible extraer un dato sobre el viento poniente con tan solo 7 días analizados, pero para levante se aprecia una leve tendencia a este comportamiento, pero no tan patente como puede ser durante la primavera.

Durante la primavera se cita que el modelo en Barbate predice mejor el viento poniente que levante. Durante los datos recogidos durante el otoño no se puede decir lo mismo. Ambos tipos de viento tienen una fiabilidad similar entorno al 60-65%, aunque es cierto, que es algo mayor para viento levante.

6 CONCLUSIONES

En este capítulo se pretende enumerar y explicar las conclusiones extraídas de este estudio. Conclusiones que se han obtenido tanto del Estrecho de Gibraltar en sí, como de cada una de las estaciones meteorológicas estudiadas, con el objeto de determinar posibles errores de predicción. Se pretende mostrar qué patrones de acierto y error se están siguiendo con el objetivo de que estos errores puedan ser subsanados o para mostrar posibles estudios a realizar que arrojen más datos sobre por qué está sucediendo esto.

En primer lugar, se observa claramente cómo el propósito del modelo es arrojar una predicción cuya curva sea suave. De esta forma, se asegura aumentar su media de aciertos. Por otro lado, la realidad no es así, y la intensidad del viento no va cambiando de manera progresiva durante el día, sino que, tiene sus picos de máximos y mínimos, ya que, el viento se ve afectado por numerosas variables. De ahí su dificultad de predicción. Sin embargo, para algunos factores se tiene bastante localizado el momento en el que intervienen, como pueden ser las brisas. Este análisis nos permite intuir en que momento del día las predicciones pueden ser más certeras o menos.

Dicho esto, se puede considerar la brisa de día como la de mayor importancia, ya que la diferencia de temperaturas entre la tierra y el mar a primera hora del día es mayor que al atardecer. Al ser estas brisas de mayor intensidad son las que mayor influencia pueden tener sobre el viento predominante durante un día.

Por tanto, ante un día con viento levante se puede observar lo siguiente.



Figura 6-1. Efecto brisas en el Estrecho con levante

En la zona atlántica, donde se encuentra Barbate, la brisa diurna se opone a la dirección principal del viento de levante. Esto hace que la influencia de las brisas sea la de disminuir la intensidad del viento en esta zona, mientras que, en la zona mediterránea, donde se encuentra San Roque, la brisa diurna ayuda a aumentar la intensidad del viento de este tipo de viento. Según esto, se espera que, debido a estas brisas, en Barbate se esperen predicciones sobrepredimensionadas y en San Roque subpredimensionadas. Como se ha comentado en el análisis, durante el tramo horario donde se producen las brisas de mañana, en Barbate se ha notado un aumento del número de errores por sobrepredicción, mientras que en San Roque ha aumentado los errores por subpredicción, concluyendo, por tanto, que el modelado de la brisa es la fuente de las diferencias entre modelo y observación.

Si observamos lo mismo con viento poniente vemos lo siguiente.



Figura 6-2. Efecto brisas en el Estrecho con poniente

En esta situación se espera justo lo contrario, es decir, que en Barbate se tengan predicciones subpredimensionadas, ya que la brisa ayuda a aumentar la intensidad del viento predominante, y en San Roque sobrepredimensionadas. Tras lo analizado, vuelve a coincidir lo esperado con lo acontecido. En Barbate se ha observado un aumento de los errores por subpredicción y San Roque por sobrepredicción, dejando notar también de la importancia de modelar mejor este tipo de brisas.

Para el caso de brisas diurnas se ha de suponer lo opuesto a estos casos anteriores, ahora las brisas cambian de sentido y se introducen en el mar cambiando la influencia sobre los vientos en 180° . Debe ocurrir por tanto, que en Barbate se tengan más sobrepredicciones para poniente y subpredicciones para levante y que en San Roque ocurra lo inverso. Esto se ha observado en el análisis anterior, dejando patente la necesidad de un mejor modelado de las brisas.

Esto demuestra la dificultad de predicción de elementos como las brisas. A esto le podemos sumar otra dificultad, HIRLAM es un modelo de predicción para toda España. En la zona del Estrecho el gradiente de temperaturas entre tierra y mar es mayor que en otras zonas de España para la época veraniega o para momentos del año donde las temperaturas han sido altas como ha ocurrido en este “atípico” otoño de 2015. Por ello, la predicción se convierte en un objetivo mucho más complicado.

Con respecto a la fiabilidad del modelo ante el tipo de viento que esté actuando, se tiene que para levante hay zonas donde el modelo es muy fiable, y otras donde, el modelo es bastante malo, mientras que, para tipo de

viento cambiante o poniente, la diferencia entre estaciones está más igualada. El caso concreto de cada estación meteorológica se verá posteriormente.

Antes de realizar este estudio, se podría dar por supuesto que cuando un viento tiene mayor intensidad es más fácil de predecir, pues, cuando un viento tiene mucha fuerza es más complicado que otras interferencias de menor intensidad influyan en este. Mientras que, un viento con baja intensidad, ante cualquier intrusión en su normal discurrir se ve afectado. Sin embargo, como se ha visto en este estudio no siempre ocurre así. En la zona, donde los vientos en el Estrecho tienen su mayor importancia si ocurre como era esperado, sin embargo, en las otras estaciones ocurre justo lo contrario. El caso para cada estación también será expuesto después.

Uno de los elementos que se han introducido en el estudio para observar que comportamiento ante su uso tenía el modelo ha sido la utilización de un filtro. Como sabemos, HIRLAM proporciona predicciones suavizadas, aún sabiendo que las observaciones no son así. Para tener predicción y observación con un comportamiento similar se ha usado el filtro. En primer lugar, se esperaba, por tanto, que el uso del filtro ayudara a aumentar el porcentaje de acierto del modelo, ya que, así eliminamos los picos puntuales de intensidad, pero como se ha comentado ya esto no siempre ocurre así.

Para ver lo que ocurre mejor, se puede ver lo obtenido en Barbate el 7 de noviembre.

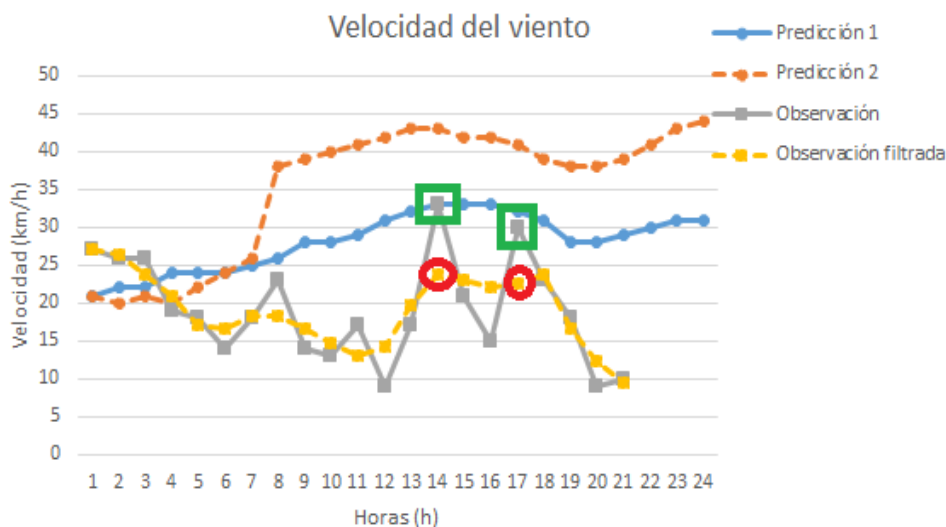


Figura 6-3. Error debido al filtro

Como expone la figura, cuando la predicción no es buena, el uso del filtro no es beneficioso. En esta ilustración, se aprecia como observaciones no filtradas (verde-cuadrangular) puede ser su predicción dada como buena, mientras que, cuando se usa el filtro (rojo-circular), la predicción se interpreta como errónea. Al suavizar la observación, se elimina la posibilidad de que alguna predicción puntual sea dada como buena, disminuyendo por tanto el porcentaje de acierto en dicho día. Sin embargo, cuando la predicción si es buena, el uso del filtro ayuda a acercarse hacia la observación algún punto circunstancial que se aleje de lo predominante.

Otra forma de análisis realizada, es la introducción de dos métodos distintos de análisis. Esto nos permite observar si la predicción es muy fiable y no importa lo restrictivo que sea el método de análisis o, por el contrario, si no es muy fidedigno y está en el límite del acierto.

Ante viento levante, es donde se muestra la mayor diferencia entre métodos en el Estrecho, esto no quiere decir que la predicción para levante sea peor, ya que los porcentajes de acierto son mayores, sino que cuando un viento poniente acierta lo hace de forma mas firme que ante levante, es decir, para levante hay muchos datos que se consideran como buenos pero están en el límite. Respecto a la intensidad del viento, no hay una gran diferencia de resultados entre ambos métodos.

6.1. Tarifa

Para la estación meteorológica de Tarifa, el estudio de la influencia de las brisas es donde se hace menos importante. Las brisas tienen su mayor importancia cuando la intensidad del viento reinante es de baja intensidad y Tarifa, es bastante conocida por sus vientos de alta potencia. Puesto que la zona donde está ubicada esta localidad, en pleno Estrecho de Gibraltar, donde por las condiciones dadas, el viento es más fuerte, la influencia de las brisas en la predicción es casi irrelevante.

Para vientos de levante, los cuales suelen ser los más intensos y más probables en la zona (más del 50% de los días estudiados son considerados como viento levante), se obtiene un buen resultado de predicción del modelo. Además, se han tenido vientos de todo tipo de intensidad, que nos ha permitido extraer más conclusiones, aunque bien es cierto, de los vientos de mayor grado se han recogido menos días de muestreo, ya que, este otoño 2015 ha sido una estación bastante tranquila en lo que al viento se refiere. Por tanto, el estudio de estos vientos de gran fuerza son los que sus conclusiones pueden ponerse más en duda. Aun siendo un modelo bastante bueno, la perfección en predicción no existe y, por tanto, existen errores. Se puede establecer con claridad, que los errores ante viento de levante en Tarifa son por subpredicción.

En casos de viento de poniente, se tienen vientos algo más suaves que los de levante y, por tanto, pueden verse más afectados por otros condicionantes. Esto produce que la fiabilidad del modelo disminuya algo. Hay una cosa que llama la atención y es, que no existe una gran diferencia entre predecir a 2 días vista frente a 1 día vista, al contrario que para levante donde sí había diferencia, para poniente nos encontramos ante tasas de acierto muy similares.

Para vientos sin una dirección clara, tenemos un caso similar al viento poniente. Estos vientos se ven afectados por algunos factores y, por lo tanto, la fiabilidad disminuye algo respecto a levante. En este caso, y en el anterior, los errores producidos no se decantan por subpredicción o sobrepredicción, demostrando que los factores que interfieren pueden ser de diverso origen y que una vez producen sobrepredicción y otras subpredicción.

Si nos referimos a la intensidad del viento, como era de esperar, conforme la intensidad del viento aumenta, se hace más difícil influenciarlo y, por tanto, la seguridad del modelo ante su predicción aumenta. Para los vientos de alta intensidad, estamos hablando de fiabilidad de más del 90%, lo que es un dato estupendo para esta zona.

A parte de lo ya comentado, podemos establecer que Tarifa es la estación meteorológica de las 4 estudiadas donde la predicción del modelo es la mejor, estando sus predicciones entorno al 80%, dependiendo de las características del viento. Esto puede deberse a varios factores. En primer lugar, si hablamos de viento, a todos se nos viene a la mente Tarifa, es por ello que, quizás el modelo este mejorado en esta zona para permitir un mejor análisis. Por otro lado, también puede deberse, a que el modelo se ajusta bastante bien al régimen de vientos en Tarifa, los cuales suelen ser bastante constantes sin las intromisiones de otros factores. Además, al ser vientos de mayor intensidad suelen ser más fiables y más fáciles de analizar. También se ha comentado que este buen comportamiento no solo es propio del otoño, sino que también, se ha demostrado durante la primavera, donde los vientos han sido de mayor intensidad y por tanto de más fácil predicción.

Como estamos ante un modelo de predicción muy bueno, el filtro ayuda a suavizar la curva de la observación, eliminando los puntos aislados y acercándolos a la predicción, por lo que aquí el uso del filtro es de ayuda.

Un dato que llama la atención, es que cuando se realiza el análisis con el 2º método, los vientos de mayor intensidad sufren más que los de baja intensidad. El motivo es que para estos vientos, en el método 1 se permite un 33% de error respecto a la observación, mientras que para el 2 tenemos el 25%. Conforme la intensidad del viento aumenta, la franja de error es mayor y por tanto es más fácil su acierto.

6.2. San Roque

Como era de esperar, la fiabilidad del modelo es menor en esta zona que en Tarifa. Al estar más alejada de la zona central donde se encuentra Tarifa, los vientos en San Roque son de menor intensidad y están más afectados por diversos factores. No hay un viento que predomine en esta zona, ya que aproximadamente, se han tenido unos porcentajes de viento de 35%, 25% y 40% de levante, poniente y cambiante, respectivamente.

Resalta que la fiabilidad del modelo es mayor para viento de poniente que de levante. Debido a que esta localidad se encuentra enmarcada en el Mar Mediterráneo, los vientos de levante que inciden en este municipio no han

sido acelerados aún por esa especie de embudo que es el Estrecho de Gibraltar, mientras que, los vientos que provienen del oeste, ya han transcurrido por el Estrecho y tienen su transitar más señalado. Por lo observado durante el análisis se puede concluir que, la estación meteorológica de San Roque se adapta mejor a condiciones de viento de poniente que viento de levante.

Anteriormente se ha expresado que se esperaba que para viento de levante se tuvieran errores debido a las brisas diurnas por subpredicción, mientras que, ante viento poniente por sobrepredicción, pues bien, los resultados extraídos han demostrado que ocurre justo lo contrario. Para viento de levante se tiene errores típicos por sobrepredicción mientras que para vientos del oeste se tienen errores por subpredicción. Esto puede ser debido a que la predicción del modelo esté más acertada con las brisas diurnas que con las nocturnas, produciéndose en estas últimas más errores. Para el estudio primaveral, también se ha demostrado como la brisa nocturna es más perjudicial que la diurna. Cuando hacemos la división horaria si se observa la influencia de la brisa diurna, pero también se observa como la nocturna es más fuerte. También se ha advertido como acierta en el tramo horario de la brisa diurna pero falla en los momentos anteriores, como se ha explicado en el capítulo anterior, aumentando aún más los errores por sobrepredicción en el caso de levante y las subpredicciones en el caso de poniente.

Las brisas de tierra actúan de la siguiente manera:



Figura 6-4. Efecto brisas en San Roque ante viento levante

La brisa de tierra o nocturna, en el caso de levante se opone a la dirección del viento principal disminuyendo la intensidad de este más de lo esperado, por tanto, se producen sobrepredicciones como hacen ver los datos analizados, donde la sobrepredicción por viento de levante es clara en San Roque. Sin embargo, ante viento de poniente la brisa nocturna actúa a favor del viento aumentando la intensidad de este. El modelo que no tiene tan presente la influencia de las brisas predice un viento de menor intensidad que la suma del viento poniente más la brisa de noche produciéndose errores por subpredicción.



Figura 6-5. Efecto brisas en San Roque ante viento poniente

Esto es lo que ocurre en esta estación meteorológica y puede deberse a dos factores. En primer lugar, puede que el modelo tenga una mejor actuación ante las brisas de mañana y por tanto, aunque tengan gran influencia en el viento no se producen errores porque están bien predichas. O por otro lado que, las brisas de tarde sean más importantes que las de día y por ello, se producen la mayoría de los errores de este tipo. Podemos ver como influyen las brisas en el ejemplo que se ve a continuación, correspondientes al día 10 de octubre.

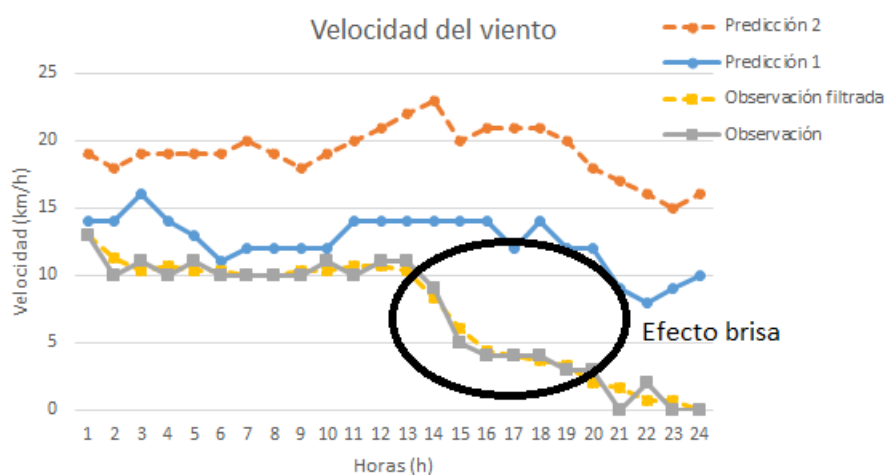


Figura 6-6. Efecto brisa en San Roque con levante en un día concreto

Este día contamos con un viento levante de media 7 km/h, es decir, de carácter muy flojo y, por tanto, fácil de influenciar. Como se ha dicho anteriormente, la brisa nocturna ante viento levante se opone al viento predominante y hace disminuir la intensidad de éste produciéndose las sobrepredicciones indeseadas.

Justo lo contrario ocurre con el día 4 de noviembre.

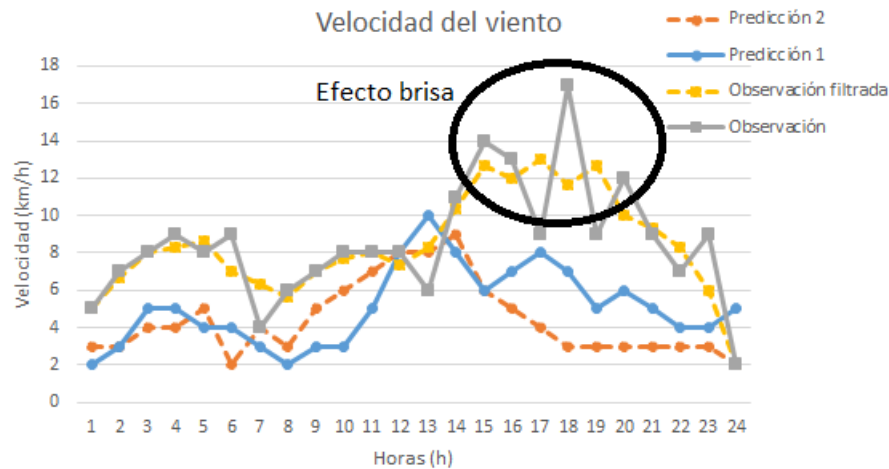


Figura 6-7. Efecto brisa en San Roque con poniente en un día concreto

Este día se ha recogido un viento de poniente de intensidad 9 km/h. Como se visualiza la brisa de noche esta a favor del viento de poniente aumentando la intensidad de este y haciendo que el modelo erre por subpredicción.

Respecto a la intensidad del viento, se extrae una gran conclusión que para nada era esperada. Se ha dicho anteriormente que, conforme aumenta la intensidad del viento este es menos influenciado y, por tanto, mas fácil de predecir. Sin embargo, en San Roque, ocurre justo lo contrario. Tenemos que el modelo tiene mayor fiabilidad ante vientos muy flojos con una media de acierto en torno al 60%, mientras que, para los vientos de mayor intensidad recogidos, se ha calculado una media de acierto alrededor del 50%. Esto es algo inesperado, y puede ser motivo de un estudio más profundo o también, puede ser que el modelo este mejor programado para el estudio de vientos de baja intensidad que de alta. Una causa que puede provocar este extraño comportamiento puede ser que el modelo se adecue mejor para los casos extremos para los que esta programado el modelo, es decir, los vientos más fuertes de San Roque, no son de una gran intensidad, por tanto, se encontraría entre ambos extremos prediciendo mejor los flojos que los de una intensidad media. El motivo no solo puede ser la intensidad, porque en Tarifa predice bien los vientos de intensidad media, sino también la situación geográfica como se indica en la figura inferior. En ella x_1 puede referirse a Tarifa, situada en pleno Estrecho de Gibraltar y donde las predicciones son muy buenas, mientras que x_2 puede ser San Roque y x_3 Málaga, un lugar muy alejado del Estrecho y donde el fenómeno estudiado se ve poco influenciado y es más fácil su predicción.

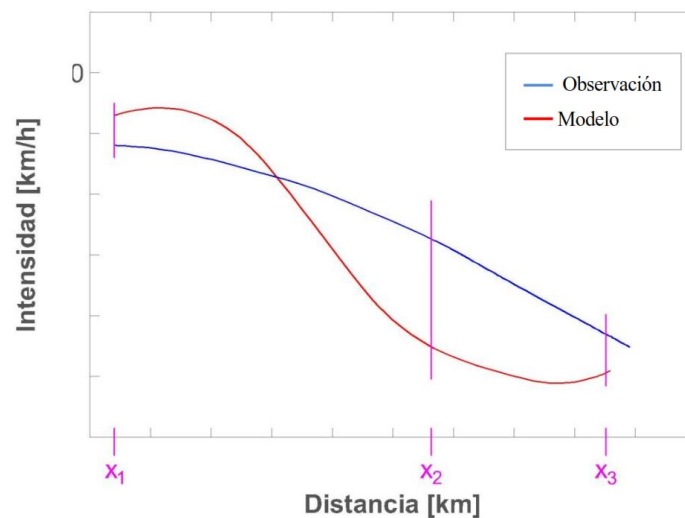


Figura 6-8. Demostración de los resultados de predicción para distintas intensidades de viento

Para el caso de San Roque, el uso del filtro apenas tiene influencia. Mejora algo los valores para los casos más benévolos y empeora algo los peores datos, pasando inadvertido el uso o no de este elemento. Respecto al análisis con ambos métodos tampoco hay grandes diferencias que reseñar, arrojando ambos datos similares.

6.3. Ceuta

Cuando se ha analizado el comportamiento del modelo en esta estación meteorológica se ha descubierto que su funcionamiento no es muy adecuado, ya que, en general, para todo tipo de comportamiento arroja unos porcentajes de acierto bastante pobres.

Lo comentado anteriormente se hace aún más patente para vientos de levante, donde en la mayoría de los días las predicciones no alcanzan los porcentajes de acierto necesario para dar un día como válido en cuanto a su predicción, siendo los días acertados por debajo del 15%. Además, se observa con facilidad como esta estación falla sistemáticamente por sobrepredicción.

Con respecto a los otros tipos de viento, poniente y cambiante, los porcentajes mejoran algo, pero no lo esperado para Ceuta, una ciudad que se encuentra en una buena posición geográfica para ser el caso más similar a Tarifa, donde los datos son excelentes.

Esto nos hace pensar dos posibles escenarios. El primero que el modelo no este funcionando correctamente, y este error lo induzca a realizar predicciones superiores a las esperadas o que la estación meteorológica donde se recojan los datos de observación del viento no esté funcionando adecuadamente o no este situada en un lugar preciso y que, debido a esto, la estación se encuentre apantallada y recoja intensidades del viento menores de las que se están dando en esta ciudad autónoma, sobre todo para los vientos que proceden del este.

También nos hace pensar en este segundo escenario que la velocidad media recogida durante los 80 días de estudio ha sido algo superior a 9 km/h. Por la zona donde se encuentra Ceuta, bastante cerca de Tarifa, donde la velocidad media ha sido de casi 20 km/h, nos hace pensar que este dato de velocidad media es demasiado bajo y nos hace creer más fehacientemente en el caso de apantallamiento de la estación meteorológica.

Otro dato contundente proviene de la comparación con el comportamiento en primavera, cuando el resultado es también bastante negativo y de características similares.

Ante esta situación, pocas conclusiones más se pueden extraer, ya que su validez habría que ponerla en interrogante. Si acaso, indicar que, como la situación no es muy benévola el uso del filtro no actúa favorablemente.

6.4. Barbate

En Barbate nos encontramos con la segunda localidad donde la media de intensidades ha sido mayor, con casi 13 km/h, solo por detrás de Tarifa. Esto se debe a que los vientos que han protagonizado gran parte de este estudio han sido los provenientes del este. Estos vientos llegan intensificados tras su paso por el Estrecho de Gibraltar.

Como se dijo al comienzo de este capítulo, debido a la brisa diurna, considerada más importante en el tramo horario de un día, en Barbate se espera que ante la actuación del viento de levante esta brisa se oponga, disminuyendo la intensidad del viento del este y haciendo que el modelo, por tanto, erre por sobrepredicción. Como se ha observado, esto ocurre tal que así. Podemos concluir, que el modelo se ve más afectado ante viento levante con brisa diurna. Este hecho se ve mucho más claro durante la primavera como se ha demostrado en el estudio de esta estación anual. Un ejemplo que expone lo que ocurre se puede observar en la siguiente imagen.

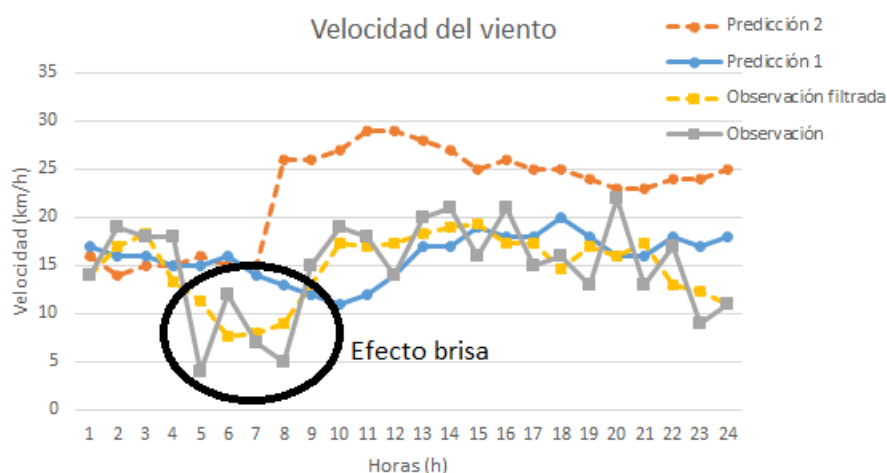


Figura 6-9. Efecto brisa en Barbate con levante en un día concreto

La figura corresponde al día 8 de diciembre y en ella podemos examinar como la intensidad del viento disminuye a causa de la brisa de día, provocando los errores por sobrepredicción.

Por otro lado, ante viento poniente debe ocurrir todo lo contrario. Aunque, en este estudio no nos ha podido ser posible intuir un patrón de comportamiento para este tipo de vientos en Barbate, ya que contamos con 7 días de estudio. Este valor es escaso para sacar conclusiones certeras. Si se ha observado levemente como durante la tarde se ha incrementado levemente los errores por sobrepredicción y por la mañana los errores por subpredicción.

Respecto a la dirección del viento, un dato destacable es el gran número de días que se han recogido de viento cambiante, un total de 42 días. Que se hayan recogido más de la mitad de días de este tipo de viento, nos hace pensar que, el viento en Barbate sea bastante inestable e influenciado y, por lo tanto, le cueste decantarse ante uno de los dos patrones típicos de viento en la zona. Aún así, para ser un viento cambiante, la fiabilidad del modelo es bastante buena, sobre todo para la predicción en 24 horas, con una media entorno al 75%.

Si comparamos Barbate con el resto de estaciones, observamos una gran diferencia. Esta es la gran disparidad entre predicciones a 1 día y a 2 días. En Barbate es la ciudad donde la diferencia entre predicciones es mayor con diferencias entorno a 15-25% dependiendo de los casos. Esto no hace sino reafirmar que la predicción en Barbate es más complicada que en el resto de localidades y, por ello, a 2 días el modelo se comporta tan errático.

En relación a la intensidad del viento ocurre algo similar a lo que ocurre en su localidad simétrica, San Roque. La fiabilidad del modelo es mejor cuando actúan vientos flojos que cuando nos encontramos con vientos de mayor intensidad. Las conclusiones extraíbles de este caso, son similares a las extraídas en San Roque.

Otro dato que nos muestra que el modelo se comporta mejor ante los vientos de carácter más débil es que las tasas de acierto para los vientos flojos entre los dos modelos, el más benévolo y el más restrictivo, son muy similares, mientras que, conforme va aumentando la intensidad de los vientos se ven más diferencias entre los resultados de ambos métodos.

6.5. Resumen de las conclusiones

Este capítulo es introducido para ayudar a hacer un repaso rápido de las conclusiones más importantes que se han extraído de este estudio, de forma que, con un escueto resumen se puedan entender que ha ocurrido en el otoño de 2015 en el Estrecho de Gibraltar.

- En primer lugar, de forma generalizada en el Estrecho y para todas las estaciones, se ha concluido que las

predicciones del modelo se centran sobre todo en realizar **predicciones en términos medios**, produciéndose más errores en momentos puntuales donde afectan factores momentáneos como pueden ser las brisas.

- Antes de realizar este estudio se podría pensar que más **intensidad** implica más fiabilidad del modelo, pero esto no siempre es así. En las zonas donde el “efecto Estrecho de Gibraltar” es más notable si se cumple esto, como es en Tarifa, pero cuando nos alejamos a zonas como Barbate o San Roque, interfieren otros factores que provocan que ocurra justo lo contrario.
- Se decidió la introducción de un **filtro** en la observación de manera que se asemejara más a la predicción de HIRLAM y tuviéramos observaciones en términos medios y de esta forma, aumentar la tasa de acierto. Esto no siempre ha ocurrido y ha habido casos donde ha disminuido dicha tasa. Se puede concluir, por tanto, que el uso del filtro no ha ayudado como se esperaba, pues, para las zonas con alto porcentaje de acierto, si es cierto que el filtro ha servido de ayuda (muy poco) y para las zonas de poco éxito ha disminuido aún más el porcentaje.
- También se decidió el uso de **2 métodos de análisis**, uno más restrictivo que otro. Los resultados que se han extraído de esto es que, para vientos flojos no ha habido mucha diferencia entre métodos. Sin embargo, para vientos algo más fuertes si se ha mostrado como el método más duro ha bajado la fiabilidad del modelo debido a su peor margen de predicción.
- Al comienzo de este estudio, se pensó en introducir otra variante de análisis para la estación de Tarifa, de forma que pusiera mayor énfasis en el **análisis de los vientos de gran intensidad**. Desafortunadamente, otoño 2015 ha sido una estación de baja intensidad en los vientos, por lo que se decidió no realizar el análisis con este método.
- Si nos centramos en las estaciones concretas, en **Tarifa**, es la localidad donde el modelo se comporta mejor de las que hemos estudiado. Además, obra bien para las tres categorías de dirección. Bien es cierto que, actúa mejor para viento levante que al resto, pero todas se pueden considerar como muy válidas. Aún así consta de algunos errores que siempre suelen ser por subpredicción. De los días estudiados se tienen más del 50% de vientos provenientes del este y una tasa de acierto general entorno al 80%, esto nos verifica la fiabilidad del modelo para la zona. Estos últimos dos datos pueden ser una de las conclusiones más importantes, ya que, nos muestra el importante papel que podría jugar Tarifa en el campo de la energía eólica.
- En **San Roque**, se ha observado que el modelo predice mejor los vientos de poniente que el resto. Además, se ha deducido que en esta zona el modelo está más afectado por la brisa nocturna y, por lo tanto, se tienen errores de sobrepredicción cuando actúa el viento de levante y subpredicción cuando hay viento de poniente. En contra de lo esperado, se han obtenido mejores datos de fiabilidad del modelo con vientos muy flojos que con vientos de algo más intensidad como se ha explicado al comienzo de este capítulo.
- En la ciudad autónoma de **Ceuta**, muchas de las predicciones no han superado el límite de tasa de acierto para considerar que un día está bien predicho, por lo que se ha establecido que los resultados no son fiables para esta localidad. Debido a la zona en donde se encuentra ha resultado llamativo que el modelo se comporte mejor ante vientos de poniente o cambiantes que ante el viento de levante. También a causa de la situación geográfica, ha llamado la atención el bajo valor de la velocidad media de los días de estudio. Se han tenido sistemáticamente durante todo el periodo errores por sobrepredicción y esto, unido a lo comentado anteriormente nos ha llevado a pensar que debe haber un condicionamiento externo que produzca estos errores y no se ha tenido en cuenta. Por ello, se sospecha que puede existir algún problema con la orientación de la estación meteorológica.
- Por último, en **Barbate**, ocurre justo lo contrario que en San Roque, es decir, predice mejor la brisa nocturna que la diurna. Por ello, se han recogido errores de sobrepredicción cuando existía viento de levante. Los pocos días que han sido clasificados como poniente en la zona nos ha incapacitado analizar si también afecta más la brisa diurna ante viento de poniente en un tramo horario de 24, pero si nos ha permitido observar como influye las brisas en los 2 tramos horarios de 12 horas, donde se tienen más subpredicciones durante la mañana y más sobrepredicciones durante la tarde. Estos pocos días de poniente se contraponen con el gran número de días clasificados como cambiante, por lo que los vientos están muy influenciados. Si a esto se le añade la gran diferencia de fiabilidad que supone la predicción a 2 días respecto a la de 1 día, nos hace concluir la dificultad de predicción en Barbate. Por último, y al igual

que en San Roque, el modelo predice mejor los vientos más flojos que los de mayor intensidad. Y el motivo de que ocurra esto es el mismo que en San Roque.

7 LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y TRABAJOS FUTUROS

El presente trabajo pretende realizar una validación del modelo de vientos de AEMET en el Estrecho de Gibraltar. Como en todo trabajo de investigación, se encuentran limitaciones que nos impiden realizar un estudio más a fondo de la cuestión, por su complejidad o por su duración en el tiempo, y que pueden dar origen a trabajos de investigación futuros. Es por ello que, en las siguientes líneas se van a exponer los principales problemas con los que nos hemos encontrado, las simplificaciones a las que nos hemos tenido que adaptar y que posibles estudios se podrían realizar en el futuro para tener aún si cabe, más información del comportamiento del modelo en el Estrecho de Gibraltar.

- En primer lugar, durante algunos momentos del espacio temporal estudiado ha ocurrido que en algunas estaciones no suministraban la observación de las 24 horas del día, sino que nos encontrábamos con observaciones con 22 o 23 datos. Como este problema estaba fuera de nuestro alcance, para intentar solucionarlo se decidió hacer el análisis con estos datos, aun sabiendo que no tienen el mismo peso respecto a un día completo. Esto ha sucedido sobre todo en las estaciones meteorológicas de Barbate y San Roque y, curiosamente, ocurría al mismo tiempo, por lo que se supone que ambas estaciones meteorológicas están interconectadas. En estas dos ciudades también se tienen 4 días menos de estudio. Esto ha sido debido a que durante unos días ambas estaciones no estaban operativas y no nos proporcionaban datos.
- Desafortunadamente, el otoño elegido para realizar el estudio ha sido uno de los más estables de los últimos años y, como consecuencia, no se ha tenido una gran actividad en el Estrecho y se han recogido pocos datos de vientos de altas intensidades. A causa de esto, la fiabilidad de las conclusiones para vientos de mayor fuerza es menor, ya que, la muestra de días para este tipo es más escasa. Se podría realizar este mismo estudio en un futuro otoño con más actividad y así, extraer nuevas conclusiones a las aportadas por este texto.
- Como sabemos, HIRLAM no realiza predicciones a 48 horas. Debido a este problema como se requería comparar dos predicciones a 24 horas y a 48 se decidió realizar dos tomas de datos, una a las 00:00 y otra a las 8:00, para que esta última completara las 48 horas necesarias. Al obtenerse predicciones en diferentes momentos se van a obtener datos con distinto peso, pues unas, al estar más cercanas al suceso que otras van a tener más fiabilidad. Con el fin de realizar esta comparación entre dos predicciones se ha realizado esta simplificación.
- En relación a lo comentado en el apartado anterior, los datos se han obtenido todos los días a las 00:00. Esto provoca que las predicciones de la madrugada de ese día al estar más próximas a la realización de la predicción sean más precisas que las del anochecer, sin embargo, les hemos dado el mismo valor. La toma de datos diaria de un rango de tiempo a la misma hora se torna una labor complicada para compaginarla con la vida diaria, pues cualquier día puede surgir cualquier inconveniente. Por ambas razones, se propone como futuro estudio la realización de un programa que permita la obtención de datos automáticamente. Esto nos va a permitir dos cosas. Por un lado, que los datos se obtengan todos los días exactamente a la misma hora y, por otro lado, que se puedan realizar más descarga de datos y así, tener un mayor número de datos que nos hagan obtener mejores conclusiones.

- Nosotros mismos hemos creado otra limitación al clasificar los días según intensidad y dirección. Estas clasificaciones han generado un gran conjunto de tipologías de viento para analizar. Debido al tipo de viento que ha acontecido, unas tipologías tienen un mayor número de datos que otras. Por ello, algunas de estas clasificaciones tienen unas conclusiones mejor respaldadas que otras donde el número de datos es más escaso y sus conclusiones pueden ponerse más en entredicho. Es decir, no todas las conclusiones tienen la misma fiabilidad.
- El objetivo de este trabajo era la comprobación del modelo de viento en cuanto a la intensidad, pero para realizar la clasificación según dirección también se han recogido los datos de dirección que da AEMET. Es por ello, que al igual que se ha analizado aquí la fiabilidad del modelo en cuanto a intensidad del viento, también se podría realizar en un estudio futuro la fiabilidad del modelo en cuanto a dirección del viento, así como, otros valores relativos al viento que aporta AEMET como pueden ser las rachas.
- La elección de estaciones se ha realizado con la intención de abarcar todos los escenarios posibles en el Estrecho de la manera más sencilla posible. Con esta selección se han obtenido datos tanto del norte y sur del Estrecho, como del este y el oeste. Como los datos de otras zonas próximas a este enclave son igualmente accesibles en AEMET, se podrían seleccionar nuevas estaciones meteorológicas que nos puedan facilitar nuevas conclusiones. Podrían elegirse tanto zonas del interior de Cádiz, como por ejemplo la sierra de Cádiz, como zonas costeras aún más alejadas del Estrecho. Para realizar la obtención de todos estos datos de una forma más ágil, sería conveniente el desarrollo del programa de obtención de datos comentado anteriormente.
- Una de las estaciones seleccionadas para el estudio ha sido Ceuta. Se ha establecido durante el desarrollo de este texto, el gran número de fallos cometidos por esta estación que ha llamado notablemente la atención. La baja fiabilidad que nos da el modelo sugiere que esta estación sea revisada. El comportamiento que tiene nos hace pensar dos posibilidades. Por un lado, que el modelo no se encuentra bien programado y debe ser reprogramado para evitar así las continuas sobrepredicciones o, por otro lado, que la estación donde se recogen los datos de observación no se encuentre bien situada o este defectuosa y, por lo tanto, muestre al usuario unos datos de intensidad menores de los que en realidad se están sucediendo. La baja media de velocidad durante el estudio nos lleva a pensar más en este segundo caso. Aún así, este estudio se escapa de nuestro alcance y solo podemos suponer ambos escenarios. En un futuro se podría analizar más a fondo esta estación y realizar un estudio del por qué de este comportamiento tan extraño e intentar solucionarlo para que nos aporte datos que nos sirvan de ayuda en una zona de importancia vital en el Estrecho.
- En otras dos estaciones seleccionadas, como son San Roque y Barbate, ocurre algo también llamativo. La fiabilidad del modelo disminuye para vientos de mayor intensidad. Normalmente ocurre justo lo contrario y cuando un viento es de mayor intensidad está menos influenciado por otros factores. En este texto se ha desarrollado una posible causa que motiva tal suceso pero, se propone como futuro estudio, el intento de obtener un estudio más profundo de este comportamiento.
- El estudio de las brisas se ha restringido a dos divisiones horarias de 12 horas. Esto nos ha provocado que nos aparezcan errores anteriores y posteriores al momento de la aparición de estas. Por este motivo, se considera interesante analizar estas en otros intervalos de tiempo más precisos que nos permita un análisis, aún si cabe, más intenso del comportamiento del modelo de brisas en Barbate y San Roque.
- Al estudiar el comportamiento del viento se han obviado factores que influyen en el comportamiento de este, como puede ser la existencia en ese momento de anticiclones o borrascas en la zona, o de tormentas u otros meteoros. En este estudio nos hemos centrado más en la actuación de las brisas y la orografía, pero hay que dejar constancia de que estos otros factores también influyen. Un estudio más a fondo podría realizar un análisis de como se comporta el viento ante estos otros condicionantes meteorológicos y como repercute esto en el modelo de predicción.
- El uso del filtro no ha cambiado sustancialmente los datos del análisis. Hay que decir que el filtro usado es uno de los más básicos. Quizás para futuros trabajos se recomienda el uso de otro filtro que se adapte mejor al comportamiento del viento.
- Un campo en el que podríamos ampliar esta investigación puede ser el de las temperaturas. Un control exhaustivo de ellas, nos permitiría observar como se produce el cambio de temperaturas entre el día y la noche y, como consecuencia, observar como este repercute en la intensidad de las brisas y estas, en la

variación del viento. Esto nos sería de más utilidad en estaciones como San Roque o Barbate, donde se han obtenido conclusiones en las que el modelo falla por sobrepredicción o subpredicción debido a la importancia de uno u otro tipo de brisa.

- Este estudio se ha centrado en una estación concreta, el otoño, pero si queremos extrapolar estos datos para un futuro desarrollo de las energías renovables en el Estrecho de Gibraltar, sería conveniente el estudio de todo el año.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Historia de la Meteorología https://es.wikipedia.org/wiki/Historia_de_la_meteorologia

- [2] Breve historia de la Meteorología
http://www.aemet.es/documentos/es/conocenos/nuestra_historia/breve_historia_meteorologia.pdf

- [3] El viento – Historia del uso del viento
http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/eolica_y_molinos/capitulo_1/cap_1_5.htm

- [4] Energía eólica https://es.wikipedia.org/wiki/Energía_eólica

- [5] Aerogenerador <https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador>

- [6] Asociación empresarial eólica <http://www.aecolica.org/>

- [7] La energía eólica en España y Andalucía: Situación y perspectivas
<http://www.juntadeandalucia.es/educacion/vscripts/wbi/w/rec/4135.pdf>

- [8] Agencia Estatal de Meteorología www.aemet.es

- [9] Montes Gil, Rocío Asunción. (2015). Estudio de validación del modelo de vientos de AEMET en el Estrecho de Gibraltar. TFG, ETSI, Universidad de Sevilla.

- [10] Cano García, Miguel. (2015). Estudio estadístico de los vientos en el Estrecho de Gibraltar y aplicación a la energía eólica marina. PFC, ETSI, Universidad de Sevilla.

- [11] Llorca Nieto, Miguel. (2014). Análisis de la influencia de las condiciones meteorológicas en la navegación por el Estrecho de Gibraltar. PFC, UPC.

- [12] Palomares Losada, Ana María. (2002). Caracterización del régimen de vientos y desarrollo de un modelo de predicción eólica a escala local en el Estrecho de Gibraltar. Tesis Doctoral, UCM.

- [13] (1995) Boletín mensual de verificación del modelo de área limitada del INM. Instituto Nacional de Meteorología.
- [14] Calvo Sánchez, Javier (1994). Verificación de las predicciones MOS de temperaturas extremas para el año 1993. Madrid: s.n.
- [15] Ayuso Estebaranz, Juan José & Río Ladrón de Guevara, Pablo del. (1992). Verificación objetiva de la predicción por adaptación estadística de temperaturas extremas. Madrid: s.n.

9 ANEXOS

A continuación, se han incluido unas tablas que resumen el comportamiento de cada una de las estaciones durante el periodo estudiado, mostrando para cada día, su dirección e intensidad. De esta forma, nos permite ver de forma rápida que tipo de datos se han recogido.

- Tarifa

Días	Intensidad del viento	Dirección del viento	Velocidad media del viento (km/h)
03-oct	Muy flojo	Cambiante	10
04-oct	Muy flojo	Cambiante	8
05-oct	Muy flojo	Cambiante	9
06-oct	Flojo	Poniente	14
07-oct	Flojo	Poniente	12
08-oct	Flojo	Poniente	12
09-oct	Flojo	Cambiante	10
10-oct	Flojo	Poniente	14
11-oct	Flojo	Poniente	11
12-oct	Muy flojo	Poniente	10
13-oct	Flojo	Poniente	12
14-oct	Muy flojo	Poniente	9
15-oct	Muy flojo	Cambiante	6
16-oct	Moderado	Levante	22
17-oct	Moderado	Levante	25
18-oct	Flojo	Levante	13
19-oct	Flojo	Levante	16

20-oct	Moderado	Levante	22
21-oct	Flojo	Cambiante	13
22-oct	Flojo	Levante	13
23-oct	Moderado	Levante	21
24-oct	Moderado	Levante	23
25-oct	Moderado	Levante	25
26-oct	Flojo	Cambiante	13
27-oct	Flojo	Poniente	12
28-oct	Flojo	Poniente	11
29-oct	Flojo	Cambiante	14
30-oct	Moderado	Levante	28
31-oct	Moderado	Levante	24
01-nov	Moderado-Fuerte	Cambiante	30
02-nov	Flojo	Cambiante	20
03-nov	Moderado	Poniente	21
04-nov	Muy flojo	Cambiante	6
05-nov	Muy flojo	Cambiante	6
06-nov	Moderado	Levante	28
07-nov	Moderado-Fuerte	Levante	36
08-nov	Fuerte	Levante	41
09-nov	Moderado-Fuerte	Levante	31
10-nov	Moderado	Levante	30
11-nov	Moderado	Levante	28
12-nov	Moderado	Levante	28
13-nov	Moderado	Levante	24
14-nov	Moderado-Fuerte	Levante	33
15-nov	Moderado	Levante	28
16-nov	Flojo	Cambiante	11

17-nov	Muy flojo	Cambiante	5
18-nov	Moderado	Levante	21
19-nov	Moderado	Levante	22
20-nov	Flojo	Cambiante	15
21-nov	Flojo	Poniente	20
22-nov	Flojo	Cambiante	14
23-nov	Muy flojo	Cambiante	8
24-nov	Muy flojo	Cambiante	9
25-nov	Flojo	Poniente	15
26-nov	Flojo	Poniente	16
27-nov	Flojo	Cambiante	10
28-nov	Flojo	Levante	11
29-nov	Moderado-Fuerte	Levante	31
30-nov	Moderado-Fuerte	Levante	34
01-dic	Moderado	Levante	23
02-dic	Flojo	Levante	20
03-dic	Moderado	Levante	27
04-dic	Moderado-Fuerte	Levante	34
05-dic	Moderado-Fuerte	Levante	36
06-dic	Moderado-Fuerte	Levante	33
07-dic	Moderado	Levante	29
08-dic	Moderado	Levante	28
09-dic	Moderado-Fuerte	Levante	39
10-dic	Moderado-Fuerte	Levante	33
11-dic	Moderado-Fuerte	Levante	30
12-dic	Moderado	Levante	21
13-dic	Flojo	Levante	19
14-dic	Moderado	Levante	21

15-dic	Moderado	Levante	25
16-dic	Moderado-Fuerte	Levante	32
17-dic	Flojo	Cambiante	18
18-dic	Muy flojo	Poniente	8
19-dic	Flojo	Levante	19
20-dic	Muy flojo	Cambiante	8
21-dic	Flojo	Cambiante	19

Tabla 9-1. Resumen Tarifa

- San Roque

Días	Intensidad del viento	Dirección del viento	Velocidad media del viento (km/h)
03-oct	Muy flojo	Cambiante	9
04-oct	Muy flojo	Cambiante	7
05-oct	Muy flojo	Poniente	9
06-oct	Flojo	Poniente	13
07-oct	Flojo	Poniente	15
08-oct	Flojo	Cambiante	15
09-oct	Muy flojo	Cambiante	7
10-oct	Muy flojo	Levante	7
11-oct	Muy flojo	Cambiante	8
12-oct	Muy flojo	Cambiante	8
13-oct	Muy flojo	Cambiante	6
14-oct	Muy flojo	Poniente	9
15-oct	Muy flojo	Cambiante	5
16-oct	Flojo	Cambiante	10
17-oct	Flojo	Levante	10
18-oct	Flojo	Levante	11
19-oct	Muy flojo	Cambiante	9

20-oct	Muy flojo	Levante	9
21-oct	Flojo	Cambiante	11
22-oct	Muy flojo	Cambiante	6
23-oct	Muy flojo	Cambiante	6
24-oct	Muy flojo	Levante	8
25-oct	Flojo	Levante	11
26-oct	Muy flojo	Cambiante	8
27-oct	Muy flojo	Poniente	9
28-oct	Muy flojo	Poniente	9
29-oct	-	-	-
30-oct	-	-	-
31-oct	-	-	-
01-nov	-	-	-
02-nov	Muy flojo	Poniente	9
03-nov	Flojo	Poniente	12
04-nov	Muy flojo	Poniente	9
05-nov	Muy flojo	Cambiante	6
06-nov	Muy flojo	Cambiante	8
07-nov	Flojo	Levante	13
08-nov	Flojo	Levante	17
09-nov	Flojo	Levante	14
10-nov	Flojo	Levante	11
11-nov	Muy flojo	Cambiante	7
12-nov	Flojo	Levante	14
13-nov	Muy flojo	Cambiante	8
14-nov	Flojo	Levante	16
15-nov	Flojo	Levante	11
16-nov	Flojo	Poniente	12

17-nov	Muy flojo	Cambiante	8
18-nov	Muy flojo	Cambiante	9
19-nov	Muy flojo	Cambiante	8
20-nov	Muy flojo	Poniente	10
21-nov	Flojo	Poniente	17
22-nov	Flojo	Poniente	13
23-nov	Muy flojo	Poniente	10
24-nov	Muy flojo	Poniente	10
25-nov	Flojo	Poniente	16
26-nov	Moderado	Poniente	22
27-nov	Muy flojo	Cambiante	8
28-nov	Muy flojo	Cambiante	10
29-nov	Flojo	Levante	15
30-nov	Flojo	Levante	16
01-dic	-	-	-
02-dic	Muy flojo	Cambiante	9
03-dic	Muy flojo	Cambiante	8
04-dic	Flojo	Levante	14
05-dic	Flojo	Levante	14
06-dic	Flojo	Levante	14
07-dic	Flojo	Levante	11
08-dic	Flojo	Levante	11
09-dic	Flojo	Levante	15
10-dic	Flojo	Levante	18
11-dic	Moderado	Levante	24
12-dic	Flojo	Levante	13
13-dic	Muy flojo	Cambiante	9
14-dic	Muy flojo	Poniente	7

15-dic	Muy flojo	Cambiante	9
16-dic	Muy flojo	Cambiante	10
17-dic	Flojo	Poniente	13
18-dic	Muy flojo	Cambiante	6
19-dic	Muy flojo	Cambiante	9
20-dic	Flojo	Poniente	11
21-dic	Muy flojo	Cambiante	9

Tabla 9-2. Resumen San Roque

- Ceuta

Días	Intensidad del viento	Dirección del viento	Velocidad media del viento (km/h)
03-oct	Muy flojo	Cambiante	6
04-oct	Muy flojo	Cambiante	7
05-oct	Muy flojo	Cambiante	6
06-oct	Flojo	Poniente	11
07-oct	Flojo	Poniente	11
08-oct	Muy flojo	Poniente	10
09-oct	Muy flojo	Cambiante	6
10-oct	Muy flojo	Cambiante	6
11-oct	Muy flojo	Cambiante	6
12-oct	Muy flojo	Cambiante	6
13-oct	Muy flojo	Cambiante	5
14-oct	Muy flojo	Cambiante	6
15-oct	Muy flojo	Cambiante	6
16-oct	Muy flojo	Cambiante	8
17-oct	Muy flojo	Cambiante	9
18-oct	Muy flojo	Cambiante	6
19-oct	Muy flojo	Cambiante	6

20-oct	Muy flojo	Cambiante	8
21-oct	Muy flojo	Cambiante	7
22-oct	Muy flojo	Cambiante	8
23-oct	Muy flojo	Cambiante	7
24-oct	Muy flojo	Levante	8
25-oct	Flojo	Levante	10
26-oct	Muy flojo	Cambiante	5
27-oct	Muy flojo	Poniente	8
28-oct	Muy flojo	Poniente	8
29-oct	Muy flojo	Cambiante	7
30-oct	Muy flojo	Cambiante	9
31-oct	Flojo	Levante	10
01-nov	Flojo	Cambiante	19
02-nov	Flojo	Poniente	10
03-nov	Flojo	Poniente	11
04-nov	Muy flojo	Cambiante	5
05-nov	Muy flojo	Cambiante	6
06-nov	Flojo	Levante	11
07-nov	Flojo	Levante	17
08-nov	Flojo	Levante	17
09-nov	Flojo	Levante	15
10-nov	Flojo	Levante	12
11-nov	Muy flojo	Levante	9
12-nov	Flojo	Levante	12
13-nov	Flojo	Levante	11
14-nov	Flojo	Levante	16
15-nov	Flojo	Levante	11
16-nov	Muy flojo	Cambiante	6

17-nov	Muy flojo	Cambiante	6
18-nov	Muy flojo	Cambiante	7
19-nov	Muy flojo	Levante	8
20-nov	Muy flojo	Cambiante	6
21-nov	Flojo	Poniente	17
22-nov	Flojo	Poniente	14
23-nov	Muy flojo	Poniente	8
24-nov	Muy flojo	Poniente	9
25-nov	Flojo	Poniente	12
26-nov	Flojo	Poniente	15
27-nov	Muy flojo	Poniente	8
28-nov	Muy flojo	Cambiante	6
29-nov	Flojo	Levante	18
30-nov	Flojo	Levante	16
01-dic	Muy flojo	Levante	6
02-dic	Muy flojo	Cambiante	6
03-dic	Flojo	Levante	11
04-dic	Flojo	Levante	14
05-dic	Flojo	Levante	12
06-dic	Flojo	Levante	12
07-dic	Flojo	Levante	12
08-dic	-	-	-
09-dic	Flojo	Levante	18
10-dic	Flojo	Levante	20
11-dic	Flojo	Levante	17
12-dic	Muy flojo	Levante	7
13-dic	Muy flojo	Cambiante	6
14-dic	Muy flojo	Cambiante	6

15-dic	Muy flojo	Cambiante	5
16-dic	Muy flojo	Levante	8
17-dic	Muy flojo	Cambiante	5
18-dic	Muy flojo	Cambiante	5
19-dic	Muy flojo	Cambiante	7
20-dic	Muy flojo	Cambiante	7
21-dic	Muy flojo	Cambiante	9

Tabla 9-3. Resumen Ceuta

- Barbate

Días	Intensidad del viento	Dirección del viento	Velocidad media del viento (km/h)
03-oct	Muy flojo	Cambiante	9
04-oct	Muy flojo	Cambiante	6
05-oct	Muy flojo	Cambiante	8
06-oct	Flojo	Poniente	10
07-oct	Muy flojo	Cambiante	8
08-oct	Muy flojo	Cambiante	9
09-oct	Muy flojo	Cambiante	9
10-oct	Flojo	Cambiante	14
11-oct	Flojo	Poniente	16
12-oct	Flojo	Poniente	11
13-oct	Flojo	Poniente	14
14-oct	Flojo	Poniente	12
15-oct	Muy flojo	Cambiante	7
16-oct	Flojo	Cambiante	11
17-oct	Moderado	Levante	27
18-oct	Moderado	Cambiante	22

19-oct	Moderado	Cambiante	21
20-oct	Flojo	Levante	20
21-oct	Muy flojo	Cambiante	8
22-oct	Muy flojo	Cambiante	7
23-oct	Muy flojo	Cambiante	9
24-oct	Flojo	Levante	11
25-oct	Flojo	Levante	14
26-oct	Flojo	Cambiante	14
27-oct	Flojo	Poniente	18
28-oct	Muy flojo	Cambiante	9
29-oct	Muy flojo	Cambiante	6
30-oct	-	-	-
31-oct	-	-	-
01-nov	-	-	-
02-nov	Moderado-Fuerte	Cambiante	36
03-nov	Moderado-Fuerte	Poniente	33
04-nov	Muy flojo	Cambiante	7
05-nov	Muy flojo	Cambiante	6
06-nov	Flojo	Levante	14
07-nov	Flojo	Levante	19
08-nov	Moderado	Levante	25
09-nov	Moderado	Levante	22
10-nov	Flojo	Levante	18
11-nov	Muy flojo	Cambiante	9
12-nov	Flojo	Levante	11
13-nov	Muy flojo	Levante	6
14-nov	Moderado	Levante	21
15-nov	Flojo	Levante	17

16-nov	Muy flojo	Cambiante	7
17-nov	Muy flojo	Cambiante	6
18-nov	Flojo	Levante	18
19-nov	Muy flojo	Cambiante	7
20-nov	Muy flojo	Cambiante	7
21-nov	Flojo	Cambiante	14
22-nov	Muy flojo	Cambiante	10
23-nov	Muy flojo	Cambiante	9
24-nov	Muy flojo	Cambiante	7
25-nov	Muy flojo	Cambiante	7
26-nov	Muy flojo	Cambiante	8
27-nov	Muy flojo	Cambiante	6
28-nov	Muy flojo	Cambiante	9
29-nov	Moderado	Levante	20
30-nov	Flojo	Levante	16
01-dic	-	-	-
02-dic	Muy flojo	Cambiante	5
03-dic	Flojo	Cambiante	14
04-dic	Flojo	Levante	17
05-dic	Moderado	Levante	21
06-dic	Flojo	Levante	17
07-dic	Flojo	Levante	19
08-dic	Flojo	Levante	15
09-dic	Flojo	Levante	17
10-dic	Moderado	Levante	25
11-dic	Moderado	Levante	22
12-dic	Flojo	Levante	12
13-dic	Muy flojo	Cambiante	5

14-dic	Muy flojo	Cambiante	9
15-dic	Muy flojo	Cambiante	8
16-dic	Flojo	Levante	13
17-dic	Muy flojo	Cambiante	7
18-dic	Muy flojo	Cambiante	7
19-dic	Muy flojo	Cambiante	8
20-dic	Muy flojo	Cambiante	7
21-dic	Flojo	Cambiante	11

Tabla 9-4. Resumen Barbate