

Guía Meteorológica de Aeródromo: Bilbao



Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.

Textos: María Rosa Pons Reynés

Revisión: Alejandro Méndez Frades y María Antonia Benito Peraita

Ilustración de la portada: Julio Aristizábal Arteaga

Edita:

© Ministerio para la Transición Ecológica
Agencia Estatal de Meteorología
Oficina Programa Cielo Único. Unidad de Meteorología Aeronáutica
Madrid, 2019

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:
<http://publicacionesoficiales.boe.es/>

NIPO: 639-18-066-8

DOI: <https://doi.org/10.31978/639-18-066-8.LEBB>

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)
C/ Leonardo Prieto Castro, 8
28040 Madrid
<http://www.aemet.es/>



@Aemet_Esp



@Aemet_PaisVasco



<https://www.facebook.com/AgenciaEstatalMeteorologia>

Índice

1.	Introducción	4
2.	Situación geográfica	6
3.	Fenómenos de impacto	9
3.1.	CIZALLADURA Y TURBULENCIA	9
3.1.1.	Datos utilizados	9
3.1.2.	Causas de la cizalladura en LEBB y patrones de viento asociados	10
3.1.2.1.	Cizalladura por forzamiento orográfico	10
3.1.2.2.	Cizalladura por el paso de un frente frío	17
3.1.3.	Datos de cizalladura y turbulencia proporcionados por pilotos	20
4.	Impactos	25
5.	Resumen	28
6.	Summary	31
7.	Referencias	33
8.	Agradecimientos	34

I. Introducción

Una guía meteorológica de aeródromo es un informe técnico en el que se recogen todos los fenómenos meteorológicos que potencialmente son adversos para el desarrollo y regularidad de las operaciones que se llevan a cabo en un determinado aeródromo. El principal objetivo es concienciar a los usuarios aeronáuticos de los riesgos que entraña la fenomenología atmosférica, además de servir de instrumento de asesoramiento en la planificación y toma de decisiones.

El impacto de la meteorología en un aeródromo

El impacto de las condiciones meteorológicas sobre un aeródromo requiere el conocimiento previo de los siguientes conceptos:

- **Fenómeno de impacto:** hecho observable en la atmósfera que potencialmente es adverso en un determinado aeródromo. Representa un nivel de amenaza meteorológica en el marco operativo aeronáutico.
- **Vulnerabilidad:** sensibilidad o predisposición de un aeródromo a ser afectado por la ocurrencia de un fenómeno de impacto.
- **Impacto:** alteración del entorno socioeconómico de un aeródromo como consecuencia de la ocurrencia de un fenómeno meteorológico.

La valoración objetiva del impacto asociado a un fenómeno meteorológico en un aeródromo no solo depende de sus características propias sino que es necesaria la consideración de condicionantes externos. Así, se puede establecer:

$$\text{Impacto} = \text{Fenómeno de impacto} \times \text{Vulnerabilidad}$$

A continuación se muestra un ejemplo de cada uno de los citados términos:

- Fenómeno de impacto: brisa de montaña, tormenta, niebla, etc.
- Vulnerabilidad: el volumen de tráfico en el aeródromo o su dotación tecnológica.
- Impacto: cambios de configuración, frustradas, desvíos a otros aeródromos, etc.

Hay que tener en cuenta que el impacto en la seguridad operacional (*safety*) ha disminuido en los últimos años, gracias en parte a la mejor dotación tecnológica de las aeronaves y a una mayor sofisticación del sector aeronáutico desde el punto de vista normativo y procedimental. La consideración de escenarios y técnicas permiten gestionar situaciones de riesgo con mayor solvencia.

Aplicación para el caso del aeropuerto de Bilbao

En la [figura 1](#) se detalla el **diagrama Ishikawa para el aeropuerto de Bilbao (en adelante, LEBB)**. Este esquema permite mostrar, de forma sintética y jerarquizada, cómo los fenómenos meteorológicos de impacto (*factores causales*), acompañados de sus ingredientes (*causas secundarias*), convergen hacia los impactos observados en el aeródromo (*efectos*).

El objetivo será estudiar un aeródromo en un contexto meteorológico orientado a impactos de modo que, a partir de la *información meteorológica* se extraerá el *conocimiento meteorológico* que es de interés para los usuarios aeronáuticos. Para ello, será crucial la identificación adecuada de los fenómenos de impacto (*variables independientes*) que potencialmente tienen incidencia en el entorno operativo del aeródromo objeto de estudio (*variables dependientes*).

Este diagrama *causa - efecto* permitirá, además:

- Obtener una visión global de un aeródromo en un contexto meteorológico orientado a impactos.
- Identificar los ingredientes que intervienen en cada uno de los fenómenos de impacto considerados.
- Mostrar los impactos específicos que se producen en un aeródromo.
- Diferentes fenómenos meteorológicos pueden producir el mismo impacto. De esta forma, la relación causa-efecto no es unívoca.

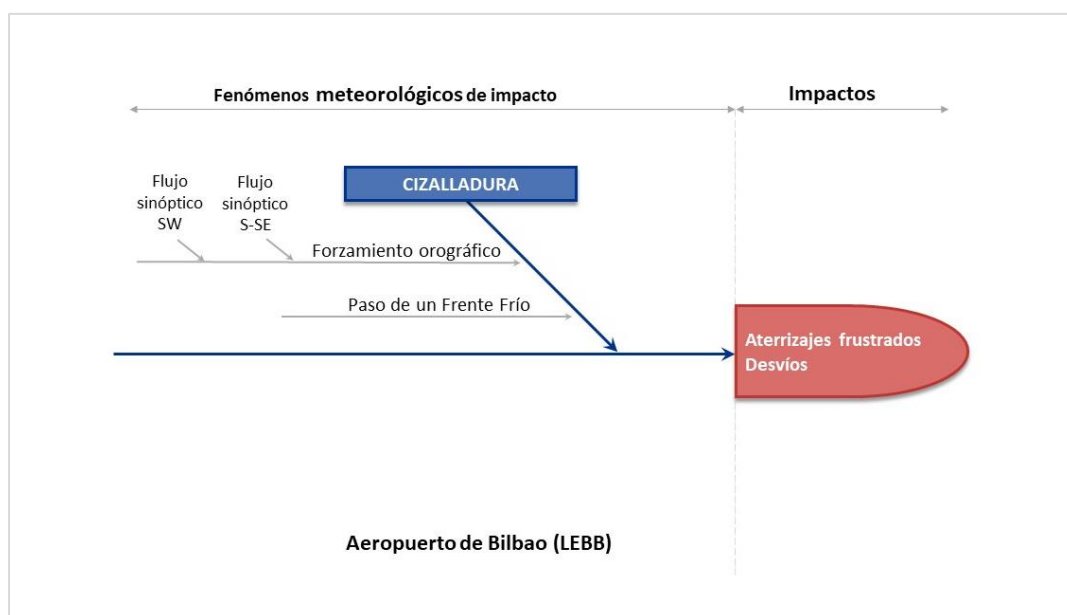


Figura 1. Diagrama de Ishikawa para LEBB: la identificación de los fenómenos meteorológicos de impacto exige un conocimiento detallado del entorno meteorológico en el que se encuentra embebido. Ello posibilitará establecer su relación con los impactos observados en su marco operativo.

2. Situación geográfica

El aeropuerto de Bilbao está situado en una zona de orografía compleja. Se encuentra aproximadamente en el centro del Valle de Asúa, de orientación Noroeste-Sureste, 5 kilómetros al norte de Bilbao y a 9 kilómetros de la desembocadura de la Ría del Nervión en El Abra. El valle es de forma rectangular, de unos 22 kilómetros de largo por 6 kilómetros de ancho. Por su parte occidental se abre al mar, cerrándose por su otro extremo con cerros de poco más de 300 metros ([figura 2](#)).

En la sierra meridional que configura el valle se alcanzan cotas que van desde los 222 metros de San Bernabé (al S del aeropuerto) hasta los 477 metros del Ganguren (al SE). Más al sur, una sucesión de montes y valles configuran una zona de gran variabilidad orográfica, cuyo pico más alto es el Ganekogorta (999 m), situado a aproximadamente 12 km de distancia de LEBB.

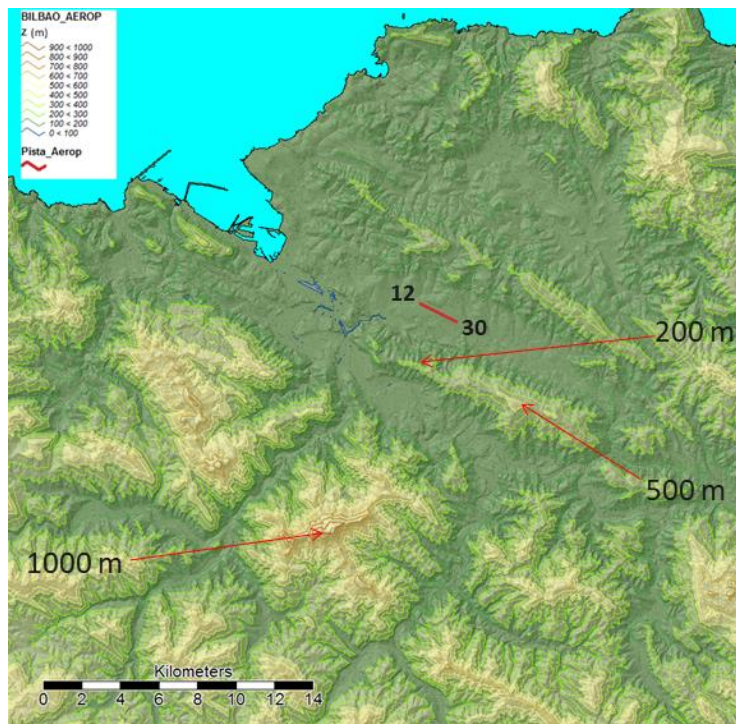


Figura 2. Situación geográfica del aeropuerto de Bilbao; en rojo la pista principal.
Fuente: Instituto Geográfico Nacional.

En la [figura 3](#) se ha representado una sección transversal del relieve que permite apreciar la variabilidad de la zona y situar el aeropuerto en relación con el valle y con las cumbres más altas.

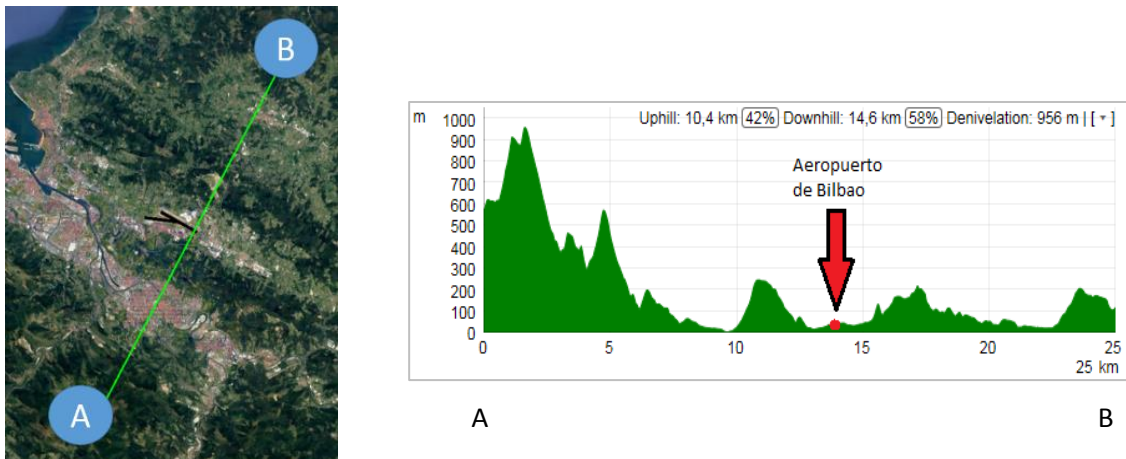


Figura 3. Plano transversal del relieve a lo largo de un eje perpendicular a la pista principal. El punto rojo de la figura de la derecha marca la posición de LEBB. Fuente: Geocontext.

El aeropuerto, situado a una elevación de 136 pies (41 m), cuenta con las siguientes pistas:

- **Pista 12-30.** Pista principal, instrumental, utilizada fundamentalmente por aviación comercial y orientada según los vientos predominantes a lo largo del valle NW-SE.
- **Pista 10-28.** Pista de menor longitud, visual, utilizada principalmente por aviación general.

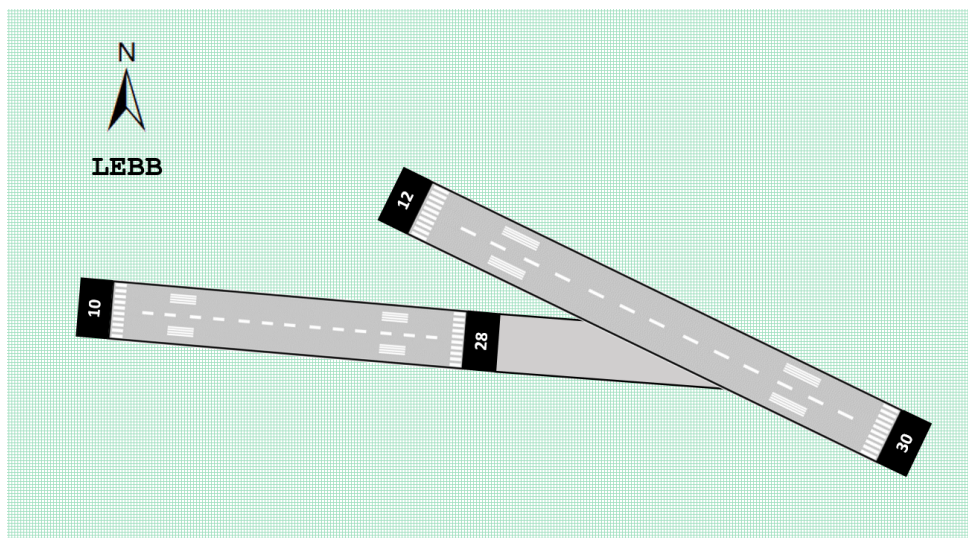


Figura 4. Orientación de las pistas en LEBB. Los informes METAR se elaboran con los datos procedentes de la cabecera 30.

En la [figura 5](#) se representa la rosa de frecuencia de vientos por dirección y la de velocidad media por dirección, pudiéndose comprobar que la dirección predominante (WNW-ESE) es prácticamente la del eje del valle y la de la pista 12-30. Los vientos más intensos, en cambio, son del SW, perpendiculares a la pista principal.

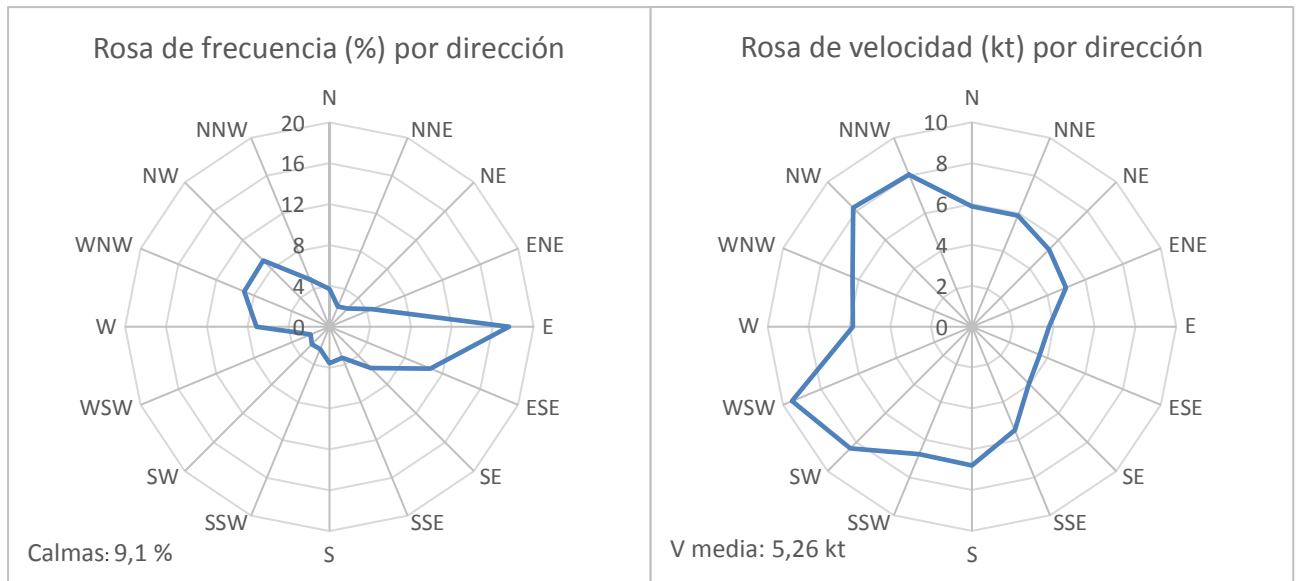


Figura 5. Rosas de frecuencia (%) y velocidad (kt) por dirección en LEBB, calculadas a partir de las observaciones horarias del periodo 1997-2016.

En la siguiente tabla se muestran las principales características del aeródromo:

Datos geográficos		
Nombre del aeródromo		Bilbao
Indicativo	OACI	LEBB
	IATA	BIO
Latitud		43° 18' 4'' N
Longitud		2° 54' 38'' W
Altitud		41 m

Tabla 1

3. Fenómenos de impacto

3.1. CIZALLADURA Y TURBULENCIA

La cizalladura (WS) es el cambio en la dirección y/o intensidad del viento en un plano y en una distancia espacial; puede ser horizontal, vertical o una combinación de ambas, y se suele expresar como el cambio en la componente de velocidad de cara que experimenta la aeronave.

La cizalladura puede producir cambios bruscos en la sustentación de una aeronave. Si bien puede presentarse en todos los niveles de la atmósfera, es especialmente importante cuando se detecta por debajo de los 1600 ft (cizalladura a baja altura o Low Level Windshear LLWS) ya que es donde las aeronaves llevan a cabo las operaciones de aproximación y ascenso del aeródromo (OACI, 2005). En estas fases del vuelo la velocidad y la altura de las aeronaves se acercan a valores críticos, por lo que el margen de maniobra para que el piloto pueda corregir la trayectoria es menor.

La turbulencia implica cambios bruscos en las componentes horizontal y vertical del viento, provocando remolinos y un movimiento caótico. Según el tamaño de los remolinos, la turbulencia puede afectar a la seguridad del vuelo (fallos estructurales o cambios bruscos de su trayectoria) o simplemente a su comodidad. La turbulencia siempre lleva aparejada cizalladura pero puede haber cizalladura sin que vaya acompañada de turbulencia.

3.1.1. Datos utilizados

Con el fin de caracterizar mejor los fenómenos de cizalladura y turbulencia en LEBB, se han utilizado las siguientes bases de datos:

- Datos de 2008 a 2013 correspondientes a informes METAR, datos de viento diezminutales de las cabeceras 12 y 30, mensajes ATIS, registro de aterrizajes frustrados (proporcionados por AENA), sondeos atmosféricos de Santander y análisis del modelo HRES-IFS del ECMWF.
- Datos de la campaña experimental llevada a cabo entre octubre de 2016 y mayo de 2017, con la colaboración de AENA, ENAIRE, COPAC, APROCTA, compañías aéreas y pilotos (detalles en Pons et. al., 2019). Además de analizar los datos descritos en el apartado anterior para este nuevo periodo, se han analizado: datos de viento, cizalladura y turbulencia proporcionados por los pilotos de más de veinte compañías aéreas y recogidos por la Torre de Control (133 vuelos), datos meteorológicos registrados por las aeronaves de Vueling (139 vuelos), datos de viento obtenidos del programa E-AMDAR de EUMETNET (129 vuelos), aterrizajes frustrados (ENAIRE) y predicciones del modelo HARMONIE-AROME de 2.5 km de resolución.

- Datos de viento de aproximadamente 6 000 vuelos proporcionados por la compañía Lufthansa, sin fecha asociada pero de interés estadístico.

3.1.2. Causas de la cizalladura en LEBB y patrones de viento asociados

3.1.2.1. Cizalladura por forzamiento orográfico

La cizalladura en el aeropuerto de Bilbao es debida principalmente al forzamiento orográfico y se produce cuando el viento sinóptico en niveles bajos (el viento debido a los sistemas de presión de gran escala -anticiclones y borrascas-) es de componente S y sopla con una intensidad moderada a fuerte sobre las montañas que se encuentran al S y SW de Bilbao. En estas circunstancias, el aeropuerto queda a sotavento, perturbándose el flujo sobre él y registrándose los fenómenos de cizalladura y turbulencia en sus aproximaciones y despegues. En condiciones de atmósfera estable, se formarán ondas de montaña a sotavento.

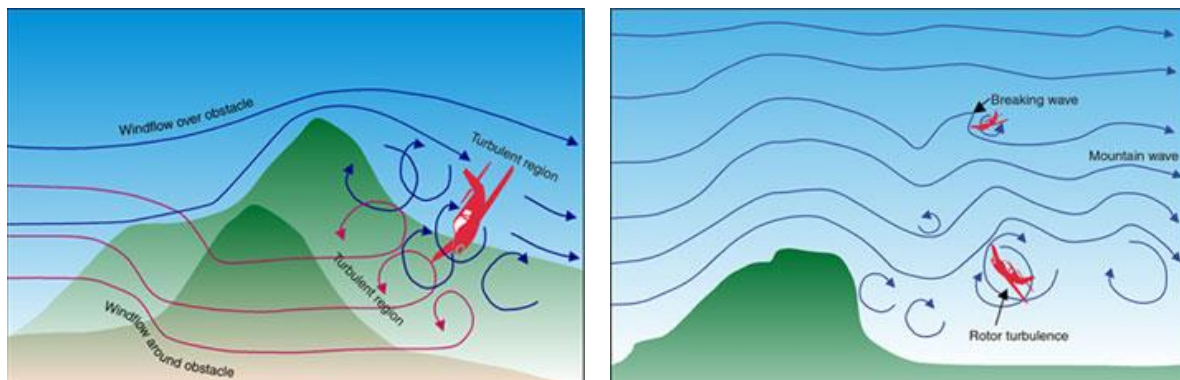


Figura 6. Perturbación del flujo a sotavento de una cadena montañosa. A la izquierda, por turbulencia mecánica y a la derecha, por formación de ondas de montaña en condiciones de estabilidad atmosférica. Fuente: Australian Transport Safety Bureau.

Como se puede ver en la [figura 7](#), las situaciones de viento de componente sur se dan principalmente entre los meses de octubre a marzo, época en la que también sopla con mayor intensidad. Dichos episodios pueden durar varios días y se producen en general en aire seco.

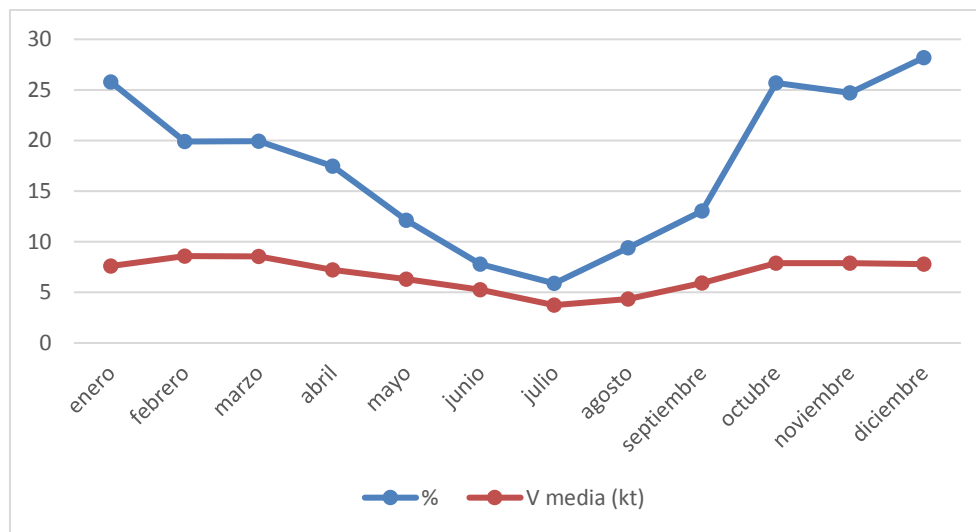


Figura 7. Climatología de vientos de componente sur (SE-SSE-S-SSW-SW) en LEBB a partir de las observaciones horarias del periodo 1997-2016; en azul su frecuencia (en %) y en rojo su velocidad media (en kt).

Se distinguen a continuación los siguientes tipos de situaciones que dan lugar a cizalladura de tipo orográfico en LEBB, según la dirección del viento en altura (viento por encima de 2000 ft aproximadamente) y en superficie:

1. Viento en altura del SW
 - SSE en superficie
 - SW en superficie
 - Intervalos de SW y SSE en superficie
2. Viento en altura del SSE
 - SE en superficie

1. Viento en altura del SW

Es el caso más habitual en las situaciones de cizalladura de origen orográfico, debido normalmente a una baja presión profunda al norte del Cantábrico, con una vaguada o baja en niveles altos, que origina un flujo intenso del SW sobre la zona de interés (figura 8).

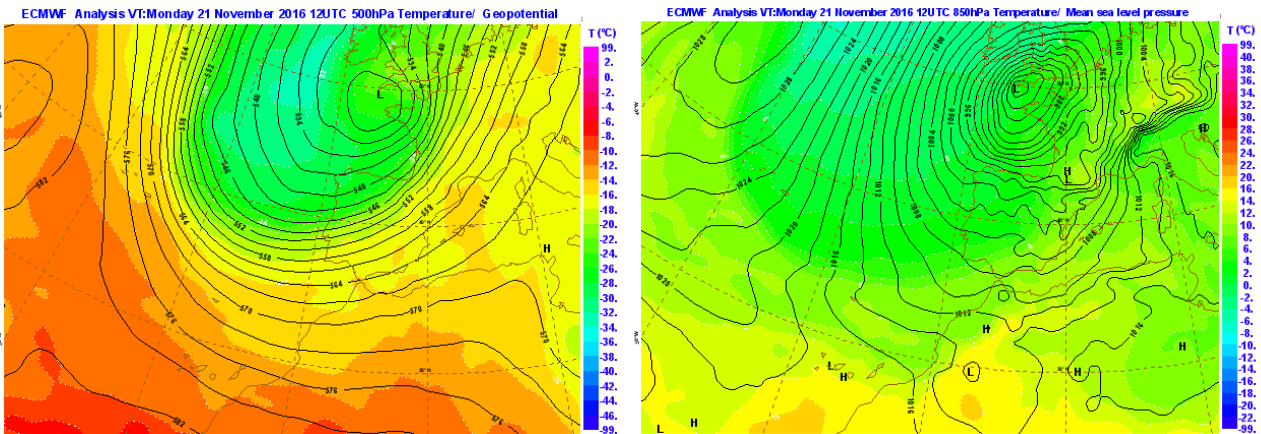


Figura 8. Análisis del modelo HRES-IFS del ECMWF el 21/11/2016 a las 12 UTC. Izquierda: geopotencial (isolíneas) y temperatura (sombreado) en el nivel de 500 hPa; derecha: presión media a nivel del mar (isolíneas) y temperatura (sombreado) en 850 hPa,

Según la localización de la baja, el viento en superficie será del SE (en la dirección del eje del valle) o del SW, lo cual implica un viento cruzado sobre las pistas, con mayor impacto en las operaciones aéreas.

- SW en altura y SSE en superficie

La aeronave experimentará un viento fuerte del SW en la aproximación, acompañado de turbulencia ligera o moderada, que girará para ser del SSE aproximadamente por debajo de 1500-2000 ft (figura 9), canalizado a lo largo del valle; sobre la pista soplará con una velocidad media de 05-20 kt, con rachas de 20-35 kt. Aunque el giro a SSE sea progresivo, la aeronave puede sufrir grandes variaciones de velocidad (tanto aumento como disminución) en su aproximación (figura 10), que en estos casos será siempre por la cabecera 12.

En estas situaciones es frecuente la existencia de una inversión de temperatura en niveles bajos.

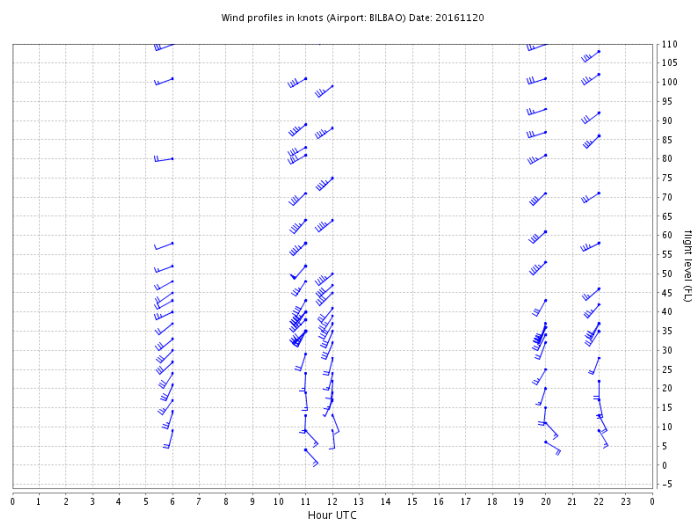


Figura 9. Perfil vertical del viento registrado por cinco aeronaves en sus aproximaciones o despegues de LEBB el 20/11/2016. Fuente: Programa E-AMDAR, EUMETNET.

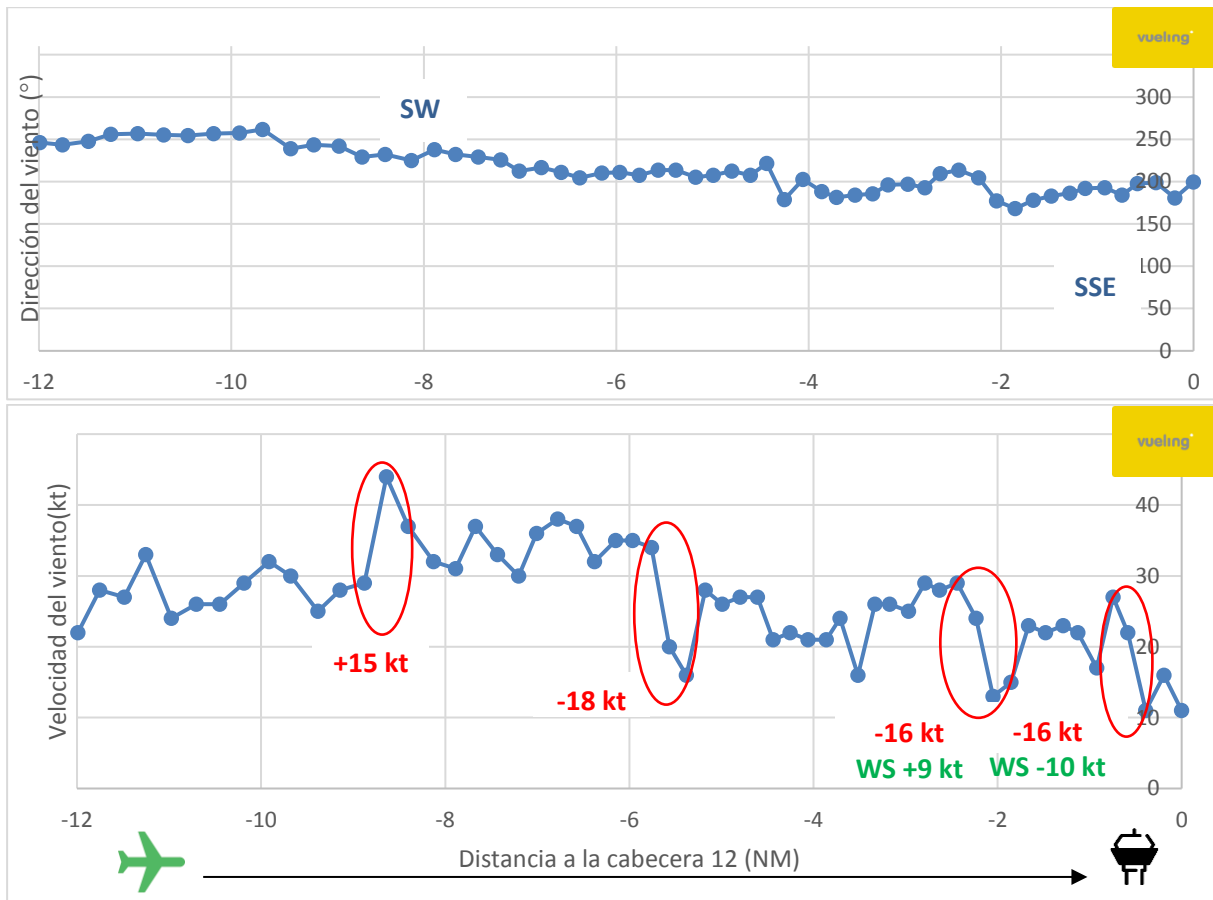


Figura 10. Dirección y velocidad del viento registradas por una aeronave de la compañía Vueling en su aproximación a LEBB por la cabecera 12 (de izquierda a derecha), en función de la distancia a la pista, el 20/11/2016; en rojo los cambios importantes en la velocidad del viento (en este caso prácticamente de viento cruzado), y en verde su traducción en ganancia o pérdida de viento de cara –headwind-, en los casos más significativos (cizalladura, WS). Fuente: Vueling Airlines.

- **SW en altura y SW en superficie**

Es frecuente que esta situación se produzca un tiempo después del caso anterior, a medida que la baja profunda situada al noroeste de la zona se desplaza hacia el este. El viento en superficie es del SW, reforzado por el viento en altura, con el agravante de que esto supone viento cruzado a la pista (figura 11). En estos casos se ha podido comprobar que la velocidad media del viento el LEBB está entre 10-30 kt, y es más racheado (20-50 kt). Así mismo, la intensidad de la turbulencia es mayor, predominando la turbulencia moderada frente a la ligera, y pudiendo ser incluso severa.

En la aproximación, las aeronaves pueden sufrir cizalladura tanto positiva como negativa, que en ocasiones puede llegar a ser de +/- 25-30 kt de viento de cara. Con vientos por lo general superiores a 30 kt en la aproximación, se ha comprobado la existencia de rotores. Por todo ello, son las situaciones que dan lugar a un mayor número de aterrizajes frustrados (detalles en el apartado 4).

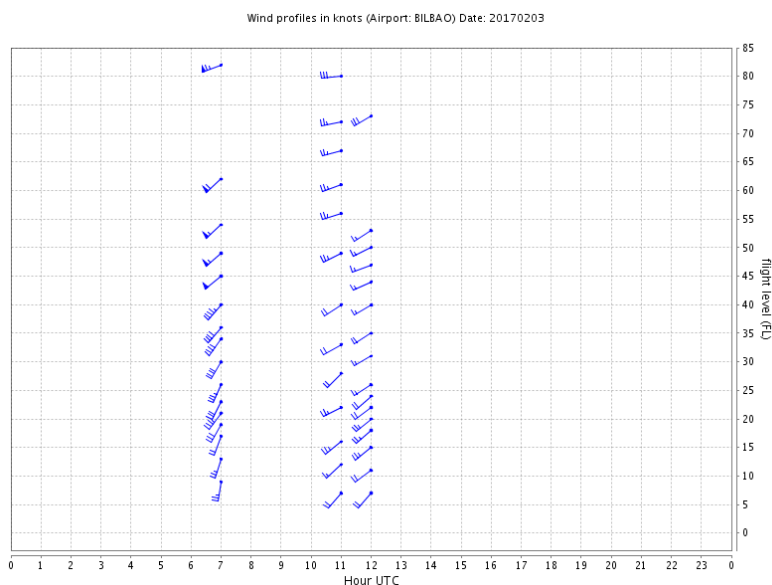


Figura 11. Perfil vertical del viento registrado por tres aeronaves en sus aproximaciones o despegues de LEBB el 03/02/2017. Fuente: Programa E-AMDAR, EUMETNET.

Los vientos más fuertes en LEBB suelen soplar con una dirección de 220-250°, pudiendo estar operativas ambas cabeceras, aunque se utiliza preferentemente la cabecera 12 debido a que la intensidad de la turbulencia suele ser menor.

En la [figura 12](#) se han incluido los registros obtenidos de un avión de la compañía Vueling en su aproximación a Bilbao el 03/02/2017, con una cizalladura elevada (cambios de más de 30 kt en menos de 1 milla náutica) y turbulencia moderada a severa. En la gráfica superior de la dirección del viento se puede comprobar incluso la presencia de rotores en los puntos en los que la aeronave experimenta momentáneamente un viento de dirección contraria (NE). En el momento del aterrizaje había rachas de casi 40 kt.

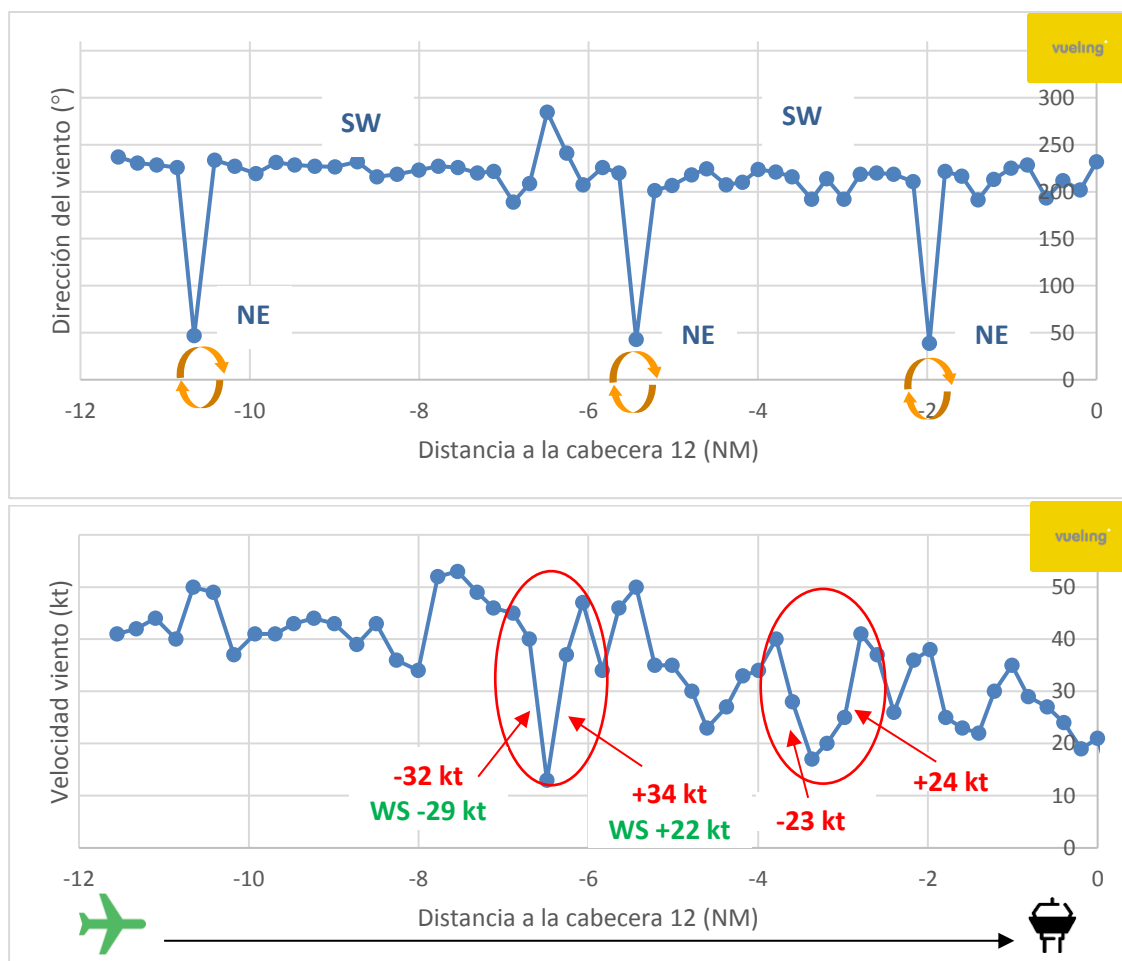


Figura 12. Dirección y velocidad del viento registradas por una aeronave de la compañía Vueling en su aproximación a LEBB por la cabecera 12 (de izquierda a derecha), en función de la distancia a la pista, el 03/02/2017. Rotores en flechas naranjas, en rojo los cambios importantes en la velocidad del viento (en este caso prácticamente de viento cruzado), y en verde su traducción en ganancia o pérdida de viento de cara –headwind-, en los casos más significativos. Fuente: Vueling Airlines.

- SW en altura y SSE-SW en superficie

En algunos casos poco frecuentes, el flujo de viento sobre el aeropuerto puede tener intervalos del SW e intervalos del SE (por lo general menos intensos), fruto de tener un flujo que remonta la montaña y otro que la rodea para soplar en la dirección del valle. Dicha alternancia en la dirección se puede comprobar en la sucesión de METAR siguiente:

```

201602061230 METAR LEBB 061230Z 23022G42KT 170V290 9999 FEW060 17/04 Q1013 NOSIG=
201602061300 METAR LEBB 061300Z 23019G37KT 160V280 9999 FEW060 17/03 Q1011 NOSIG=
201602061330 METAR LEBB 061330Z 16014KT 140V230 9999 FEW060 17/04 Q1010 NOSIG=
201602061400 METAR LEBB 061400Z 25015G30KT 210V320 9999 FEW050 18/03 Q1010 NOSIG=
201602061430 METAR LEBB 061430Z 18006KT 110V260 9999 FEW050 17/04 Q1009 NOSIG=
201602061500 METAR LEBB 061500Z 20010G24KT 120V290 9999 FEW050 17/03 Q1008 NOSIG=
201602061530 METAR LEBB 061530Z VRB07G20KT 9999 FEW050 17/03 Q1008 NOSIG=

```

En estos casos es habitual la presencia de una inversión de temperatura en niveles bajos.

2. Viento del SE en todos los niveles

Cuando una baja sinóptica profunda se sitúa sobre el oeste de la península (figura 13), origina un flujo intenso del SE sobre el aeropuerto de Bilbao, que se mantiene en todos los niveles (figuras 14 y 15). Aunque es un caso menos habitual que el del viento sinóptico del SW, también puede producir cizalladura, turbulencia ligera a moderada (en algún caso puede llegar a ser severa) y registrarse aterrizajes frustrados.

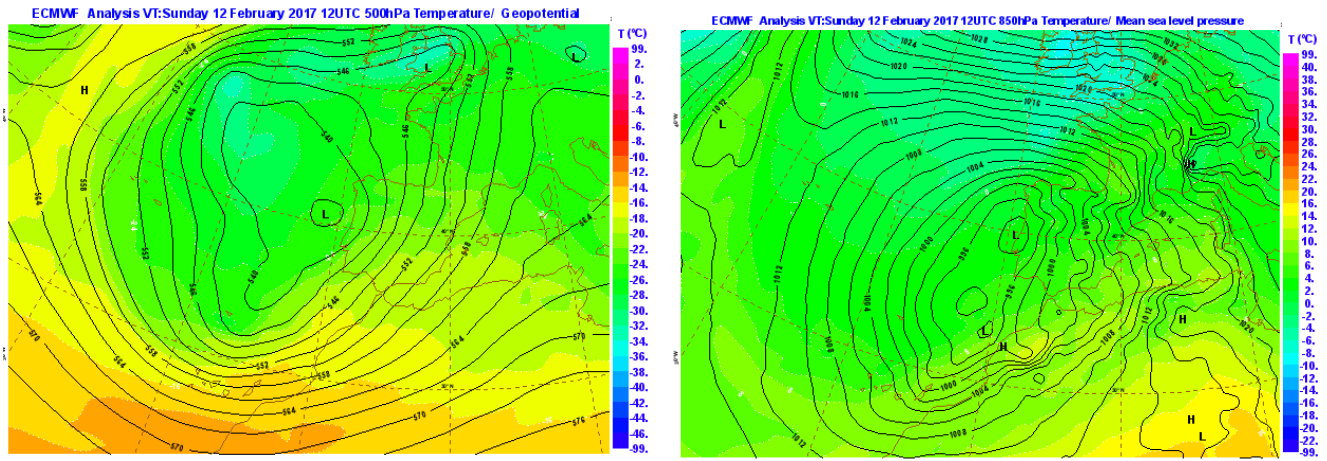


Figura 13. Análisis del modelo HRES-IFS del ECMWF el 12/02/2017 a las 12 UTC. Izquierda: geopotencial (isolíneas) y temperatura (sombreado) en el nivel de 500 hPa; derecha: presión media a nivel del mar (isolíneas) y temperatura (sombreado) en 850 hPa,

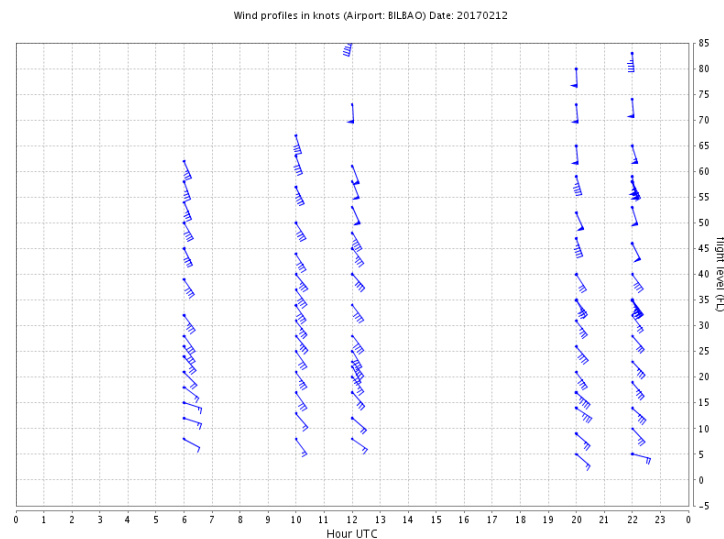


Figura 14. Perfil vertical del viento registrado por cinco aeronaves en sus aproximaciones o despegues de LEBB el 12/02/2017. Fuente: Programa E-AMDAR, EUMETNET.

En estos casos el viento en superficie será habitualmente de mayor intensidad que en los casos de SE con viento en altura de SW, viene canalizado por el valle y alineado con el eje de la pista, con una velocidad media de 10-25 kt y rachas de 20-40 kt. Al soplar prácticamente en la dirección de la pista, los cambios de velocidad de viento se traducirán de forma más directa en ganancias o pérdidas de viento de cara (figura 15 inferior).

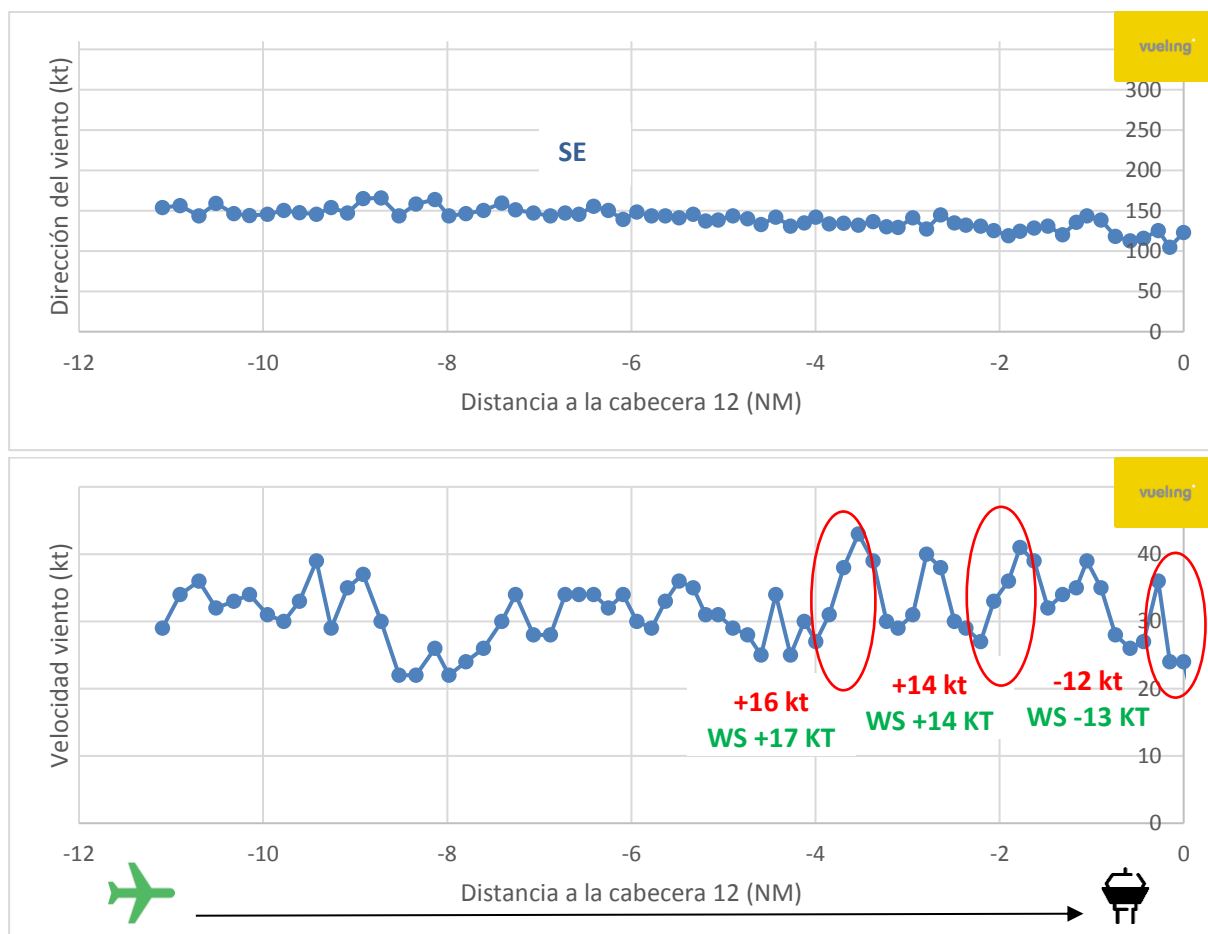


Figura 15. Dirección y velocidad del viento registradas por una aeronave de la compañía Vueling en su aproximación a LEBB por la cabecera 12 (de izquierda a derecha), en función de la distancia a la pista, el 13/02/2017. En círculos rojos los cambios importantes en la velocidad del viento (en este caso de dirección casi coincidente con el eje de la pista), y en verde su traducción en ganancia o pérdida de viento de cara –headwind-. Fuente: Vueling Airlines.

3.1.2.2. Cizalladura por el paso de un frente frío

Hay un segundo tipo de cizalladura que se produce en LEBB, cuyo origen no es orográfico sino que es debido al paso de un frente frío en superficie sobre el aeropuerto (figura 16). En numerosos casos ocurre después de las situaciones de viento de componente sur en superficie con SW en altura (primer apartado del 3.1.2.1).

Por un lado se produce cizalladura vertical con la entrada del frente, debido a que el viento rola de SW a NW primero en superficie, mientras en altura sigue habiendo SW (ver figura 17). Y, por otro lado, la descarga fría postfrontal, con el NW ya establecido, es un ambiente favorable para la formación de chubascos de carácter moderado a fuerte, que pueden ir acompañados de tormenta y dar lugar a cizalladura y turbulencia.

En estos casos el viento en superficie del NW puede ser de una gran intensidad (velocidad media de 08-40 kt y rachas de 20-55 kt). No obstante, su frecuencia -como causante de frustradas por cizalladura- es mucho menor.

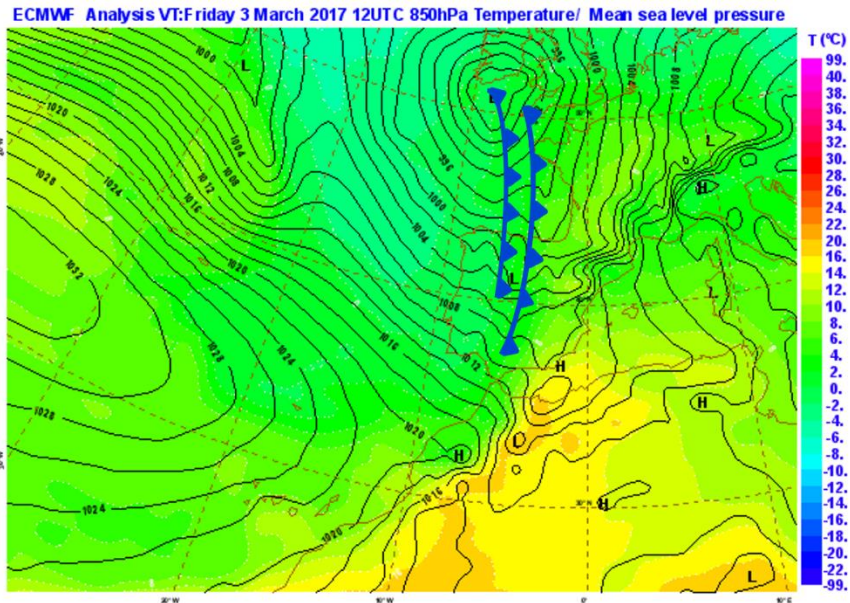


Figura 16. Análisis de la presión media a nivel del mar (isolíneas) y temperatura (sombreado) en el nivel de 850 hPa el 03/03/2017 a las 12 UTC; en línea azul, trazado aproximado de los frentes fríos que afectaron a la zona de interés.

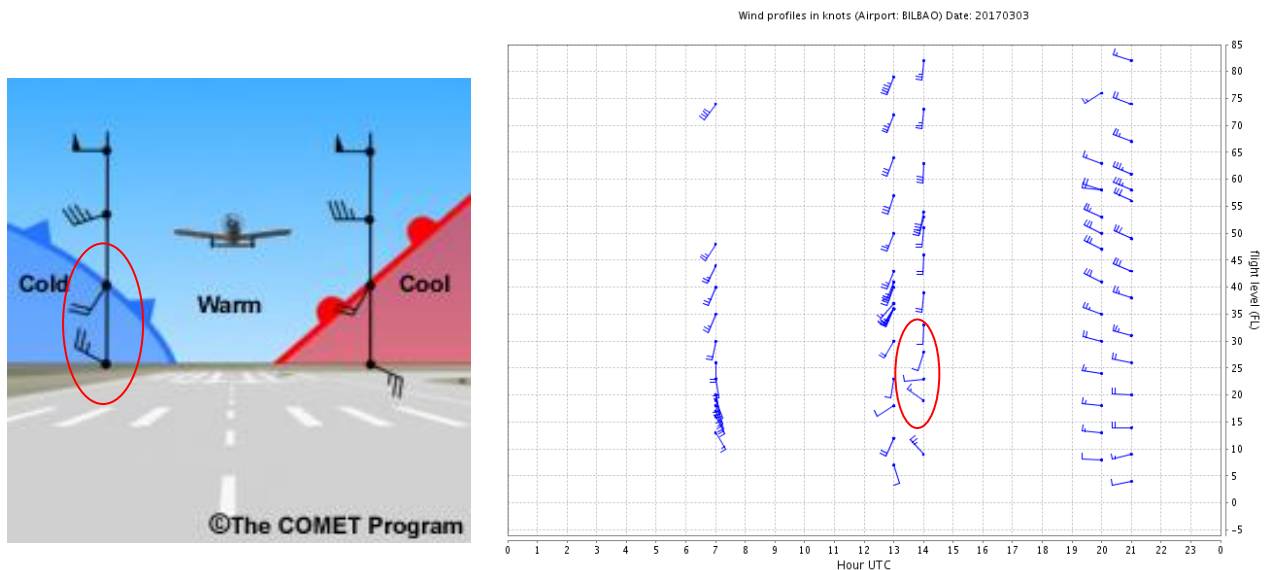


Figura 17. Izquierda: simulación del perfil vertical del viento ante el paso de un frente cálido (en rojo) seguido de un frente frío (en azul). Fuente: The Comet Program. Derecha: perfil vertical del viento registrado por cinco aeronaves en sus aproximaciones o despegues de LEBB el 03/03/2017; giro del viento en superficie de SSE a NW con el paso del frente entre las 13 y las 14 horas y cizalladura vertical (círculo rojo). Fuente: Programa E-AMDAR, EUMETNET.

En estas situaciones, la aeronave experimentará viento de componente sur en su aproximación, que pasará a ser del NW de forma repentina (no gradual), como se puede ver en la figura 18. El giro empezará a producirse en superficie y ocurrirá en altitudes cada vez mayores, a medida que avance la masa de aire frío.

El momento más crítico será justo en el momento de la entrada del frente en superficie, ya que probablemente las aeronaves estarán realizando la aproximación por la cabecera 12 al haber componente sur, y se encontrarán repentinamente con viento en cola del NW en el momento de tomar tierra (cizalladura negativa, -20 kt o superior). Una vez cambiada la cabecera para aproximar por la 30 (como en el caso de la [figura 18](#)), las aeronaves experimentarán una cizalladura positiva en la aproximación (+20 kt en este caso), cada vez a mayor distancia de la cabecera a medida que el frente avance.

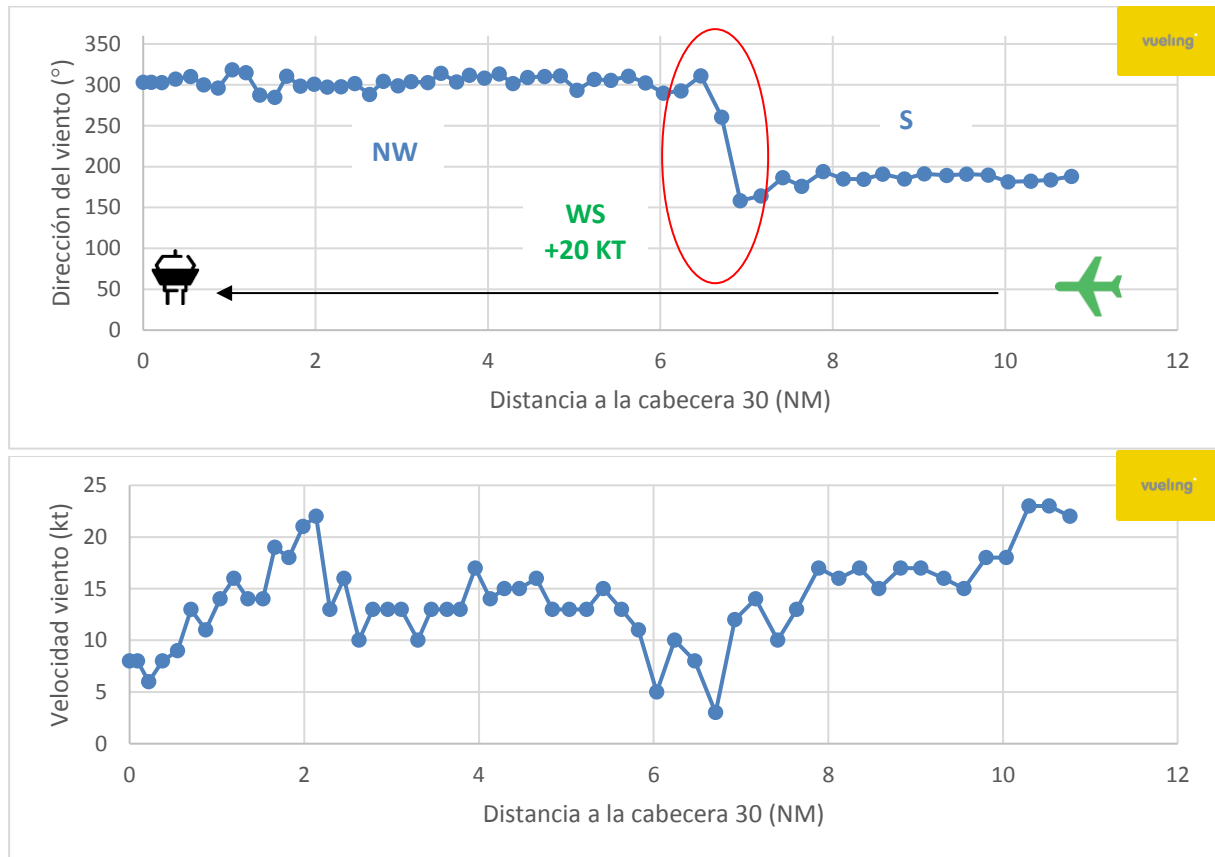


Figura 18. Dirección y velocidad del viento registradas por una aeronave de la compañía Vueling en su aproximación a LEBB por la cabecera 30 (de derecha a izquierda), en función de la distancia a la pista, el 03/03/2017; en la figura superior se aprecia el giro repentino de viento del S a NW que experimenta la aeronave, lo cual implica una ganancia de viento de cara de 20 KT. Fuente: Vueling Airlines.

3.1.3. Datos de cizalladura y turbulencia proporcionados por pilotos

En el presente apartado se presentan los resultados de los datos proporcionados por los pilotos de 133 vuelos (20 días) de más de 20 compañías aéreas, en sus aproximaciones y despegues de Bilbao, y registrados por la Torre de Control, durante el periodo de octubre de 2016 a mayo de 2017. En la [figura 19](#) se incluye el resumen de la distribución de los datos, pudiéndose comprobar que predominan claramente los datos obtenidos con la cabecera 12 operativa (82 %) -debido a que predominó el viento del SSE en superficie- y también las aproximaciones (60 %) frente a los despegues (40 %).

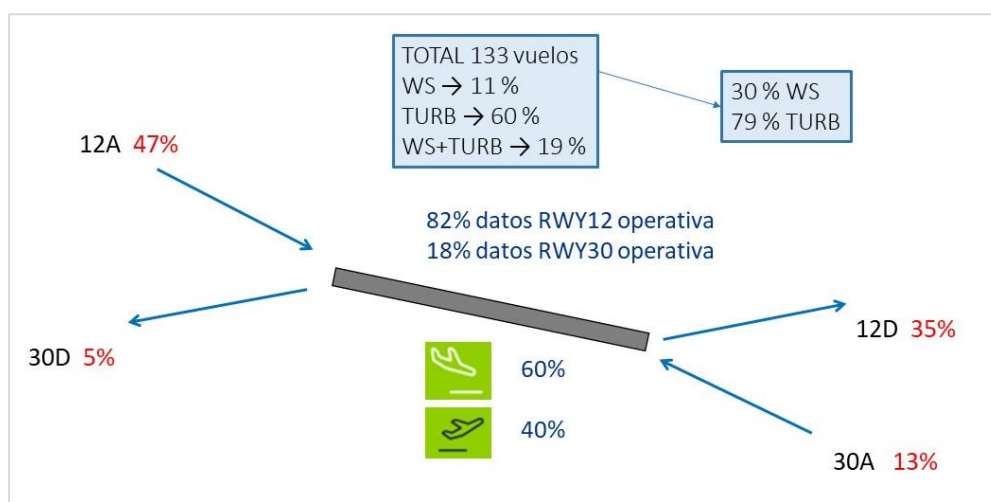


Figura 19. Resumen de los datos de cizalladura y turbulencia obtenidos de los pilotos y distribución de los mismos, en función de la cabecera operativa y del tipo de maniobra (aproximación o despegue).

Una de las cuestiones importantes a resaltar en LEBB es la presencia destacada de turbulencia. Del total de notificaciones de pilotos, aproximadamente el 80 % notificó turbulencia, frente al 30 % que notificó cizalladura. Aproximadamente la mitad de las aeronaves que notificaron cizalladura, indicaron su signo, predominando la cizalladura positiva con un 66 %.

En la [figura 20](#) se ha representado la distribución de las notificaciones de los pilotos en función de la altura, encontrándose que el mayor número de reportes de turbulencia se ha producido entre 2 500 y 3 000 ft, mientras que en el caso de la cizalladura, el nivel del máximo número de reportes se corresponde con 500 - 1 000 ft. Es importante señalar que en algunas compañías la alarma de cizalladura observada solo se activa por debajo de un determinado nivel (i.e. 1500 ft) por lo que este valor puede estar sesgado hacia altitudes bajas.

En la [figura 21](#) se han representado los mismos datos en función de la distancia a la cabecera y considerando únicamente las aproximaciones. Se puede comprobar cómo la turbulencia se produjo en ambas cabeceras a lo largo de toda la aproximación, con el mayor número de notificaciones entre 3 y 5 NM de cada cabecera.

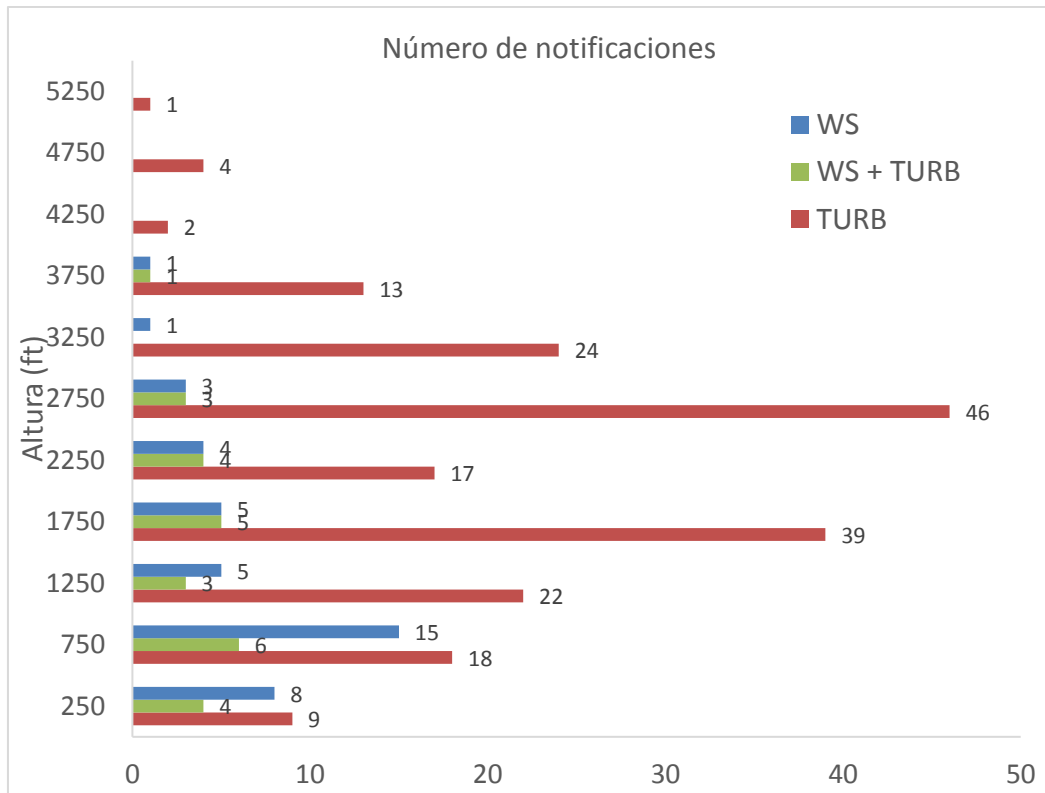


Figura 20. Distribución de las notificaciones de cizalladura (WS) y turbulencia (TURB) de los pilotos en sus aproximaciones y despegues en función de la altura, agrupados en intervalos de 500 ft y representando en el eje vertical la altura del centro del intervalo.

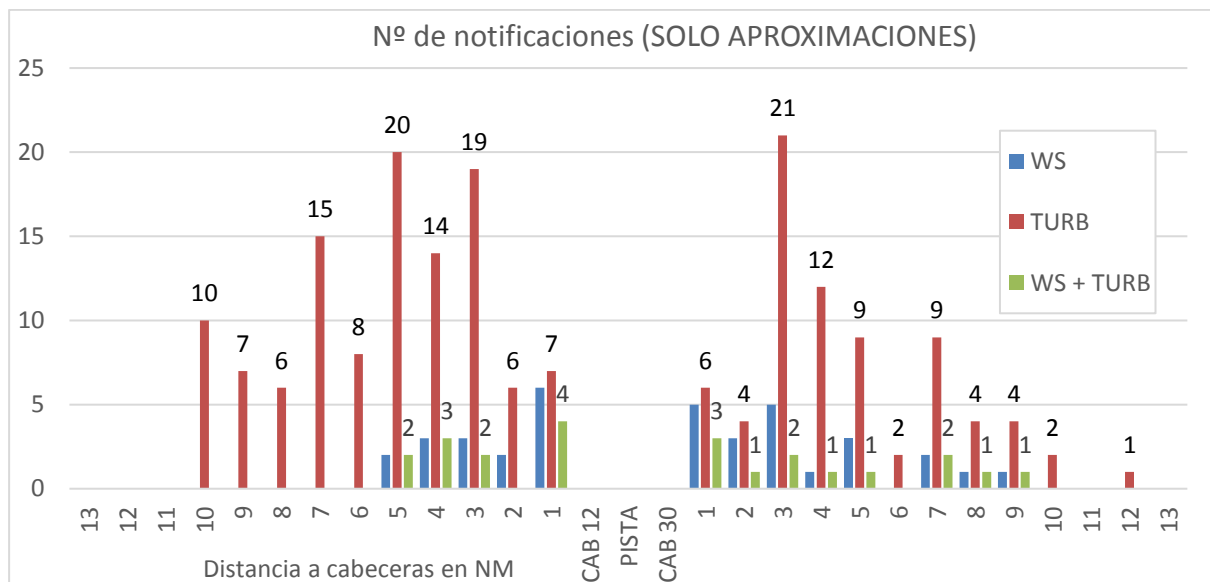


Figura 21. Distribución de las notificaciones de cizalladura (WS) y turbulencia (TURB) de los pilotos en función de la distancia a la cabecera, y considerando únicamente las aproximaciones.

En relación con la intensidad de la turbulencia, en la [figura 22](#) se ha representado su distribución en función de la altura, viéndose que los reportes de mayores intensidades (moderada-severa o severa) se produjeron entre 1500 y 3500 ft.

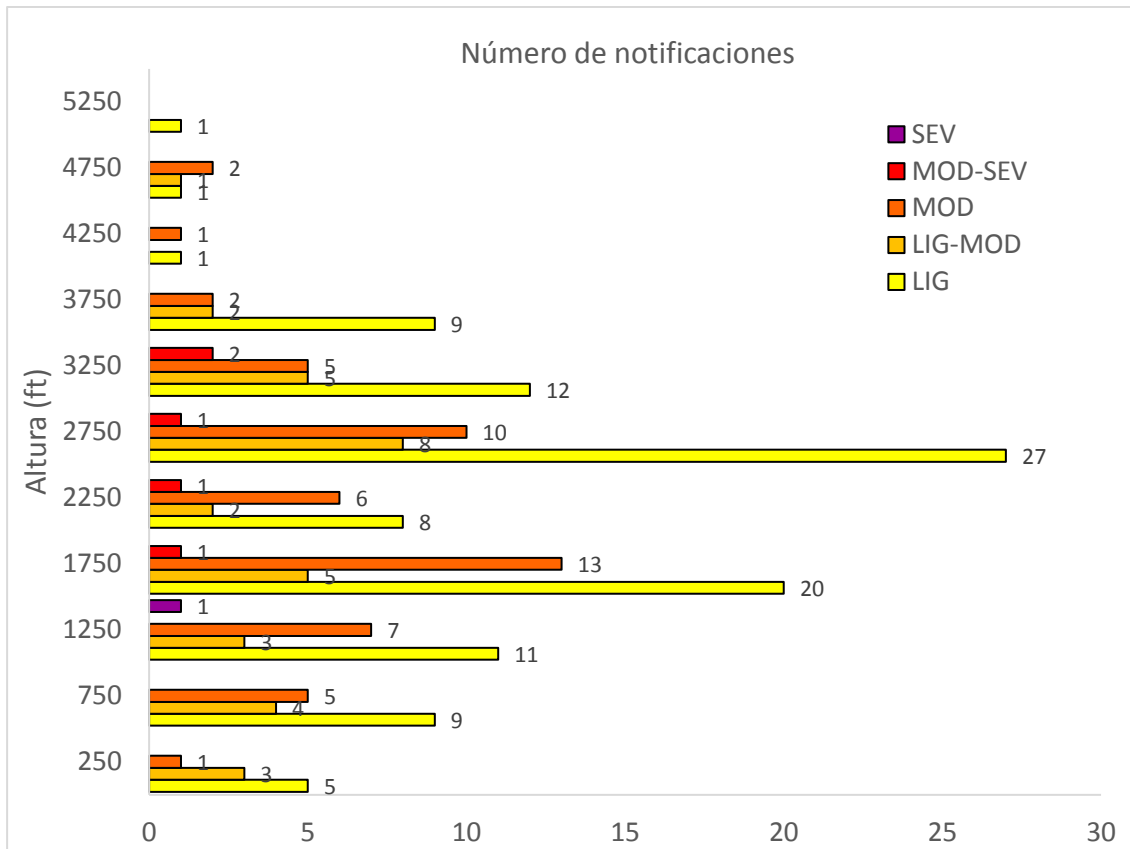


Figura 22. Distribución de las notificaciones de intensidad de la turbulencia de los pilotos en sus aproximaciones y despegues en función de la altura, agrupados en intervalos de 500 ft y representando en el eje vertical la altura del centro del intervalo.

Aproximadamente el 35 % de vuelos la reportaron con intensidad moderada o superior, si bien cabe recordar que la apreciación de la intensidad es una cuestión subjetiva del piloto. En conjunto predominaron los reportes de intensidad ligera con un 46 % (figura 23), salvo en las aproximaciones por la cabecera 30 en las que predominó la intensidad modera.

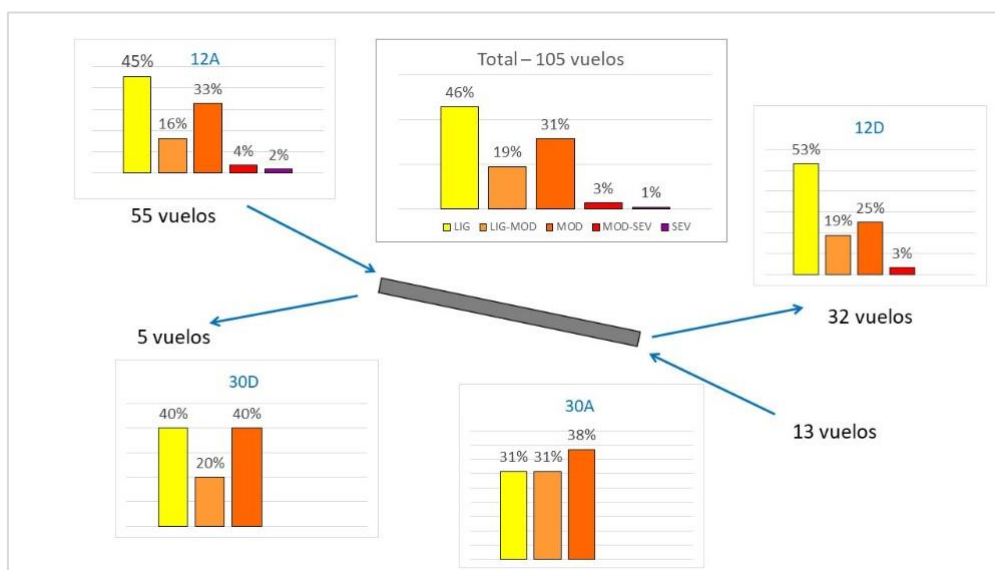


Figura 23. Distribución de las notificaciones de intensidad de turbulencia, en función de la cabecera operativa y del tipo de maniobra (aproximación o despegue).

Si analizamos la relación de los casos de cizalladura, turbulencia y aterrizajes frustrados (debidos a WS, proporcionado por AENA) con el viento en superficie (figura 24), se observa que en los casos de cizalladura predominó el viento del SE, en los de turbulencia, el viento del S y SE, y en los aterrizajes frustrados predominó claramente el SW (viento cruzado a la pista). Es importante señalar que durante la campaña de datos se produjeron pocos casos de viento de superficie del SW.

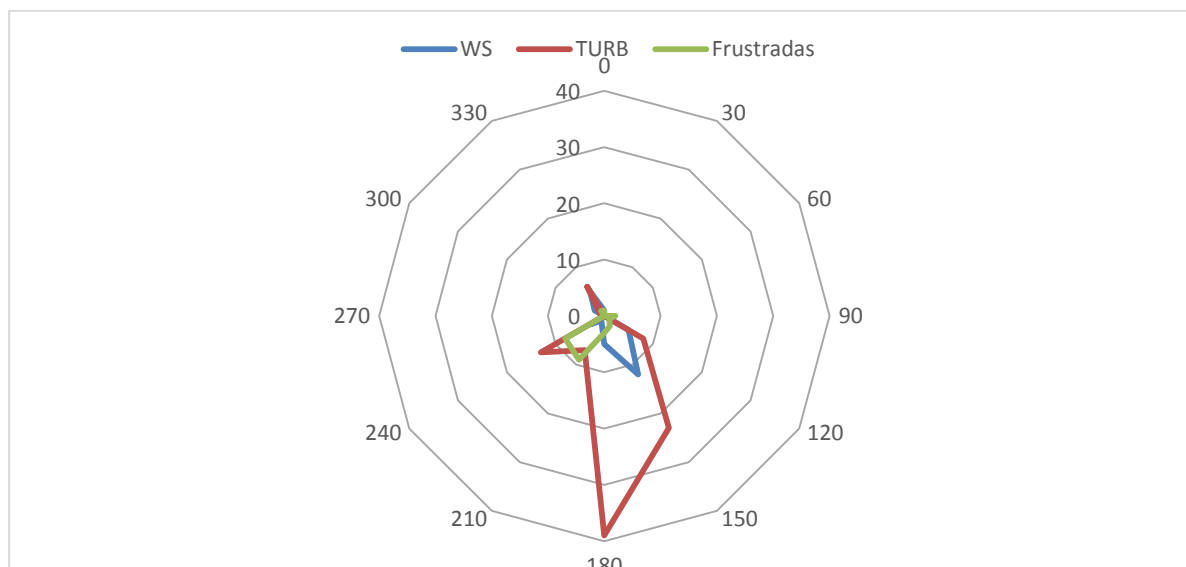


Figura 24. Rosa de frecuencia de la dirección del viento en superficie en los METAR del periodo completo -octubre 2016 a mayo 2017-, en los casos de notificaciones de cizalladura (WS), turbulencia (TURB) y en los aterrizajes frustrados por WS.

No obstante, en cuanto a la distribución por intensidad, se ve que en los casos de viento en superficie del SW, predomina la turbulencia moderada frente a la ligera (figura 25).

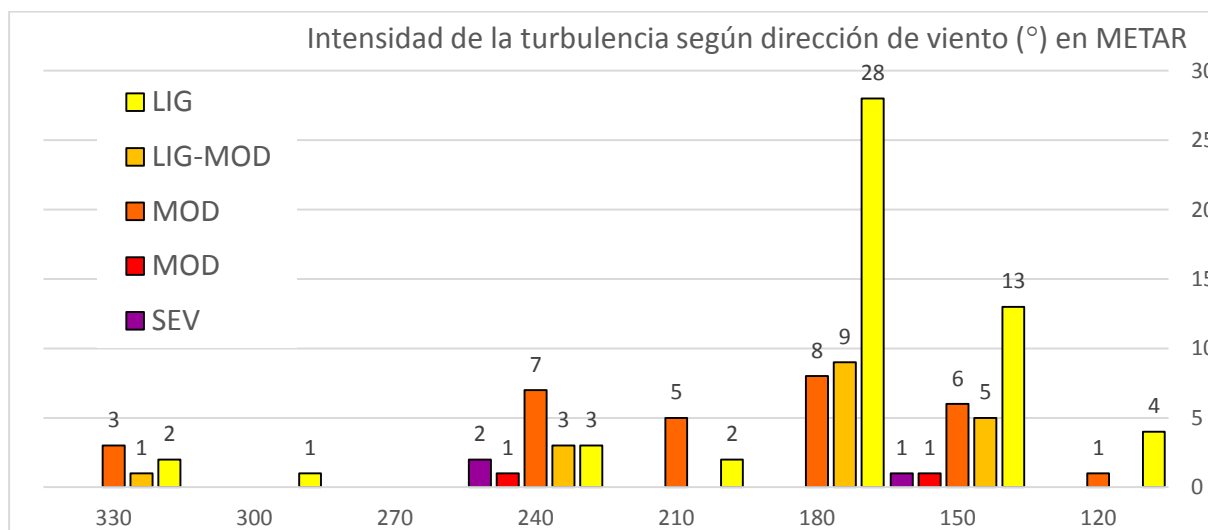


Figura 25. Distribución de la intensidad de la turbulencia (número de notificaciones) en función de la dirección del viento en el METAR; predominio de la turbulencia moderada con viento del SW (240 y 210°). NOTA: se han añadido 2 notificaciones de turbulencia severa del SW tras consultar los mensajes ATIS.

Otro de los resultados importantes del estudio es que se ha podido comprobar (figura 26) que en aproximadamente el 40 % de los casos de cizalladura y turbulencia, y de aterrizajes frustrados por dichas causas, el viento era flojo en la pista (≤ 10 kt).

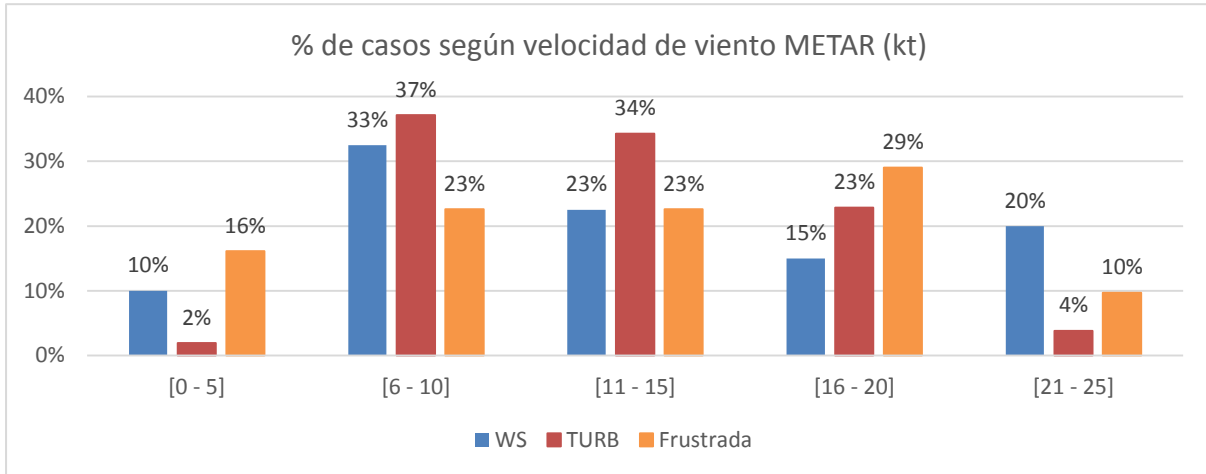


Figura 26. Distribución de los casos de cizalladura, turbulencia y frustradas, en función de la velocidad del viento en el METAR.

Si se representa la intensidad de la turbulencia en función de la velocidad del viento en el METAR (figura 27), se comprueba también que con vientos flojos se producen numerosos casos de turbulencia moderada, e incluso algunos de moderada-severa o severa.

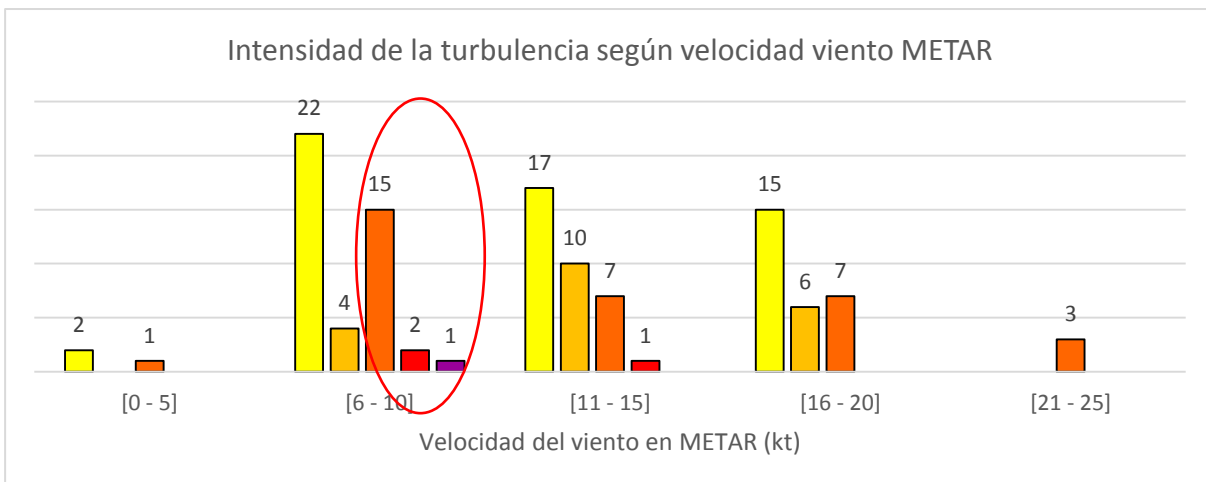


Figura 27. Distribución de los casos de cizalladura, turbulencia y frustradas, en función de la velocidad del viento en el METAR; en círculo rojo, turbulencia moderada o superior con vientos flojos.

4. Impactos

Con el fin de analizar un periodo de tiempo de mayor duración que la campaña de datos descrita en la presente guía y obtener valores más representativos, se han analizado los datos de aterrizajes frustrados (“motor y al aire”) de los años 2016, 2017 y 2018 en LEBB, proporcionados por ENAIRE (359 casos), con una clasificación en más categorías además de la cizalladura. Se ha visto que el 77 % de las frustradas son debidas a causas meteorológicas, frente al 23 % que son debidas a otros motivos.

En la [figura 28](#) se han desglosado las frustradas meteorológicas por sus causas, viéndose que la cizalladura es el fenómeno que mayor impacto produce, con un 36 % (sobre el total de las meteorológicas).

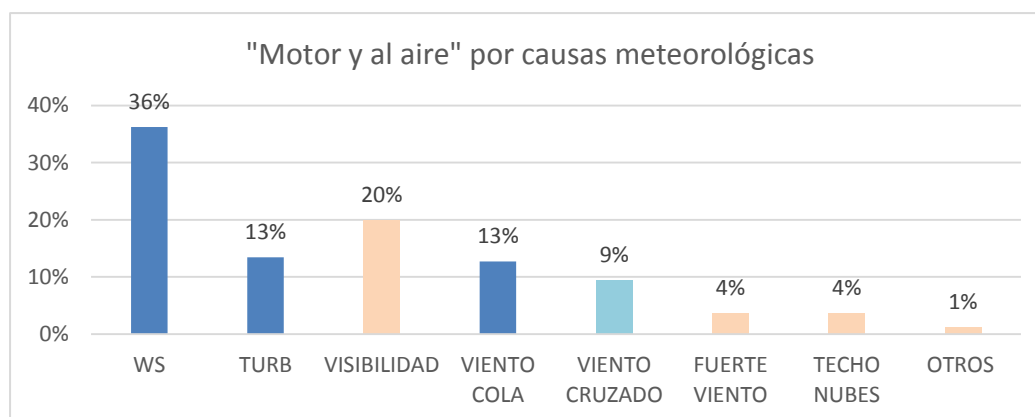


Figura 28. Distribución de las frustradas (maniobras de “motor y al aire”) por motivos meteorológicos en LEBB en los años 2016, 2017 y 2018; en azul oscuro los fenómenos directamente relacionados con la cizalladura y en azul claro aquellos que probablemente también estén relacionados con ella.

No obstante, hay tener en cuenta que en aquellas frustradas cuyo motivo es el viento en cola, realmente son también casos de cizalladura, ya que implican que la aeronave se ha encontrado en la aproximación final un viento diferente al de la pista (que en principio era favorable para realizar la aproximación por dicha cabecera) y se ve obligada a frustrar. Por otro lado, siempre que se observa turbulencia es debido a la presencia de cizalladura entre dos capas de aire. Y, por último, es probable que la mayoría de los casos catalogados como frustrada por viento cruzado se produzcan en situaciones de cizalladura y turbulencia.

Por tanto, si se considera la contribución de todas las causas en las que interviene la cizalladura (aquellas clasificadas como “WS”, “TURB”, “Viento cola” y algunas de “Viento cruzado”), se obtiene que un **65-70 % de los aterrizajes frustrados ocurridos entre 2016 y 2018 en el aeropuerto de Bilbao por causas meteorológicas son debidos a la cizalladura** (el 50-55 % si se mide sobre el total de frustradas). En números absolutos, el número de frustradas por cizalladura (WS + TURB + viento en cola + viento cruzado -parcialmente-) asciende a casi 200 casos en los últimos tres años, una media de aproximadamente 65 frustradas al año.

En las frustradas relacionadas con el viento, se ha analizado también el viento en el METAR más próximo al momento en el que se registró la frustrada. En la [figura 29](#) se puede observar cómo la gran mayoría de las frustradas se producen con un viento en superficie del SW, incluyéndose en la siguiente tabla la distribución de las frustradas por cabecera operativa, predominando la cabecera 30.

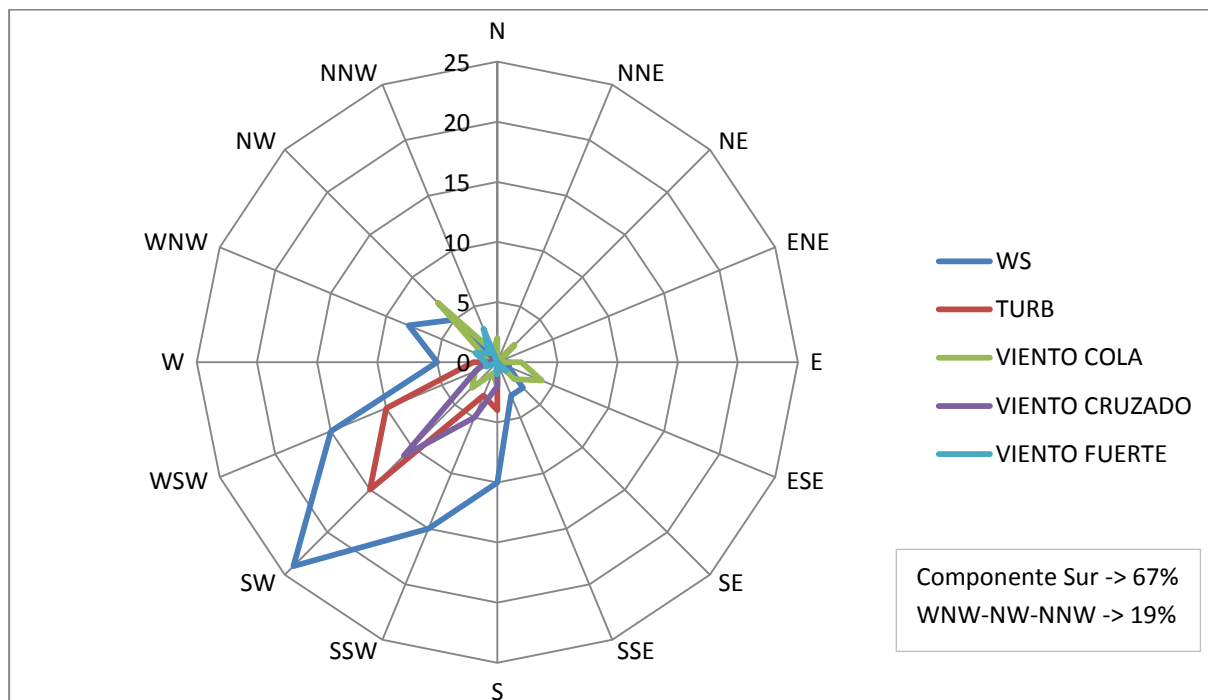


Figura 29. Distribución de la dirección del viento en superficie en el METAR (nº de sucesos), en las frustradas relacionadas con el viento en LEBB en los años 2016, 2017 y 2018.

	WS	TURB	V COLA	V CRUZADO	V FUERTE
RWY 12	41 %	35 %	46 %	50 %	20 %
RWY 30	58 %	65 %	51 %	46 %	80 %

Tabla 2. Cabecera operativa en los casos de frustradas relacionadas con el viento (2016-2018).

En relación con la intensidad del viento ([figura 30](#)), si bien predomina el viento moderado, llama la atención el porcentaje tan alto de frustradas que llegan a producirse con vientos flojos o en calma, es decir, inferiores a 10 kt (por ejemplo, 35 % en los casos de WS y 19 % en los de TURB). En estos casos, el viento en el aeropuerto no será representativo del viento que las aeronaves experimentarán en sus aproximaciones.

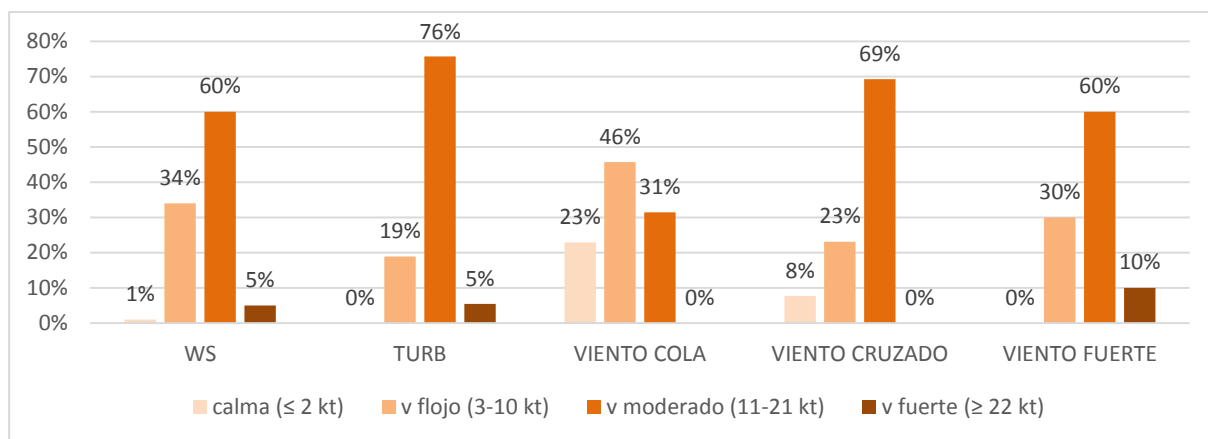


Figura 30. Distribución de la intensidad del viento en superficie en el METAR (en %), en las frustradas relacionadas con el viento en LEBB en los años 2016, 2017 y 2018.

En la siguiente tabla se pueden comprobar los valores de viento medio y racha en el METAR en los casos de frustradas, con un viento medio de 13-14 kt, pero que puede sufrir una gran variación, desde 1 o 2 kt hasta 24 kt. Las rachas máximas de viento registradas llegan a alcanzar los 45 kt, y son más frecuentes en los casos de turbulencia.

	Viento medio		Racha		
	Valor medio (kt)	Mínimo-Máximo (kt)	Valor medio (kt)	Mínimo-Máximo (kt)	% casos con racha
WS	13	2-24	29	18-44	64 %
TURB	14	5-24	31	19-45	81 %
V COLA	7	1-17	25	17-27	14 %
V CRUZADO	13	2-21	31	21-40	65 %
V FUERTE	13	5-24	31	24-41	50 %

Tabla 3. Valores medio, mínimo y máximo del viento medio en 10 minutos y la racha, cifrados en los METAR correspondientes a los momentos de los distintos tipos de frustradas (periodo 2016-2018); en la última columna, porcentaje de METAR en los que se cifra la racha.

Por último, es importante indicar que el impacto de los fenómenos de cizalladura y turbulencia sobre las operaciones del aeropuerto de Bilbao es aún mayor del aquí descrito ya que un número significativo de vuelos se ve desviado a otro aeropuerto sin que se haya llegado a producir un aterrizaje frustrado. Los desvíos no se han analizado en la presente guía por no disponer de una base de datos homogénea suficientemente larga.

5. Resumen

La cizalladura y la turbulencia son los fenómenos con mayor impacto en las operaciones de Bilbao, representando casi el 70 % de las maniobras de “motor y al aire” debidas a factores meteorológicos de los últimos tres años, con una media aproximada de 65 frustradas al año.

Dichos fenómenos se producen principalmente debido al forzamiento orográfico, cuando el viento sinóptico es de componente S y sopla con intensidad moderada a fuerte sobre las montañas que se encuentran al sur del aeropuerto, quedando el aeropuerto a sotavento y perturbándose el flujo sobre él; la época de mayor frecuencia de estas situaciones es de octubre a marzo, pueden durar varios días y por lo general se producen en aire seco.

Según la posición de la baja profunda que origina dicho flujo sinóptico, se producirán diferentes patrones de viento en altura y en superficie del SW o SSE, resumidos en la [tabla 4](#) junto con sus características. La situación de SW en todos los niveles es la que registra el viento más intenso (10-30 kt) y más racheado (20-50 kt) en LEBB, -que además es cruzado a la pista-, con mayor cizalladura (cambios de hasta 30 kt de viento de cara registrados) e intensidad de turbulencia (moderada a severa), provocando el mayor número de frustradas. Con vientos del SW por lo general superiores a 30 kt en la aproximación, se ha detectado la existencia de rotores (en los que la aeronave experimenta momentáneamente un viento de dirección contraria -NE-).

En los casos de cizalladura de origen orográfico, se ha podido comprobar que no hay un patrón homogéneo de cizalladura, pudiendo sufrir las aeronaves cizalladura tanto positiva como negativa en una misma aproximación y en diferentes puntos, siendo muy frecuente por debajo de los 1000 ft, y siendo diferente la experimentada por aeronaves en aproximaciones sucesivas.

La turbulencia se puede producir a lo largo de toda la aproximación por ambas cabeceras, aunque se ha constatado un mayor número de reportes entre 3 y 5 NM. Considerando tanto despegues como aterrizajes, los reportes de mayores intensidades (moderada-severa) se produjeron entre 1500 y 3500 ft. En las aproximaciones por la cabecera 30 predomina la turbulencia moderada frente a la ligera, siendo esta cabecera también la que acumula un mayor número de frustradas en los casos de cizalladura y turbulencia.

Hay una segunda causa de cizalladura en LEBB -aunque con un número mucho menor de frustradas asociadas- que es la debida al paso de un frente frío en superficie (generalmente después de las situaciones de SW), con un giro del viento de SSW a NW. En estos casos se produce cizalladura vertical al paso del frente, normalmente acompañado de chubascos, con frecuencia de carácter moderado a fuerte; en el caso de que se produzcan tormentas, el viento aumentará considerablemente, produciéndose de nuevo cizalladura y turbulencia.

Es importante tener presente que en un número considerable de frustradas (35% de las de cizalladura y 19% de turbulencia), el viento era igual o inferior a 10 kt en LEBB, por lo que el METAR no será representativo del viento que las aeronaves experimentarán en la fase final de la aproximación; en estos casos adquieren aún mayor valor las notificaciones de cizalladura de los pilotos a la Torre, transmitidas a su vez a la Oficina Meteorológica del aeropuerto (OMA) para que puedan ser incluidas en el METAR.









Causa de WS y TURB	Flujo en altura 5000 ft	Flujo en superficie LEBB	RWY en uso	Dirección viento en METAR (°)	Viento medio METAR (kt)	Racha METAR (kt)	Características principales
Forzamiento orográfico	SW 	SSE 	12	120-200	05-20	20-35	⇒ inversión de temperatura frecuente en niveles bajos. ⇒ viento en LEBB puede ser flojo. ⇒ TURB ligera/moderada. ⇒ giro progresivo de SW a SSE en la aproximación; SSE ≤ 1500-2000 ft.
		SW 	12/30	210-250	10-30	20-50	⇒ en general ausencia de inversión. ⇒ viento moderado a fuerte en LEBB, más intenso y más racheado que en los demás casos de forzamiento orográfico (mayores intensidades con 230° - 240°). ⇒ WS + y - de hasta 25-30 kt (cambio en viento de cara). ⇒ TURB moderada/severa, predominando la moderada. Por lo general más intensa en la aproximación por RWY30. ⇒ situación que da lugar al mayor número de frustradas.
		SW y SSE 	12/30	130-240	05-25	20-40	⇒ inversión de temperatura frecuente en niveles bajos. ⇒ intervalos de SW (por lo general más intenso) y SSE en superficie (por lo general más débil); cambios repentinos de uno a otro. ⇒ TURB ligera/moderada ⇒ caso menos frecuente.
	SSE 	SE 	12	120-170	10-25	20-40	⇒ viento canalizado por el valle, por lo general más intenso que los otros casos de viento del SSE en superficie. ⇒ TURB ligera/moderada, puede haber casos de severa.
Paso frontal frío	SSW ⇒ NW 	SSW ⇒ NW 	12/30 ⇒ 30	210-250 ⇒ 290-340	08-30 ⇒ 08-40	20-50 ⇒ 20-55	⇒ viento gira primero en superficie y después progresivamente en altura (cizalladura vertical, con un cambio repentino en la dirección). ⇒ una vez establecido el NW: *en general SHRA y cese de WS y TURB. *puede haber TS => WS, TURB y aumento del viento

Tabla 4

6. Summary

Windshear and turbulence are the phenomena with the greatest impact on Bilbao's air operations, being accountable for almost 70 % of "go-arounds" due to meteorological factors of the last three years, with an average of approximately 65 per year.

These phenomena are mainly terrain induced, when a Southerly synoptic wind blows with moderate to strong intensity on the mountains located to the south of the airport, disturbing the wind flow over LEBB, on the leeward side. These situations are encountered most frequently from October to March, they can last for several days and usually occur in dry air conditions.

A deep low pressure system is at the origin of this synoptic flow and, depending on its location, different high level and low level wind patterns from the SW or SE will occur, summarized in [table 4](#) along with their main features. When SW winds are observed at all levels, the strongest wind speeds (10-30 kt) and gusts (20-50 kt) are registered in LEBB, -furthermore crosswind-, with the greatest windshear (up to 30 kt of headwind changes) and turbulence intensity (moderate to severe), causing the highest number of go-arounds. With SW winds above 30 kt along the approach, rotors have been observed (in which the aircraft momentarily experiences opposite wind direction, -NE-).

In the cases of terrain induced windshear, a homogeneous windshear pattern cannot be established. Aircraft might undergo both positive and negative windshear along the approach and at different points, with a high frequency below 1000 ft; successive aircraft may encounter a different sequence of events.

Turbulence can occur throughout the entire approach by both runways, although a greater number of events have been reported between 3 and 5 NM. Considering both takeoffs and landings, the highest intensities (moderate to severe) occurred between 1500 and 3500 ft. When approaching runway 30, moderate turbulence prevails over light turbulence, and a greater number of go-arounds due to windshear and turbulence occur.

The second cause of windshear in LEBB - although resulting in a much smaller number of go-arounds - is a cold front passage (usually occurring after the SW episodes), with a sudden shift in wind direction from SSW to NW. In these cases, vertical windshear occurs along the front. Rain showers are frequent (often moderate to strong) and if thunderstorms occur, the wind speed will increase considerably, producing again shear and turbulence.

It is important to bear in mind that in a considerable number of go-arounds (35 % of those due to windshear and 19 % of those due to turbulence), wind speed was equal to or less than 10 kt in LEBB, so METAR reports will not always be representative of the wind the aircraft will encounter in the final phase of the approach. In these cases, the pilot's windshear reports to the Tower are even more valuable, which will in turn be transmitted to AEMET so that they can be included in the METAR report.









Causes of WS and TURB	Wind at 5000 ft	Wind at LEBB	RWY in use	METAR Wind Direction (°)	METAR Wind Speed (kt)	METAR Wind Gust (kt)	Main features
Orography	SW 	SSE 	12	120-200	05-20	20-35	⇒ frequent temperature inversion at low levels. ⇒ wind at LEBB can be light. ⇒ light/moderate TURB. ⇒ wind gradually turns SW to SSE on approach; SSE ≤ 1500-2000 ft.
		SW 	12/30	210-250	10-30	20-50	⇒ generally no temperature inversion. ⇒ moderate to strong wind at LEBB, with higher speed and gusts than in the other terrain induced cases (greatest speeds with 230° -240°). ⇒ + and - WS (headwind changes) of up to 25-30 kt. ⇒ moderate/severe TURB, moderate TURB prevails. Generally more intense when approaching RWY30. ⇒ greatest number of go-arounds.
		SW and SSE 	12/30	130-240	05-25	20-40	⇒ frequent temperature inversion at low levels. ⇒ surface SW wind (generally more intense) alternates with SSE wind (generally lighter); sudden changes from one to the other. ⇒ light/moderate TURB. ⇒ less frequent case.
	SSE 	SE 	12	120-170	10-25	20-40	⇒ wind funneled through the valley, generally more intense than the other cases of surface SSE wind. ⇒ light/moderate TURB, severe TURB might occur.
Cold Front passage	SSW ⇒ NW 	SSW ⇒ NW 	12/30 ⇒ 30	210-250 ⇒ 290-340	08-30 ⇒ 08-40	20-50 ⇒ 20-55	⇒ wind shifts first at surface and progressively at higher altitudes (vertical windshear, sudden change in wind direction). ⇒ once NW wind is established: *generally SHRA. WS and TURB cease. *possible TS => WS and TURB. Wind gets stronger.

Table 4

7. Referencias

OACI, 2005. **Manual sobre cizalladura del viento a poca altura**, Doc. 9817 - AN/449.

Pérez, J., 2017. **Caracterización de la cizalladura y turbulencia del aeropuerto de Bilbao**. Trabajo Fin de Grado. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio, Universidad Politécnica de Madrid.

Pons, M.R., Pérez, J., Benito, M.A., Martín, M., Simarro, J., Lliso, J., Iglesias, J., y López, M. 2019. **Caracterización de la cizalladura en el aeropuerto de Bilbao y evaluación del sistema LLWAS**. Sexto Simposio Nacional de Predicción de la Agencia Estatal de Meteorología.

8. Agradecimientos

La presente guía meteorológica de Bilbao ha sido posible gracias a la colaboración de numerosas personas e instituciones, a quienes la autora desea expresar su agradecimiento:

- al personal del grupo de trabajo que se creó en el aeropuerto de Bilbao con motivo del proyecto, por su contribución en su diseño, desarrollo y difusión: M^a Cristina Echeverría Ochoa y Vanesa Polo Subías (Dra. del aeropuerto y Jefa del Dpto. de Operaciones y Seguridad, AENA), Francisco Toledano Buendía (Jefe de Torre, ENAIRE), Francisco Javier Villar García (COPAC), Carlos Manso Díaz-Laviada (APROCTA) y Andrés Lainz Acebal (Jefe de Base de Vueling); a este último, también por sus sugerencias en la revisión de la presente guía.
- a los pilotos de más de veinte compañías aéreas, por proporcionar los datos relevantes en sus maniobras de aproximación y despegue al aeropuerto de Bilbao, y al personal de la Torre de Control (ENAIRE), por registrarlos.
- a las compañías aéreas Vueling (Dpto. de Safety) y Lufthansa (en especial a Oliver Fernando Meier), por suministrar los datos automáticos registrados por sus aeronaves.
- a las compañías aéreas que ceden sus datos al programa AMDAR de EUMETNET y que operan en Bilbao: Air France, British Airways, EasyJet, Eurowings, Germanwings, KLM y Lufthansa.
- a ENAIRE y AENA, por el suministro de su archivo de aterrizajes frustrados.
- al personal de AEMET:
 - a María Antonia Benito Peraita, Jefa de la OMA de Bilbao durante el estudio, por todas las gestiones realizadas y su implicación en el proyecto.
 - a Odón Hernández Holgado y Pilar Sanz del Moral, por su estudio previo de la cizalladura y turbulencia en Bilbao de los años 2008-2013, y al personal de la OMA de Bilbao, por los datos que proporcionó para el mismo.
 - a Juan Simarro Grande y Llorenç Lliso Valverde, por el suministro de los datos del modelo HARMONIE-AROME y el desarrollo de nuevos productos que han facilitado el estudio.
- y, por último, a Jorge Pérez Ricci, estudiante en prácticas de la Universidad Politécnica de Madrid durante el proyecto, por su exhaustivo análisis de los datos recopilados durante la campaña realizada con los pilotos y la Torre de Control.

AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA

Leonardo Prieto Castro 8

28040 Madrid (España)

<http://www.aemet.es>



Agencia Estatal de Meteorología