

Capítulo 9.

Peligros meteorológicos – cizalladura

- 9.1 Alturas favorables para el wind shear
- 9.2 Clases de wind shear
- 9.3 Situaciones que originan el wind shear
- 9.4 Mecanismo de wind shear sobre la aeronave
- 9.5 Efectos del wind shear sobre la tripulación
- 9.6 Acciones de la tripulación frente al wind shear
- 9.7 Instrumentos de medición

Ésta es la segunda causa de siniestralidad meteorológica en aviación, con un 26 % de los casos (Moreno y Gil, 2003); a diferencia del engelamiento, la tendencia ha disminuido. Esta positiva evolución se debe a un conocimiento más amplio de los factores que lo producen, a la progresiva instalación de instrumentos como el *Low Level Windshear Alert System* (LLWAS) para detectar el fenómeno y a las mejoras en la predicción, pero sobre todo a un mayor conocimiento y experiencia de las tripulaciones.

En términos aeronáuticos, la cizalladura es más conocida por su nombre en inglés (*wind shear*) y se manifiesta con fuertes cambios en la dirección o velocidad del viento en distancias cortas. Se le considera peligrosa porque actúa en las fases más críticas del vuelo (despegue y aproximación), dejando muy poca distancia vertical para que la tripulación estabilice nuevamente la aeronave y logre sortear la emergencia sin que se produzca un accidente aéreo.

9.1 Alturas favorables para el *Wind Shear*

Se genera en niveles muy bajos que oscilan entre 1 500 y 6 000 ft, en los que a medida que la altura es menor, la situación se torna más peligrosa y se dificulta controlar los cambios bruscos de altitud a los que está sometida la aeronave. Según el manual de investigación de accidentes de la FAC (1989), cuando el *wind shear* se presenta a una altura de 200 ft o superior, el 89,5 % de los intentos se logran recuperar en forma segura, mientras que por debajo de esa altura sólo se recuperan el 66,7 % de las aeronaves. Bajo esas características, se definieron 200 ft como una altura crítica para recobrar la aeronave de forma segura; es allí donde el piloto debe estar más consciente del riesgo.

9.2 Clases de *Wind Shear*

El *wind shear* puede presentarse de manera horizontal (HWS) o vertical (VWS), siendo esta última la más peligrosa y representativa, en especial porque tiene implícito el cambio de altitud de la aeronave frente al terreno. Durante el despegue o aproximación, la aeronave opera con la velocidad mínima por encima de la velocidad de pérdida, por lo que un cambio drástico en la velocidad del viento puede provocar una pérdida de sustentación.

Toda aeronave requiere una velocidad mínima para mantener la sustentación, la cual depende del rendimiento de la aeronave y de la velocidad relativa del aire. En la fase de aproximación, la tripulación siempre escoge la cabecera de pista con viento en contra para maximizar la sustentación, así que cualquier perturbación en el flujo de aire puede inducir un accidente aéreo.



9.3 Situaciones que originan el *Wind Shear*

El *wind shear* es causado principalmente por nubes de desarrollo vertical tipo torrecúmulos y cumulonimbos; no obstante, según Ledesma y Baleriola (1993), también puede generarse por:

125

- Corrientes en chorro (jet stream).
- Los vientos alisios y brisas de mar o de montaña.
- Rozamiento en la capa límite planetaria²².
- Obstáculos (montañas, edificios, etc).
- Chorros de bajo nivel²³ altitudinal.

Dado que el *wind shear* generado por tormentas es el más importante y peligroso, se enfatizará en este caso. Las fuertes diferencias de temperatura dentro de la tormenta causan fuertes ráfagas descendentes localizadas en la parte baja y central de la tormenta.

Estas fuertes ráfagas se dividen principalmente en dos escalas dependiendo del diámetro de cubrimiento: la mayor de 2,5 millas se considera macroráfaga (macroburst) y la menor microráfaga (microburst), siendo esta última la más peligrosa porque su corto diámetro le permite alcanzar altas velocidades. Según FAA (1988), un microburst podría generarse por una nube de tormenta con una base de hasta 15 000 ft AGL, pero típicamente proceden de tormentas con alturas de hasta 3 000 ft AGL y superan velocidades de 3 000 ft/min en el centro de la tormenta (figura 54). Al impactar el microburst contra el terreno, se extienden con violencia (outburst) y afectan las zonas aledañas a la tormenta.

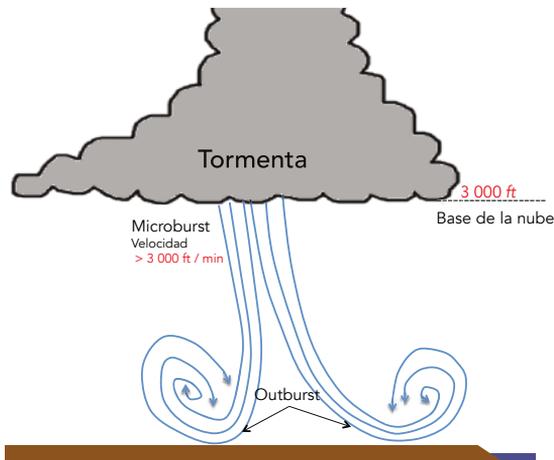


Figura 54. Microburst y outburst producidos por nubes de desarrollo vertical.

Fuente: elaboración propia.

22 La capa límite planetaria es la distancia entre superficie y una altura variante donde la fricción del terreno ya no causa efecto.

23 Los chorros de bajo nivel son corrientes de aire por debajo de los 10 000 ft.

La FFA (1988) indica que el *outburst* puede originar una serie de torbellinos (vórtices) de eje horizontal que se extienden por más de 4 km y alcanzan una altura superior a los 2 000 AGL (figura 55). Estos torbellinos también generan fuertes ráfagas de viento que podrían alcanzar distancias de hasta 15 km y causar cambios de dirección del viento de hasta 180° (FAA, 2008). Si una aeronave se ve expuesta a un evento de *wind shear*, debe prepararse para sufrir más de un cambio de altitud.

126

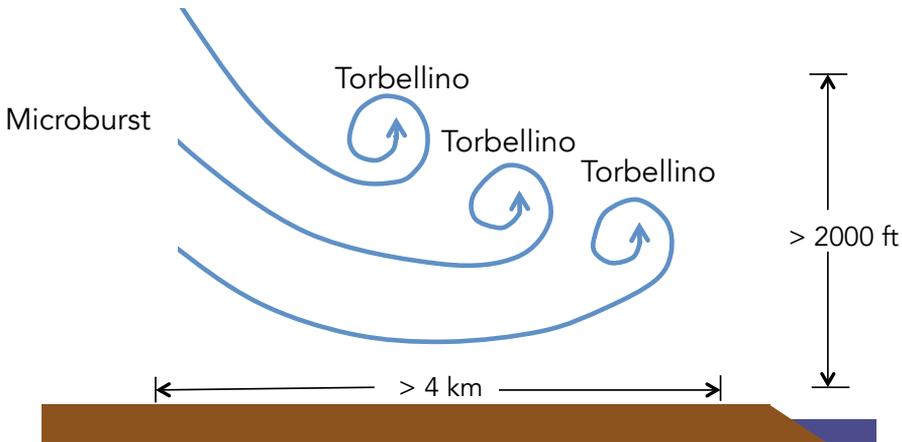


Figura 55. Dimensiones aproximadas de los torbellinos horizontales producidos por el microburst.
Fuente: elaboración propia.

Una aeronave en aproximación final puede encontrar este sistema de torbellinos y quedar influenciada a peligrosos ascensos y descensos (figura 56). Como se mencionó anteriormente, la cercanía de la aeronave a la velocidad de pérdida la hace especialmente vulnerable a cambios bruscos en el régimen de vientos.

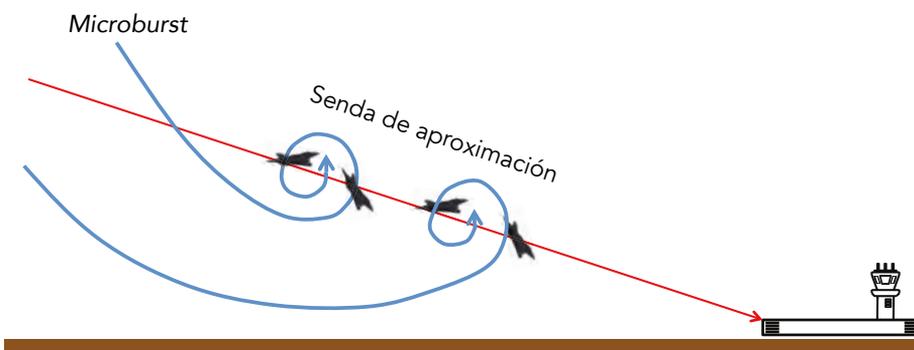


Figura 56. Peligro de los torbellinos horizontales en la fase de aproximación de una aeronave.
Fuente: elaboración propia.

La figura 57 muestra el tiempo de vida de un evento de *wind shear*, el cual es relativamente corto. Normalmente, pierde su efecto entre 10 a 20 minutos después de que el *microburst* toca tierra; es especialmente peligroso transcurridos los primeros 10 minutos del fenómeno (FAA, 1988).



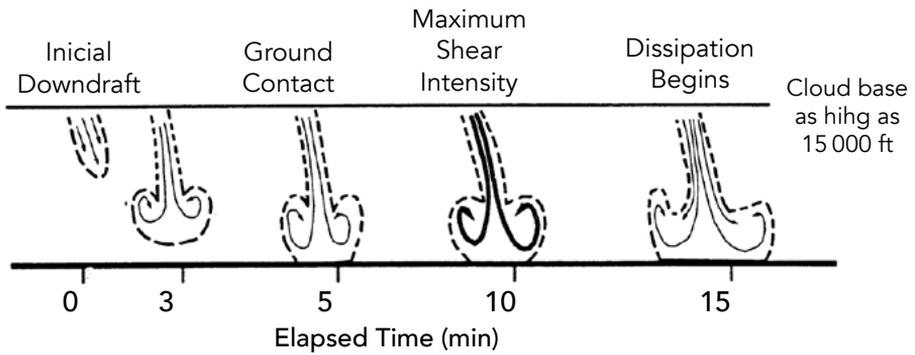


Figura 57. Evolución del corte vertical de un microburst.
Fuente: Tomado de la FAA (1988).

9.4 Mecanismo de Wind Shear sobre la aeronave

Si el viento cambiara lentamente de velocidad o dirección, la velocidad de la aeronave se adaptaría fácil y paulatinamente a las nuevas condiciones. Los problemas se producen cuando la aeronave no puede adaptarse al nuevo régimen de viento, el cual puede causarse por:

Ráfaga descendente o ascendente. Depende de la altitud y la proximidad al centro de la tormenta: cuanto más cerca se encuentre la aeronave de la base de la nube, se enfrentará a más intensidad de la corriente. Una corriente descendente causa una reducción del ángulo de ataque, lo que resulta en una reducción de la sustentación y altera el equilibrio de las fuerzas que actúan sobre la aeronave, dificultando a la tripulación mantener la trayectoria de vuelo.

Ráfaga de frente. El incremento de viento de frente o el descenso de viento de cola incrementan las indicaciones de velocidad y causan un aumento transitorio de la sustentación. Cuando esto ocurre, la aeronave se eleva repentinamente de su senda de aproximación o despegue.

Ráfaga de cola. Se produce con la disminución repentina del viento de frente o con el aumento brusco del viento de cola. La aeronave sufre una disminución en la velocidad y, por lo tanto, una repentina pérdida de sustentación acompañada con una brusca pérdida de altura.

Mientras que a gran altura se dispone de espacio suficiente para que la tripulación realice las maniobras necesarias para contrarrestar estas fuerzas, a baja altura estos eventos podrían finalizar en un accidente aéreo. También existen ráfagas que afectan el costado de las aeronaves, lo cual provoca efectos de desequilibrio en el alabeo²⁴ y facilita el impacto de alguno de los planos con el terreno.

24 El alabeo es el movimiento de la aeronave respecto a su eje longitudinal.



9.5 Efectos del *Wind Shear* sobre la tripulación

128

Según el manual de investigación de accidentes de la FAC (1989), se ha definido que el piloto experimenta cuatro fases durante un evento de *wind shear*: de reconocimiento, de reacción, de estabilización y de ascenso. El mismo manual define las dos primeras así:

Fase de Reconocimiento

Inicialmente, la conciencia del piloto está centrada en mantener la velocidad y la senda de planeo para continuar el aterrizaje. Cuando la aeronave es alcanzada por un wind shear, el piloto siente que algo anda mal con la aeronave y evalúa la situación; esta evaluación toma tiempo. El momento de comprensión de este trabajo mental es el momento de reconocimiento del wind shear, esto puede notarse por un definido movimiento de la aeronave nariz-arriba como resultado de la reacción sicomotora del piloto.

Fase de Reacción

La siguiente tarea del piloto es realizar un pull-up tan pronto le sea posible. Por consiguiente, el estado mental del piloto en sus procedimientos debe ser reemplazado por otro completamente diferente. Ejemplo, una maniobra de escape de wind shear es completamente diferente a la ley de control normal, porque el piloto debe olvidar las velocidades de referencia prescritas.

El tiempo promedio de reconocimiento es de aproximadamente 5,48 s y el promedio de reacción es de 5,43 s. Pérdida de altura -92,9 ft durante la fase de reconocimiento y -96,5 ft durante la fase de reacción. Como resultado, se considera que en promedio el piloto necesita aproximadamente 11 s y 200 ft de altura disponibles para realizar una reacción segura al experimentar un wind shear. Parecía que el tiempo de reconocimiento prolongado era el resultado de la excesiva adherencia de los pilotos en continuar la aproximación. El tiempo de reconocimiento del wind shear es directamente proporcional a la demora en el cambio de decisión para rechazar una aproximación de aterrizaje.

Se presentaron algunas características comunes en todas las recuperaciones seguras realizadas: tiempo no prolongado de reconocimiento (2,7 – 8,2 s), pérdida de velocidad de -7 a -12 kt, agresivo pull-up usando régimen de pitch entre 2 a 4 grados / segundo, recobrada usando elevado actitud de pitch en rangos entre +18 a +29 grados de nariz arriba. Es altamente inaceptable para un piloto sin entrenamiento en wind shear permitir pérdidas de velocidad por debajo de las velocidades de referencia usadas en las operaciones diarias.



9.6 Acciones de la tripulación frente al *Wind Shear*

129

Cuando una tripulación se enfrenta a un evento de *wind shear*, la primera línea de defensa, la más recomendada y la más segura, es evitarlo y esperar como mínimo 20 minutos antes de intentar un nuevo despegue o aproximación (figura 58).

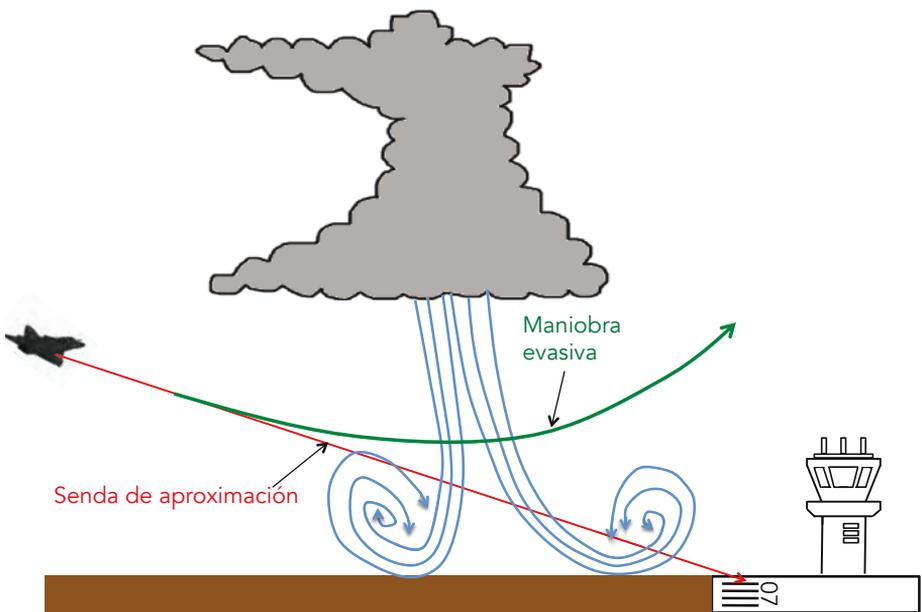


Figura 58. Primera regla para enfrentar un evento de *wind shear*.

Fuente: elaboración propia.

Después de analizar muchos de los accidentes registrados en todo el mundo, se encontraron pruebas de que en la mayoría de los casos los pilotos aceptaron el riesgo o no evaluaron el estado del tiempo con el fin de reconocer los factores meteorológicos asociados al fenómeno. Estos son:

Formación de nubes de desarrollo vertical en los alrededores. Si la tripulación logra una identificación visual de nubes de desarrollo vertical o si se enteran por informes de los ATIS, deben aumentar la alerta situacional y evitar maniobras de aproximación y despegue durante el tiempo que dure el fenómeno. La figura 59 muestra un claro ejemplo de formación de nubes de desarrollo vertical en el base aérea de Melgar (CACOM-4), donde a pesar de que el aeródromo se encontraba operando en condiciones visuales, las nubes de desarrollo vertical del sector presentaban un riesgo para las operaciones aéreas y se cumplían las condiciones esenciales para la presencia del *wind shear*.

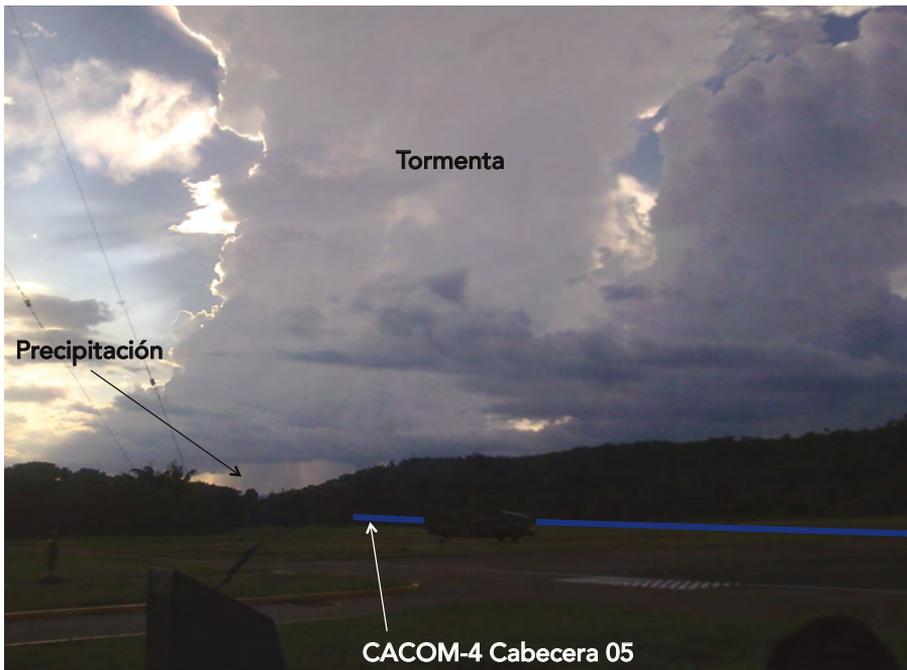


Figura 59. Nubes de desarrollo vertical en las inmediaciones del aeródromo de CACOM-4.

Fuente: elaboración propia.

Presencia de precipitación o virga²⁵. Estos hidrometeoros pueden estar vinculados a una nube de desarrollo vertical y pueden alertar a las tripulaciones de su presencia.

Actividad convectiva. Se asume que existe convección con la presencia de nubes tipo cúmulos. El evento de *wind shear* podría presentarse si hay señales de convección y sobre todo si el aire es muy caliente y seco (FAA, 1988). Estos parámetros pueden consultarse fácilmente en el METAR de cada aeródromo; allí es posible observar las diferencias entre la *temperatura* y la *temperatura del punto de rocío*.

Si la tripulación decide continuar con el vuelo o desprevenida se ve enfrentada a un evento de *wind shear*, debe estar preparada para la fase de reacción o recuperación, la cual consiste en la capacidad para volver a una condición de vuelo después de sufrir una perturbación.

Para maniobrar la aeronave, la tripulación debe controlar y estabilizar los ejes transversal, longitudinal y vertical, a los cuales corresponden los movimientos de cabeceo, balanceo y guiñada, respectivamente. En una perturbación causada por un evento de *wind shear*, la atención debe centrarse sobre el movimiento de cabeceo.

El cabeceo se controla por la actitud o ángulo de ataque, al cual le corresponde una velocidad relativa indicada equivalente que le provee cierta estabilidad en velocidad. Esto significa que una aeronave tiende a cabecear hacia arriba para disminuir la velocidad relativa y hacia abajo para aumentar o recuperar la velocidad relativa perdida.

²⁵ Agua que se evapora antes de llegar a superficie. Normalmente se identifica por su apariencia de velo y tono grisáceo.



Según contempla la FAA (1988), en la mayoría de los accidentes causados por *wind shear* la tripulación redujo el *pitch* (cabeceo en español) por debajo de lo que debería, así que las técnicas de recuperación deberían encaminarse al control del mismo. En general, la FAA recomienda:

En el despegue

- Utilizar la máxima potencia disponible.
- Minimizar las reducciones de actitud de cabeceo.
- Utilizar la pista más larga disponible.
- Usar la configuración de *flaps* recomendada para su aeronave.
- Utilizar una mayor velocidad de rotación²⁶.
- Mantener o incrementar la altura de pitch hasta 15° de inclinación.
- Aceptar velocidades más bajas a lo normal.
- No sobrepasar la velocidad de pérdida.

En la aproximación

- Minimizar las reducciones de potencia.
- Utilizar la pista más adecuada.
- Usar la configuración de *flaps* recomendada para su aeronave.
- Utilizar una mayor velocidad de aproximación.
- No sobrepasar la velocidad de pérdida.
- Mantener la configuración existente para no agravar la situación.

9.7 Instrumentos de medición

En los últimos años se han implementado varios métodos de medición del *wind shear*. En el caso de Colombia, por ejemplo, la UAEAC ha explorado la posibilidad de utilizar los radares meteorológicos instalados en San Andrés, Corozal y el Tablazo como sensores de medición de este fenómeno. Al ser radares Doppler, tienen la capacidad de realizar escaneos por debajo de los 2 000 ft dentro del área de cobertura de los aeródromos y, mediante un algoritmo, calculan las variaciones en velocidad y dirección del viento, emitiendo alertas gráficas y sonoras a los ATS.

²⁶ Velocidad en la cual la aeronave comienza a levantar el morro y se prepara para abandonar la pista.



Aunque en Colombia aún no se ha instalado ningún sistema LLWAS, éste parece ser una buena opción para enfrentar la *wind shear*. El sistema LLWAS está diseñado para detectar microrráfagas en las inmediaciones de la pista y *cizalladuras* de baja altura. Normalmente, está compuesto por una serie de sensores de velocidad y dirección del viento instalados entre 15 a 30 m de altura que, junto a la información suministrada por el radar, alerta la presencia de *wind shear*. La figura 60 muestra un ejemplo de cómo funciona un sistema LLWAS.

132

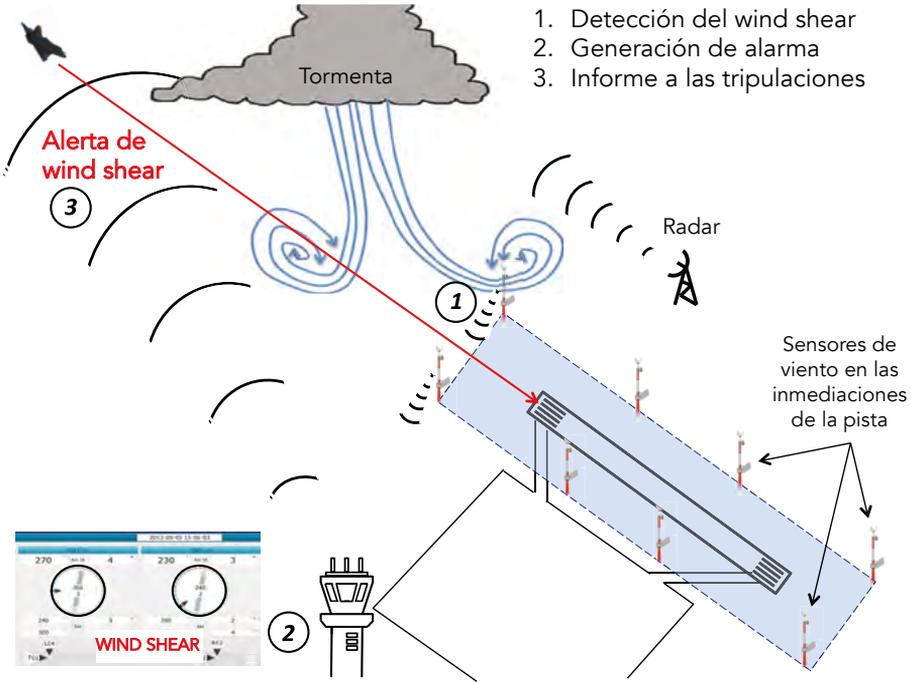


Figura 60. Sistema de alerta de *wind shear* LLWAS compuesto por varios sensores de viento en los alrededores de la pista y un radar meteorológico.

Fuente: elaboración propia.

