



GOBIERNO
DE ESPAÑA

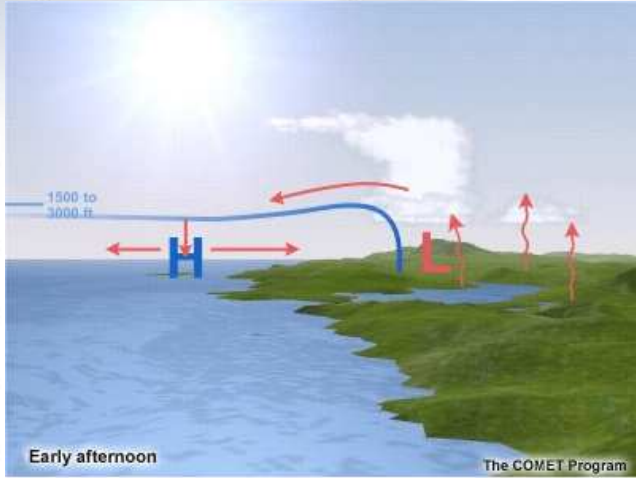
MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



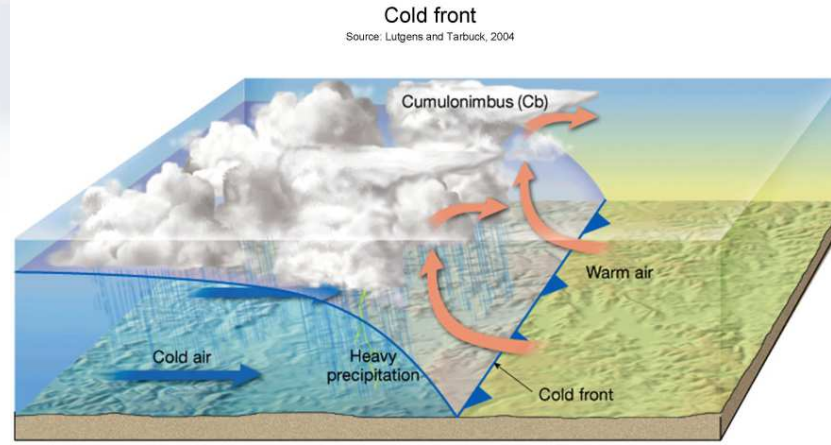
Instrumentación para la medida de la cizalladura en aeropuertos

María Rosa Pons Reynés. Jefa E+D, DT Cantabria.
mponsr@aemet.es

La cizalladura tiene causas muy diversas



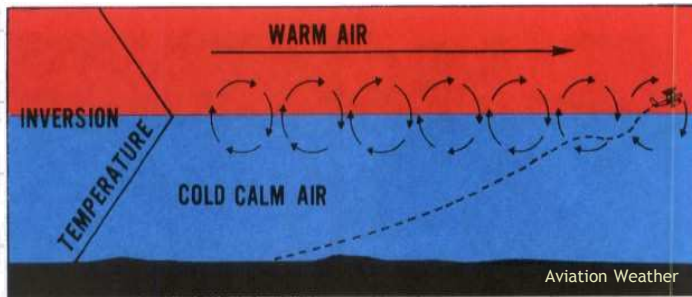
brisa



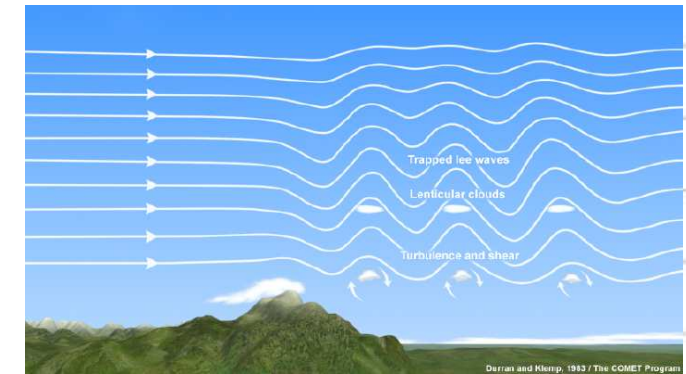
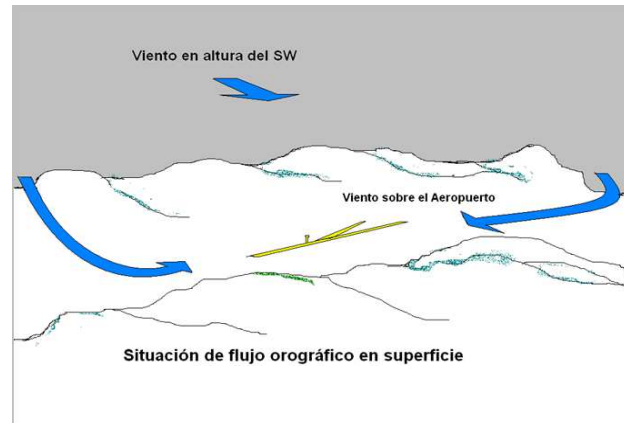
frente



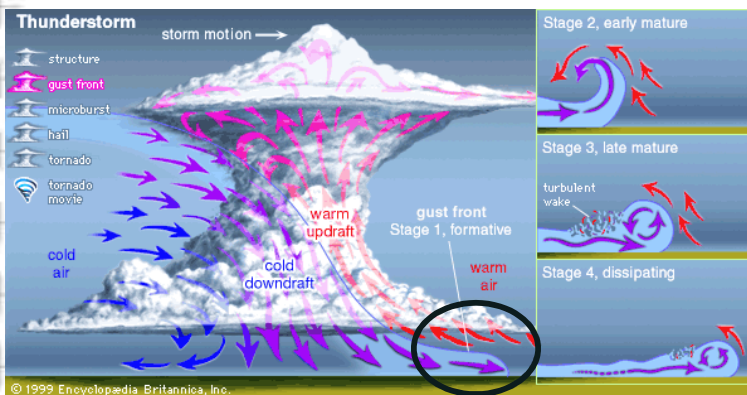
corriente en chorro



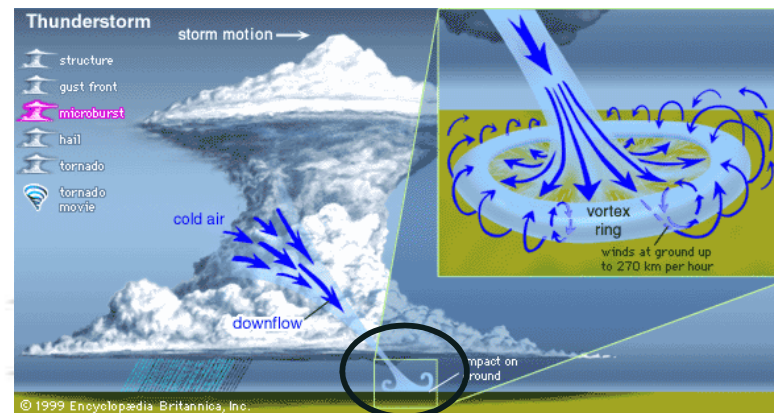
inversión



orografía



convección -> frente de racha



convección -> micro-reventón

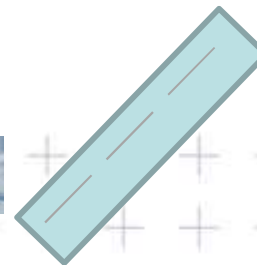
Escala temporal y espacial pequeña



Observaciones visuales de la cizalladura



En muchas ocasiones no hay una señal visual de cizalladura



⇒ Necesidad de instrumentación con alta resolución espacial y temporal para detectar la cizalladura

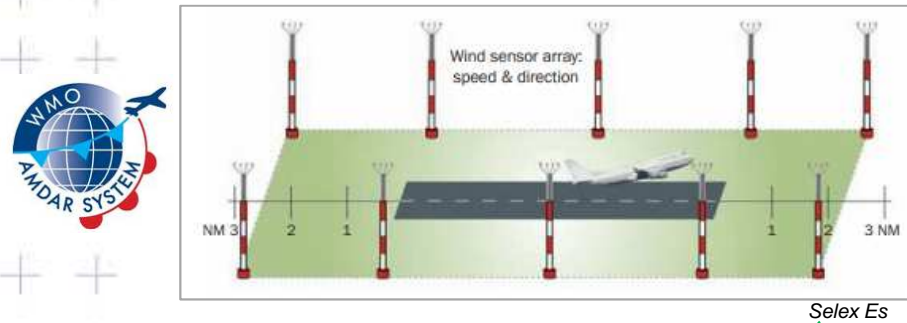
AMDAR

LLWAS

LIDAR Doppler 3D

Perfilador vertical

Doppler Weather Radar



in situ

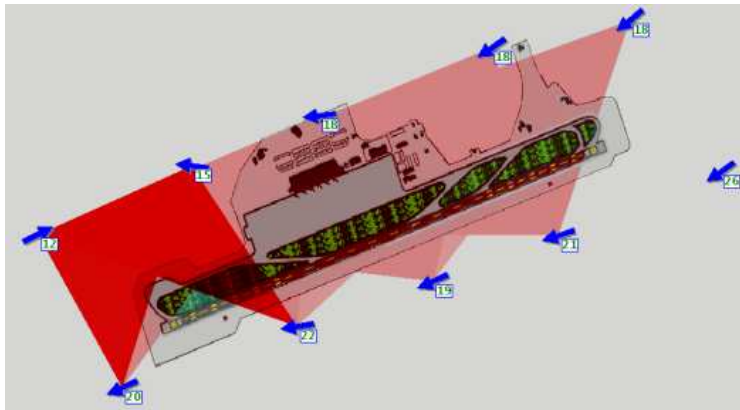
detección remota

- ⇒ El instrumento adecuado para cada aeropuerto dependerá del tipo de cizalladura que le afecte
- ⇒ Importante: campaña de datos con la colaboración de TWR, compañías y pilotos para identificar bien el fenómeno



LLWAS (Low Level Windshear Alert System)

- Red de sensores de velocidad y dirección de viento alrededor de la/s pista/s (15-25 m alt.)
- El algoritmo del LLWAS (NCAR) calcula la divergencia/convergencia entre sensores



- Se traduce en alarmas de ganancia o pérdida de velocidad de cara (>15kt) según la cabecera:

07A	WSA	35k+	1MF	080	21*
07D	WSA	35k+	RWY	070	21
25A	WSA	35k+	RWY	070	21
25D	WSA	35k+	RWY	080	21*

← Tiempo de refresco: 10 s
 Resolución espacial: 1 NM

Criteria for LLWAS installation



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



Agencia Estatal de Meteorología

ORDER DEPARTMENT OF TRANSPORTATION FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION 6560.21A

12/4/89

SITING GUIDELINES FOR LOW LEVEL WINDSHEAR ALERT SYSTEM (LLWAS) REMOTE FACILITIES

SUBJ:

- PURPOSE.** This order transmits siting guidelines for locating sites and determining pole heights for Low Level Windshear Alert System (LLWAS) remote anemometer stations (appendixes 1-3).
- DISTRIBUTION.** This order is distributed to branch level in the Program Engineering Service and to division level in the System Maintenance Service in Washington headquarters; to branch level in the regional Airway Facilities divisions (except AAL and AEU); to branch level in the FAA Depot and Facility Support Division at the Mike Monroney Aeronautical Center; and to Director level at the FAA Technical Center.
- CANCELLATION.** Order 6560.21, Siting Guidelines for Low Level Wind Shear Alert System (LLWAS) Remote Facilities, dated 2/19/88, is canceled.
- BACKGROUND.** The LLWAS is designed to detect the existence of horizontal windshear conditions on an airport and around its perimeter and to alert controllers when these conditions are hazardous. The system consists of an array of remote anemometers and the base station processing and display equipment (located in the air traffic control tower building). Communication between the remote sites and the base station will be via radio links unless landlines are readily available.
- SITING GUIDELINES.** Proper siting is essential for an effective LLWAS, but often complex to implement. The LLWAS project office has initiated several different approaches to assist in proper siting of sensors.
 - Appendix 1 presents general considerations for siting LLWAS. To further assist regions, a joint team of LLWAS engineers from FAA headquarters and the FAA Technical Center are available to resolve problems resulting from site-unique situations.
 - Appendix 2 gives detailed guidelines for the design of the anemometer array on and around the airport. In addition, the Flight Information Systems Branch, ACN-230, will prepare an initial layout of proposed sensor locations at each airport based on maps, aerial photos, site surveys, and knowledge of idealized arrays for microburst detection.

Distribution: A-W(PS)-3; A-W(SM)-2; A-X(AF)-3(minus AAL/AEU); A-Y(FA/DE)-3; A-Z-1 Initiated By: AFS-340

Doc. 6560.21A de la FAA:

“Siting guidelines for LLWAS remote facilities” (64 pág.)

“Una colocación adecuada de los sensores es esencial para que el LLWAS sea efectivo, pero a menudo es difícil de implementar”

Ubicación sensores LLWAS



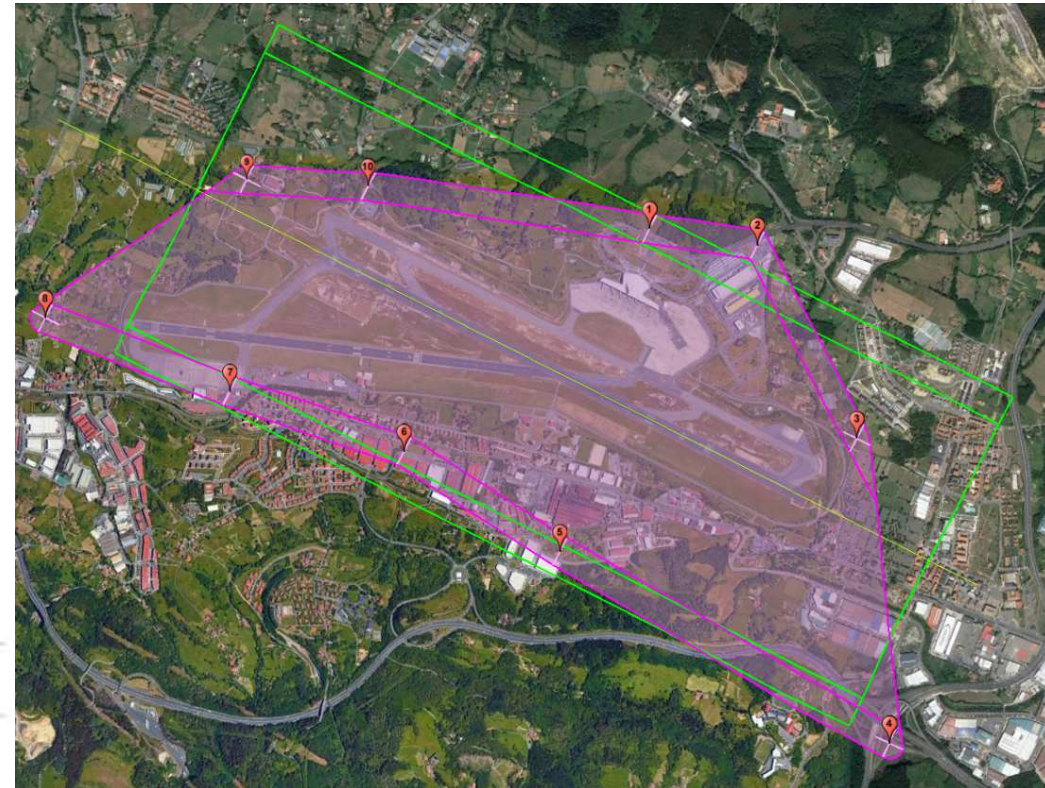
GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



Tenerife Sur

Bilbao




- Ventajas:

- Alta resolución temporal: 10 segundos
- Mide la velocidad del viento de forma directa
- Detecta cizalladura en aire seco y húmedo

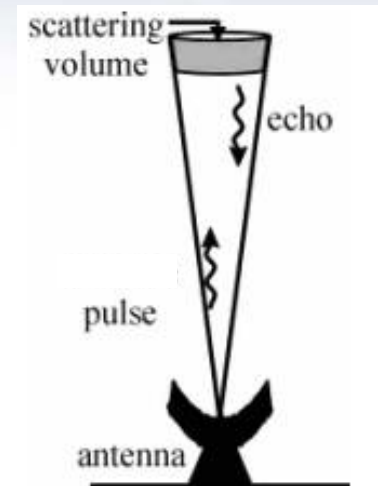


- Inconvenientes:

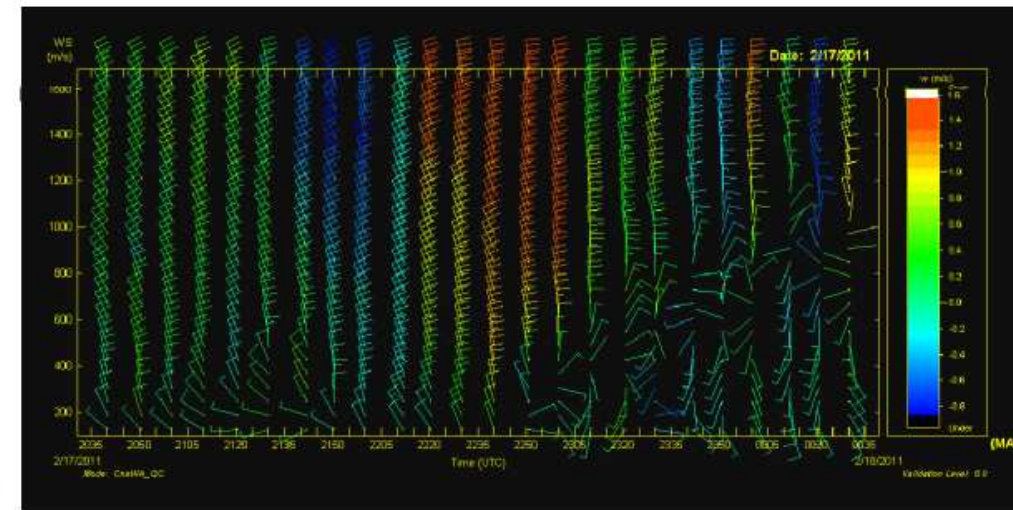
- Sólo mide la cizalladura horizontal 
- Alcance menor (teórico 3 NM; en Tenerife y Bilbao ≤ 1 NM)
- Menor resolución espacial: 1 NM
- Requiere 6-10 sensores (1 pista) con requisitos estrictos de ubicación
 - ⇒ Mayor consumo de territorio
 - ⇒ Instalación y mantenimiento costosos
- Terreno debe ser lo más regular posible
- En ocasiones, problemas con falsas alarmas (frecuencia de mantenimiento insuficiente, pájaros, flujo racheado/turbulento...)

Perfilador vertical de viento - (Radar Doppler)

- Emite un pulso EM en la vertical y calcula la velocidad del viento a partir de las variaciones del índice de refracción del aire debidas a la turbulencia (mide cambio en la frecuencia de la señal de retorno).
- Alcance del orden de 3-5 km
Resolución espacial 60-100 m **CAPA LÍMITE**
Tiempo refresco 3-10 min





Darío Cano



- **Ventajas:**

- Sistemas robustos, apenas requieren mantenimiento
- Menor coste
- Alta resolución espacial: 60-100 m
- Puede detectar turbulencia

- **Inconvenientes:**

- Sólo mide la cizalladura vertical sobre el perfilador 
 - ⇒ Si se quieren cubrir todas las zonas de aproximación harán falta varios
- Precaución con interferencias con otros sistemas del aeropuerto
- Atenuación por precipitación
 - ⇒ Uso en aire seco 
- Problemas con ecos de tierra y migraciones de pájaros

DWR Doppler Weather RADAR (Radio Detection And Range)



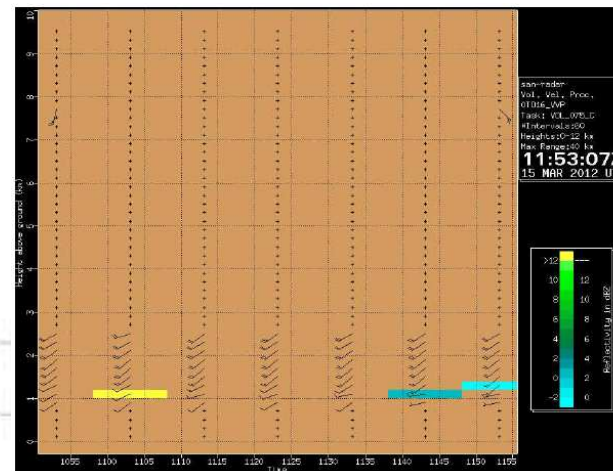
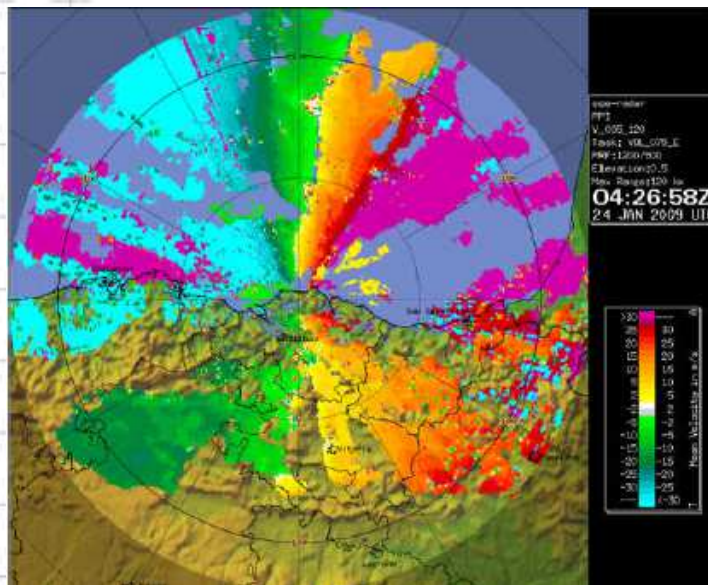
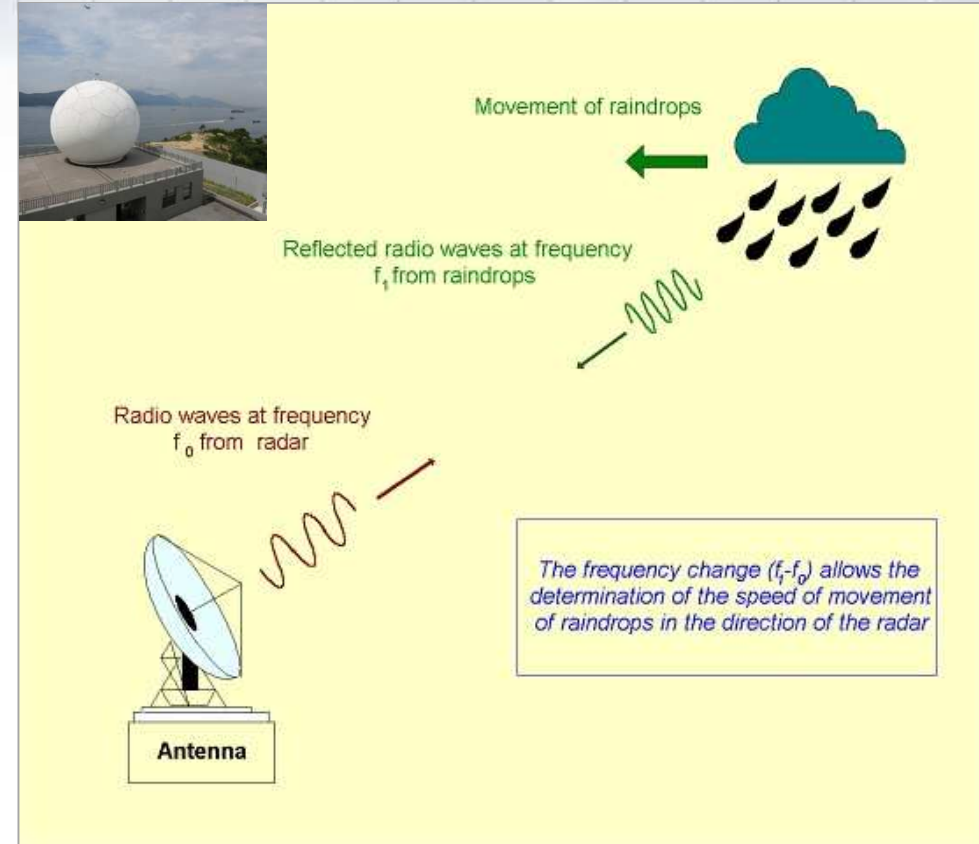
GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



Agencia Estatal de Meteorología

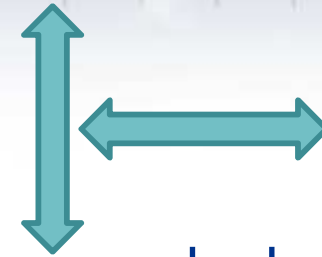
- Emite un pulso EM (microondas) y calcula la velocidad radial del viento a partir del cambio en la frecuencia de la señal de retorno de la precipitación
- Banda-X (3 cm) tiene mejor resolución espacial y temporal que Banda-C (5 cm)



Hong Kong Observatory

Ventajas:

- Gran alcance: 20-100 km
- Mayor resolución espacial que LLWAS: ~150 m
- Mide la cizalladura horizontal y vertical => información en senda de planeo
- Instalación en un único punto
- Proporciona también otros productos: precipitación, convección, paso frontal...
- Puede detectar turbulencia



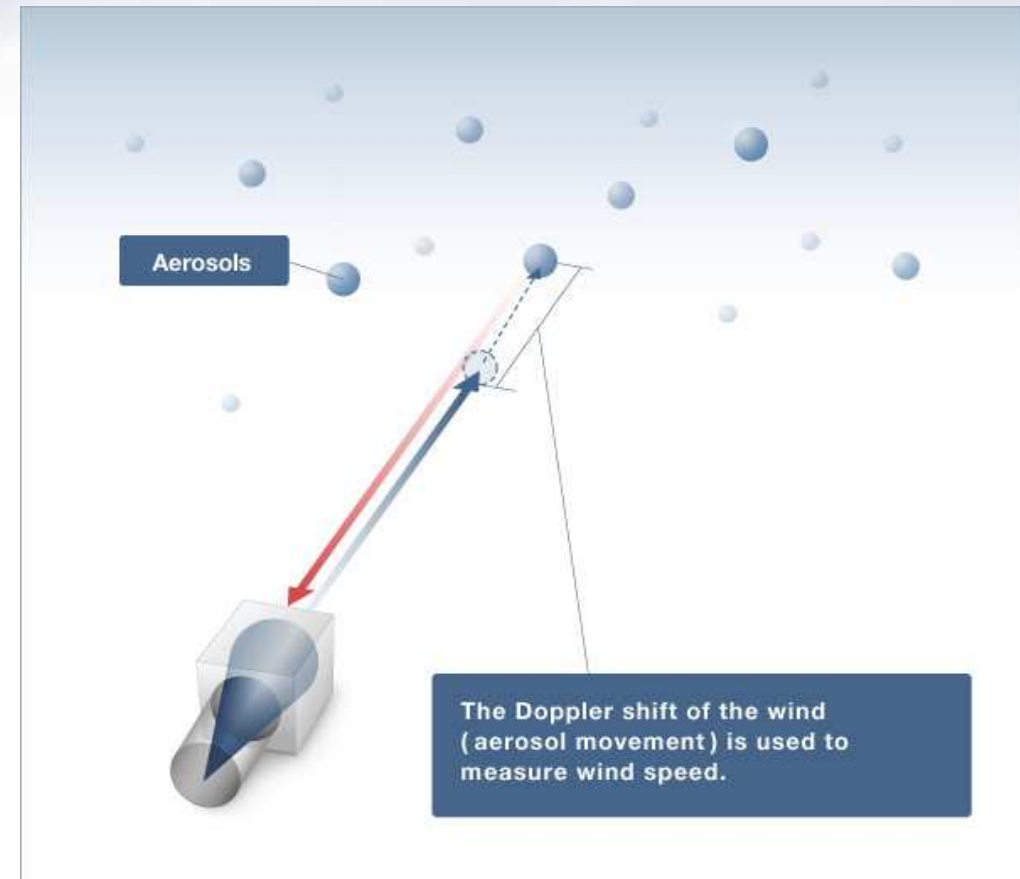
Inconvenientes:

- Necesita presencia de precipitación => sólo mide la cizalladura en aire húmedo
- Desarrollo de estrategias de escaneo y algoritmo de detección de WS o TURB
- Problemas con ecos de tierra y migraciones de pájaros
- Elevado coste



LIDAR Doppler 3D (Light Detection And Range)

- Emite un **haz láser pulsado** y calcula la velocidad radial del viento a partir del cambio en la frecuencia de la señal de retorno de los **aerosoles**
- Haz 1.5μ
Datos cada 3-7 min
Alcance 4-10 km
Resolución 100-200 m



Mitsubishi

LIDAR Doppler 3D - Escaneo PPI



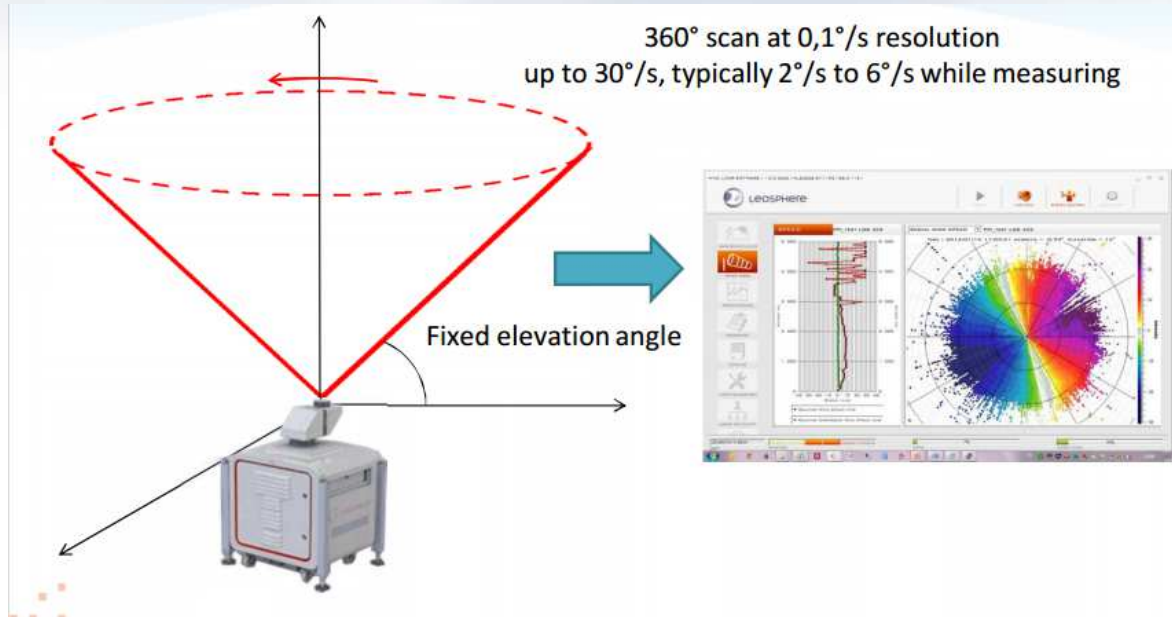
GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

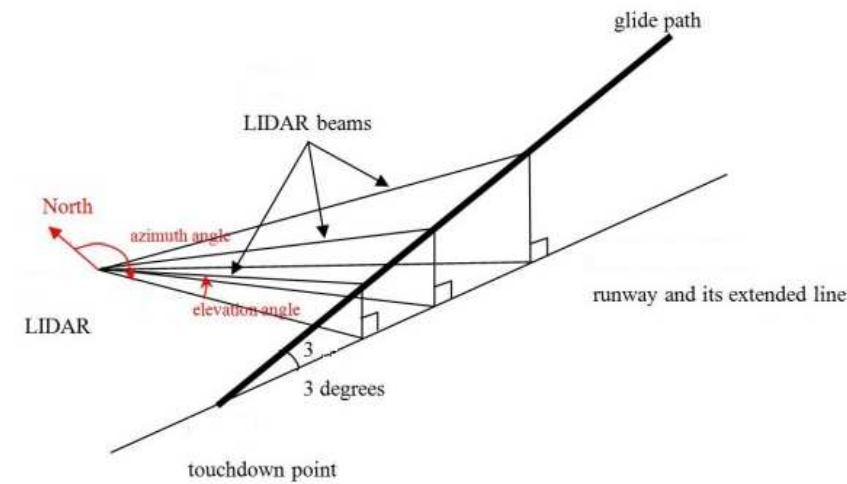
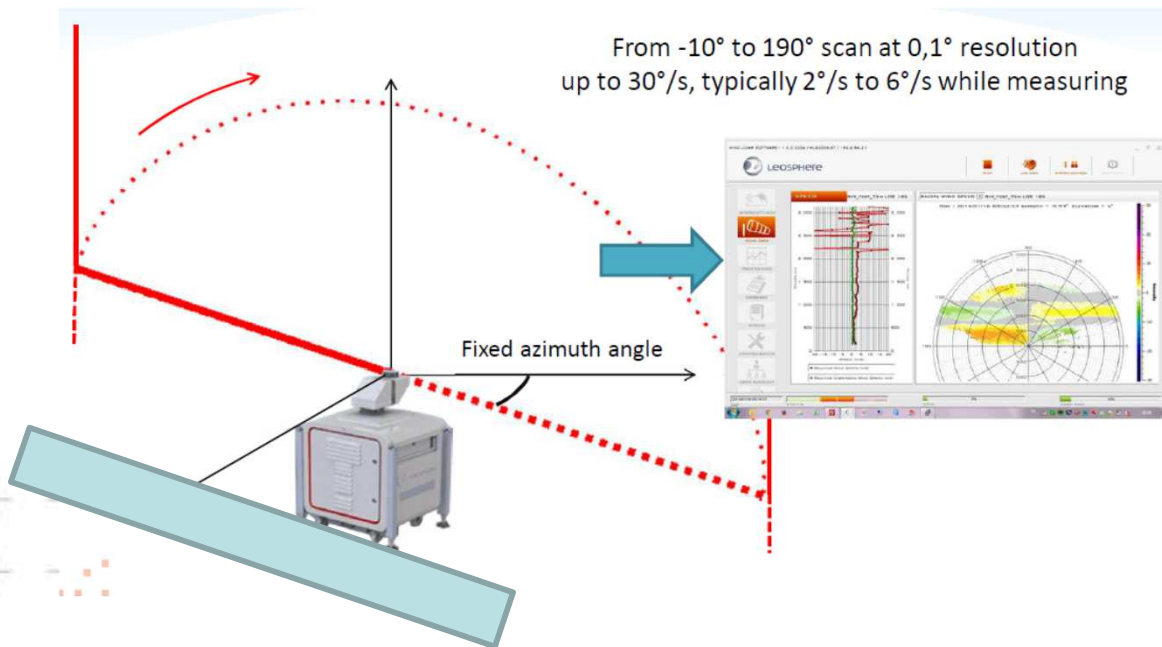


Agencia Estatal de Meteorología

PPI

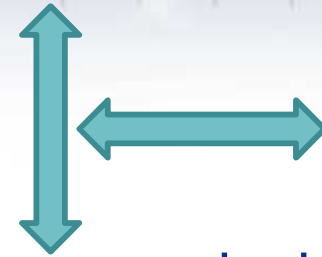


RHI




- **Ventajas:**

- Alcance: 4-10 km
- Alta resolución espacial: 100 m
- Mide la cizalladura horizontal y vertical => información en senda de planeo
- Fácil de instalar (un único punto) y transportar
- Mantenimiento sencillo
- Puede detectar turbulencia
- No hay interferencias con sistemas propios del aeropuerto



- **Inconvenientes:**

- Necesita la presencia de partículas de aerosol
- Sólo mide la cizalladura en aire seco 
- Desarrollo de estrategias de escaneo y algoritmo de detección de WS o TURB
- Elevado coste

Resumen características instrumentos WS



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE











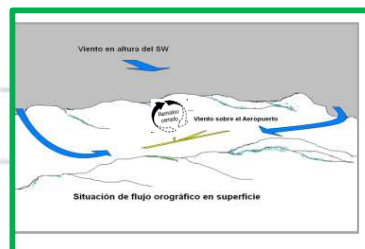
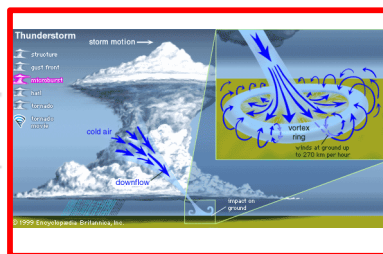
Agencia Estatal de Meteorología

	LLWAS	Perfilador viento	Doppler weather radar	Lidar Doppler 3D
Cizalladura horizontal/vertical				
Aire seco/húmedo				
Alcance	3 NM - real 1 NM	3 - 5 km	20 - 100 km	4 - 10 km
Resolución espacial	1 NM	60 - 100 m	150 m	100 - 200 m
Resolución temporal	10 segundos	3-10 min	1-3 min	2-3 min
Medida directa	SÍ	NO	NO	NO
Problemas con ecos de tierra	NO	SÍ	SI	NO*
Precaución con interferencias	NO	SÍ	SÍ	NO
Puede detectar turbulencia	NO (no funciona bien si la hay)	SÍ *	SÍ *	SÍ *

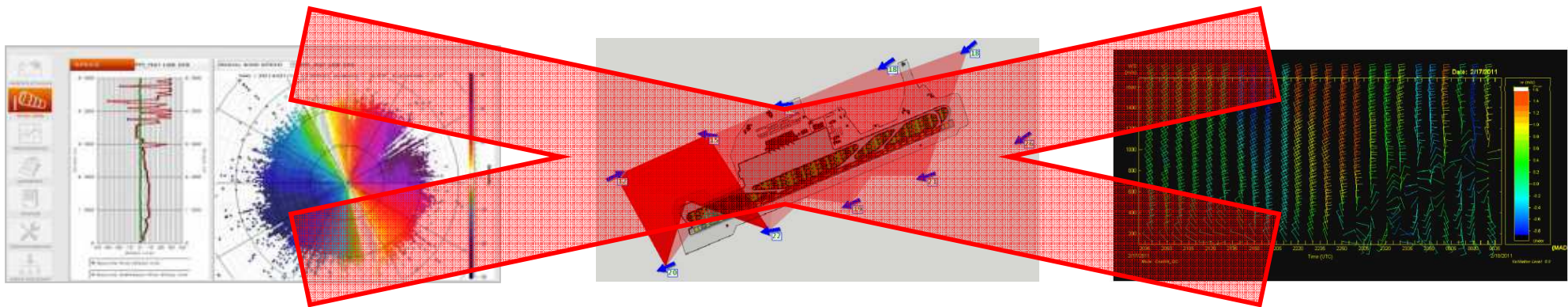
Valores orientativos

Resumen características instrumentos WS

	LLWAS	Perfilador viento	Doppler weather radar	Lidar Doppler 3D
Cizalladura horizontal/vertical				
Aire seco/húmedo				
Alcance	3 NM - real 1 NM	3 - 5 km	20 - 100 km	4 - 10 km
Resolución espacial	1 NM	60 - 100 m	150 m	100 - 200 m
Resolución temporal	10 segundos	3-10 min	1-3 min	2-3 min
Medida directa	SÍ	NO	NO	NO
Problemas con ecos de tierra	NO	SÍ	SI	NO*
Precaución con interferencias	NO	SÍ	SÍ	NO
Puede detectar turbulencia	NO (no funciona bien si la hay)	SÍ *	SÍ *	SÍ *



En todos los casos, el producto final debe ser un mensaje claro y sencillo para los usuarios



¡No es trivial!

07A WSA 15k+ 1MF

Aeropuerto Internacional Hong Kong



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

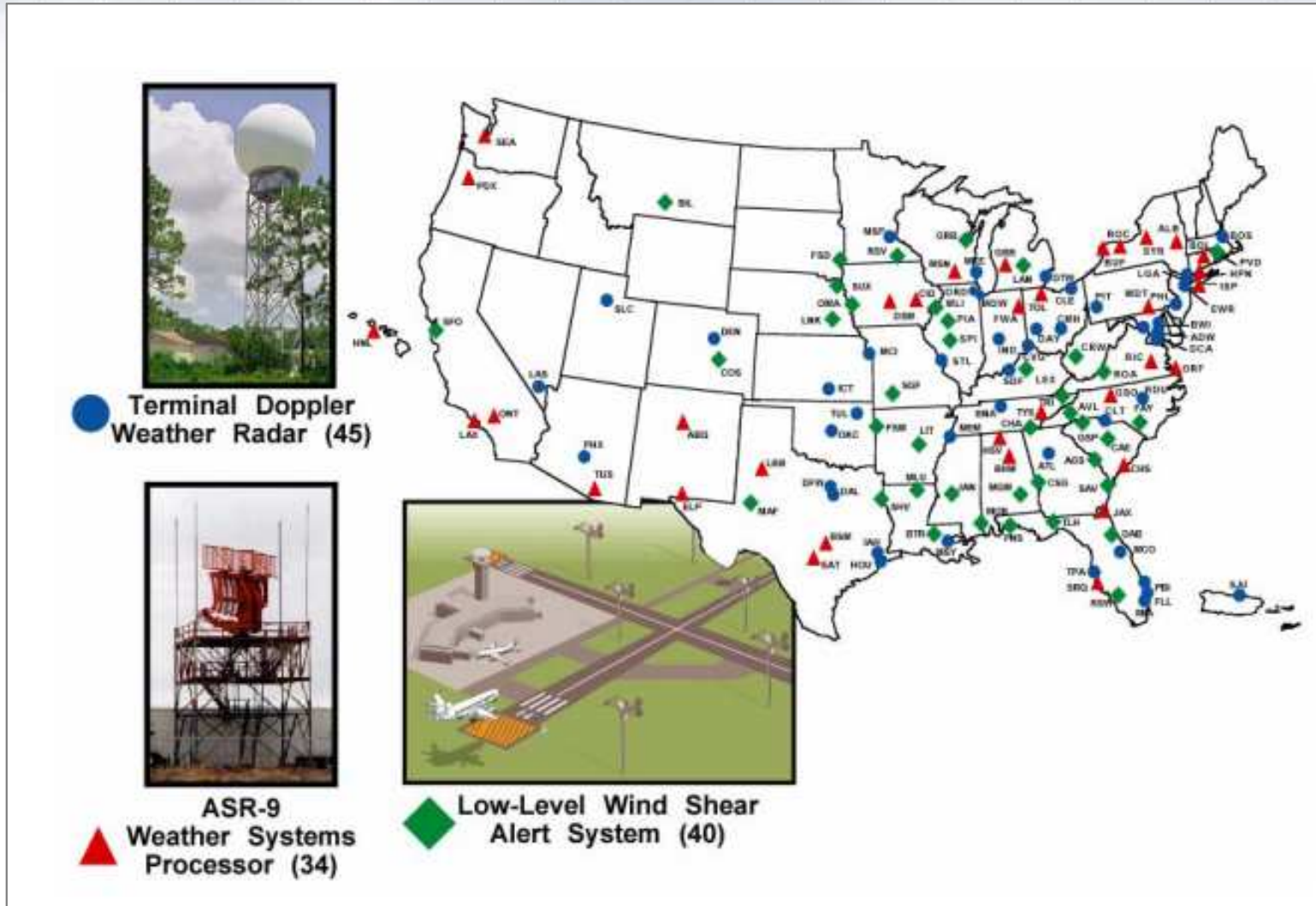


Agencia Estatal de Meteorología



- 1 x TDWR
- + 2 x Perfiladores viento radar
- ▲ 2 x LIDAR
- Anemómetros
- 5 Boyas

Sistemas de detección de cizalladura en EEUU



+ 9 LLWAS en aeropuertos con TDWR

E Weber et. al. (2007). Analysis of Operational Alternatives to the Terminal Doppler Weather Radar (TDWR). Project Report. Lincoln Laboratory, MIT

Aeropuerto Internacional Juneau (Alaska)

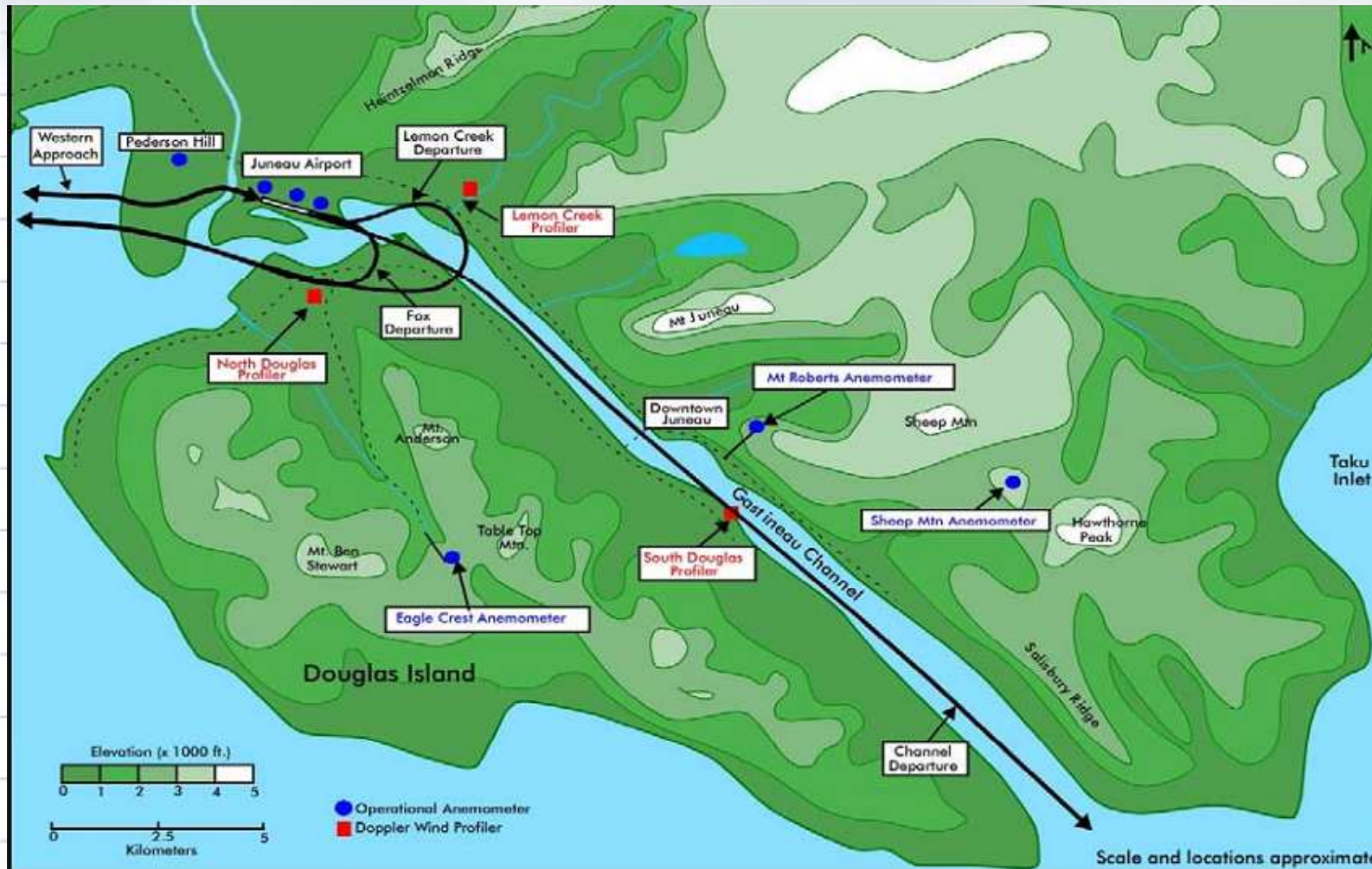


GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



Agencia Estatal de Meteorología



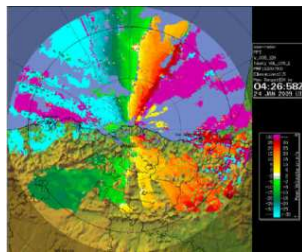
7 x Anemómetros
3 x Perfiladores viento

Politovich et al, 2011. The Juneau Terrain-Induced Turbulence Alert System.
Bull. Amer. Meteor. Soc., 92, 299–313

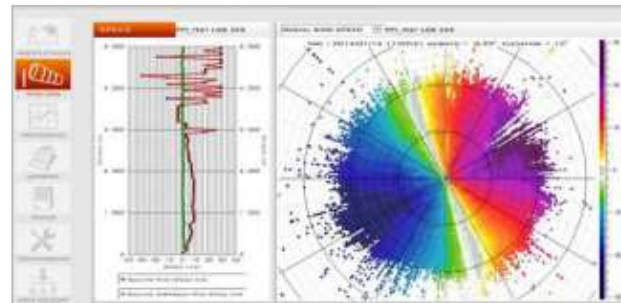
- Combinar la información de distintos sistemas no es sencillo



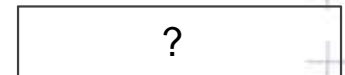
- Combinar productos -> generar una alarma



+



=



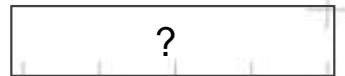
- Combinar alarmas -> generar una alarma final

07A WSA 15k+ 1MF

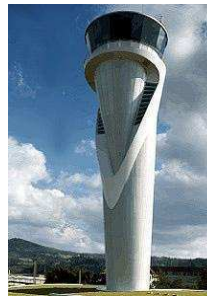
+

07A MBA 20k- 2MF

=



La información de WS y TURB que puedan proporcionar



Es importante para:

- Identificar el fenómeno y decidir qué sistema ?
- Una vez instalado:
 - Calibrarlo y validarlo
 - Complementarlo



Los sistemas no son infalibles

- Necesidad de instrumentación con alta resolución espacial y temporal para detectar la cizalladura
- Sist. principales: LLWAS, DWR, LIDAR 3D y perfiladores viento
- No hay un único instrumento válido para todas las situaciones
- El producto final debe ser sencillo y claro para los usuarios
- Es importante la colaboración de TWR-pilotos-compañías-AEMET
 - Para identificar el tipo de cizalladura y elegir el instrumento adecuado:
 - ¿Aire seco/húmedo?
 - ¿Cizalladura horizontal/vertical?
 - ¿Necesidades de alcance y resolución espacial/temporal?
 - ¿Turbulencia?...
 - Y una vez instalado, para calibrarlo/validarlo y complementarlo



↑ Seguridad operaciones aéreas