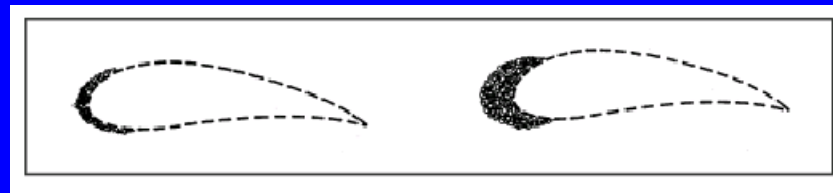


# Engelamiento y su Impacto a la Aviación Civil

Mike Davison

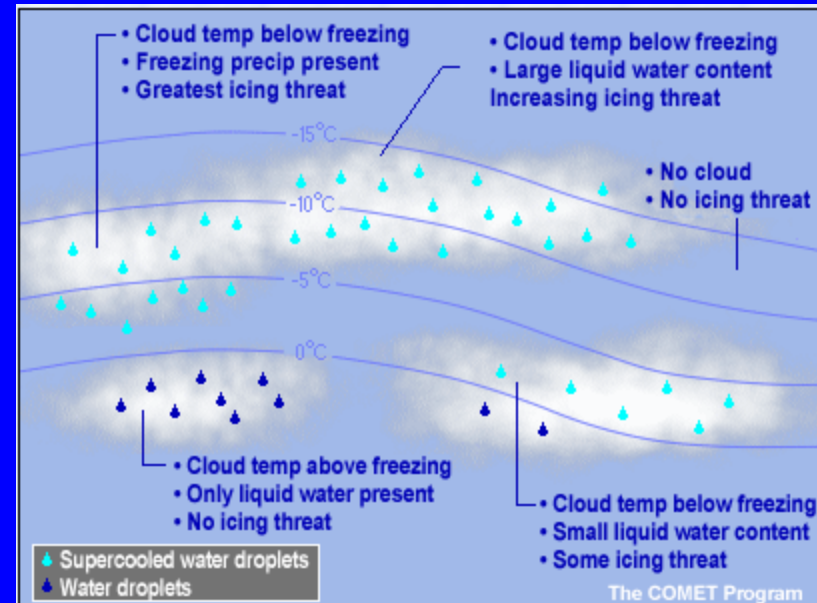
NWS International Desks



# Potencial de Engelamiento

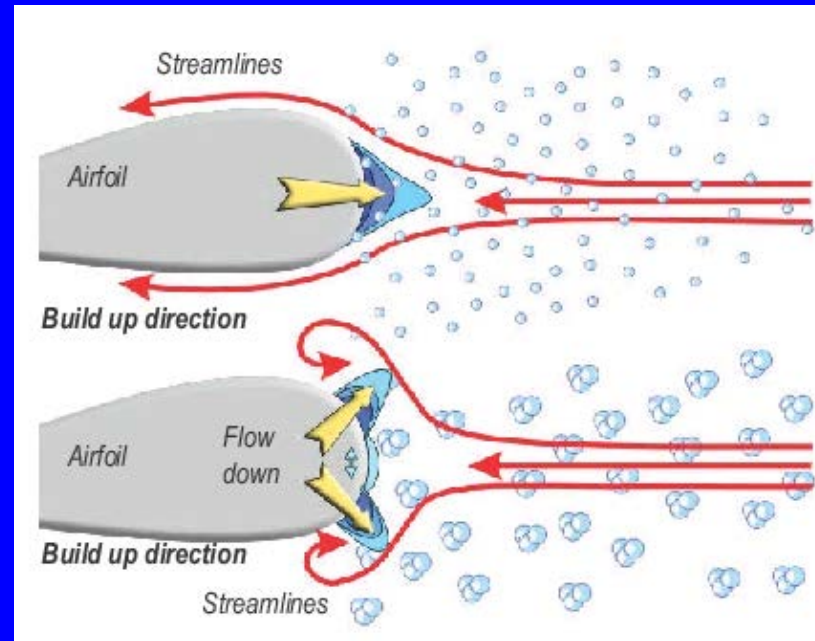
- Engelamiento requiere:

- Presencia de nubes
  - O de precipitación
- Alto contenido de agua
- Temperatura menor de 0C



# Impacto a la Aviación

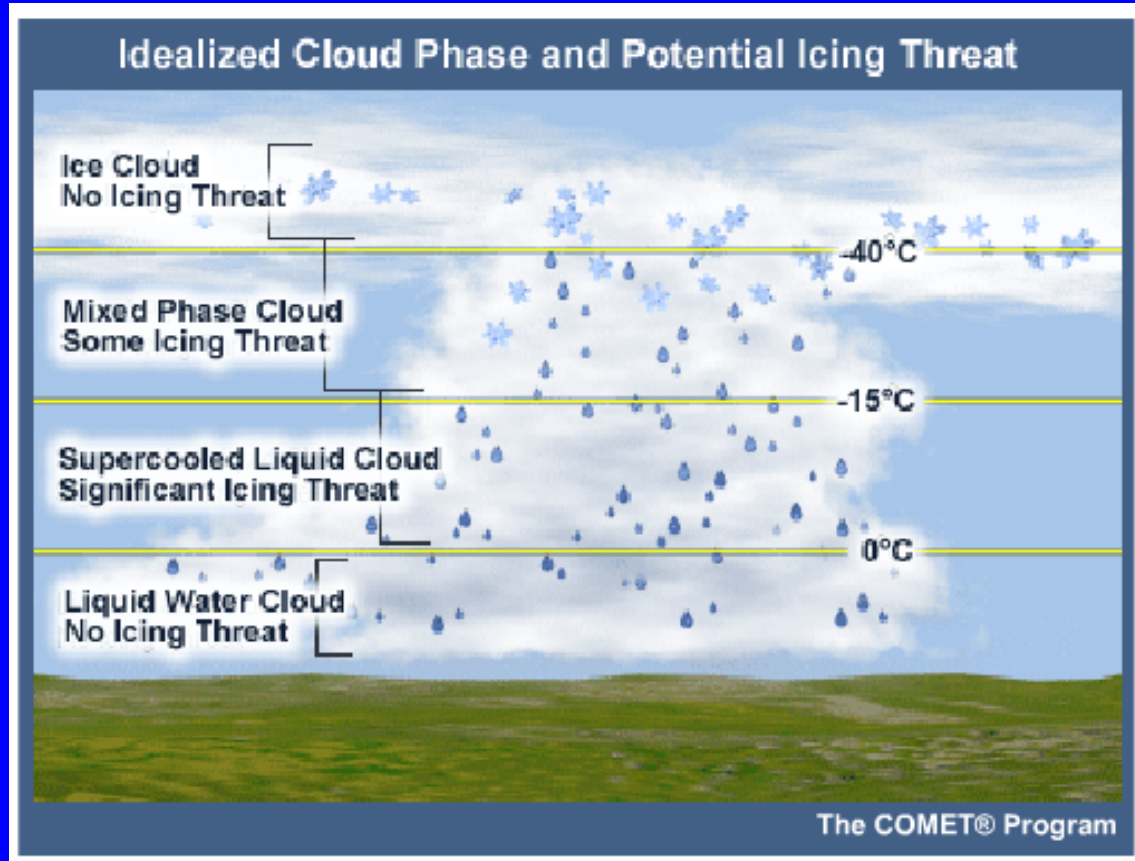
- Acumulación de hielo en el filo del ala es un asunto de preocupación en aeronaves que no están equipadas para tratar engelamiento.



- La acumulación de hielo afecta el flujo de aire sobre/bajo el ala – puede reducir la sustentación entre un 30% – 50%

# Impacto a la Aviación

- El mayor impacto a la aviación se observa cuando la humedad relativa es  $\geq 80\%$ , y la temperatura entre los  $0\text{C}$  a  $-15\text{C}$



# Impactos en las Aeronaves

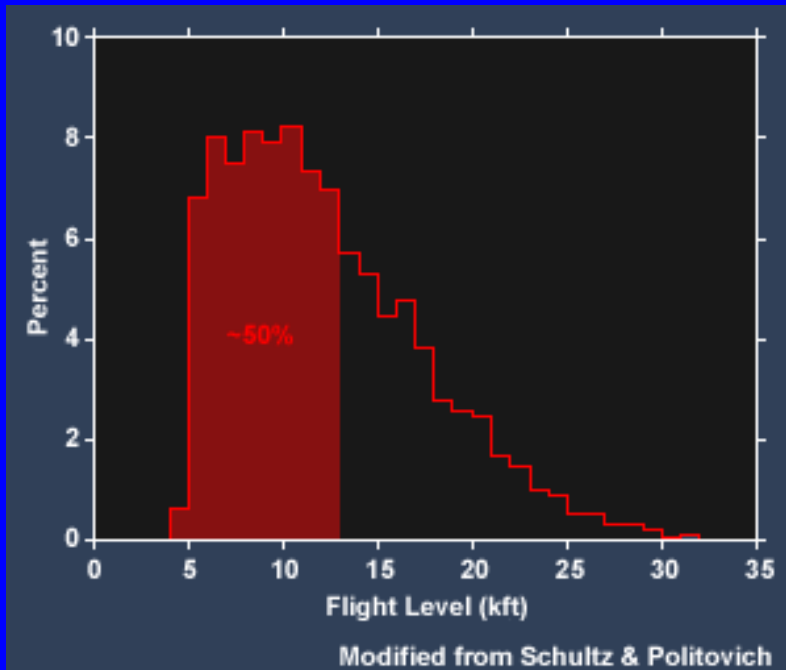
- El peso de 25mm de hielo en una pequeña aeronave puede ser unos 30 a 40 Kg
  - Afecta la distribución de peso en la aeronave.
  - Acumulación es asimétrica, afectando el coeficiente de fricción y movimiento de aire alrededor de las alas.
- Visibilidad puede ser obstruida al acumularse hielo en el parabrisas.
- Hielo se puede acumular en las hélices, creando un desbalance y pérdida de poder.
- Hielo puede bloquear, o restringir, control del timón y otras partes móviles del ala.
- Hielo acumulado en antenas puede interferir con comunicaciones

# Impacto a la Aviación

## ¿Por qué es difícil de pronosticar?

- El impacto varia ya que depende de:
  - Tipo de aeronave
  - Velocidad de vuelo
  - La temperatura del fuselaje:  $> 0C$  o  $\leq 0C$
  - Características de la Nube
    - Espesor mínimo de 5,000 ft (1,500 metros)
    - Contenido de agua liquida (CWMR)
    - Tamaño de las gotas
    - Temperatura dentro de la nube
      - $-20C < T_w < 0C$

# Altitud de Vuelo



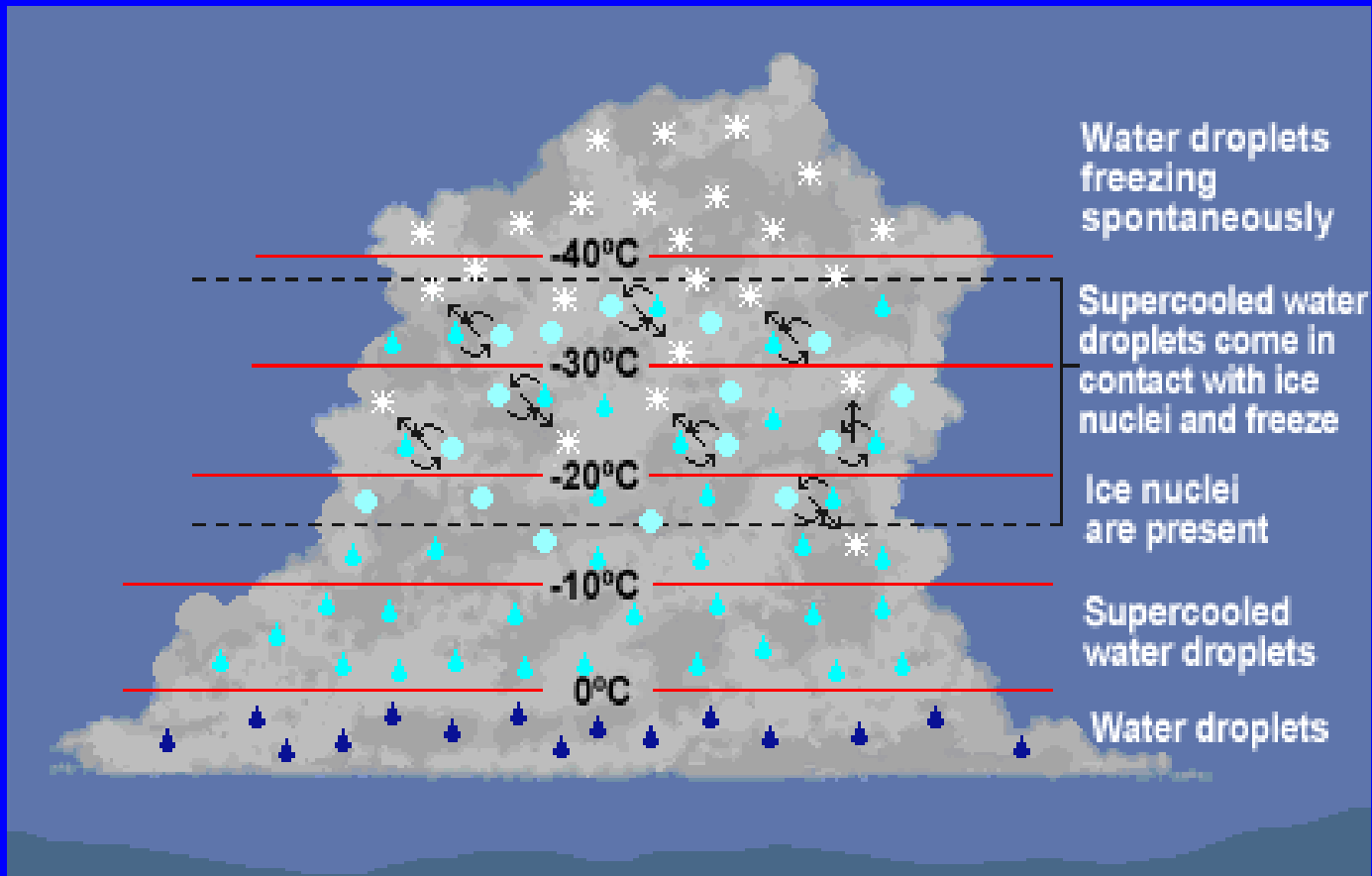
## Niveles de Vuelo mas Afectados:

- Mayor incidencia, 50% de los reportes, entre los 5,000 – 13,000 Ft (FL050-FL130)
- Máximo ocurre a elevaciones de 10,000 ft (FL100/700 hPa)

# Procesos Físicos y Definiciones

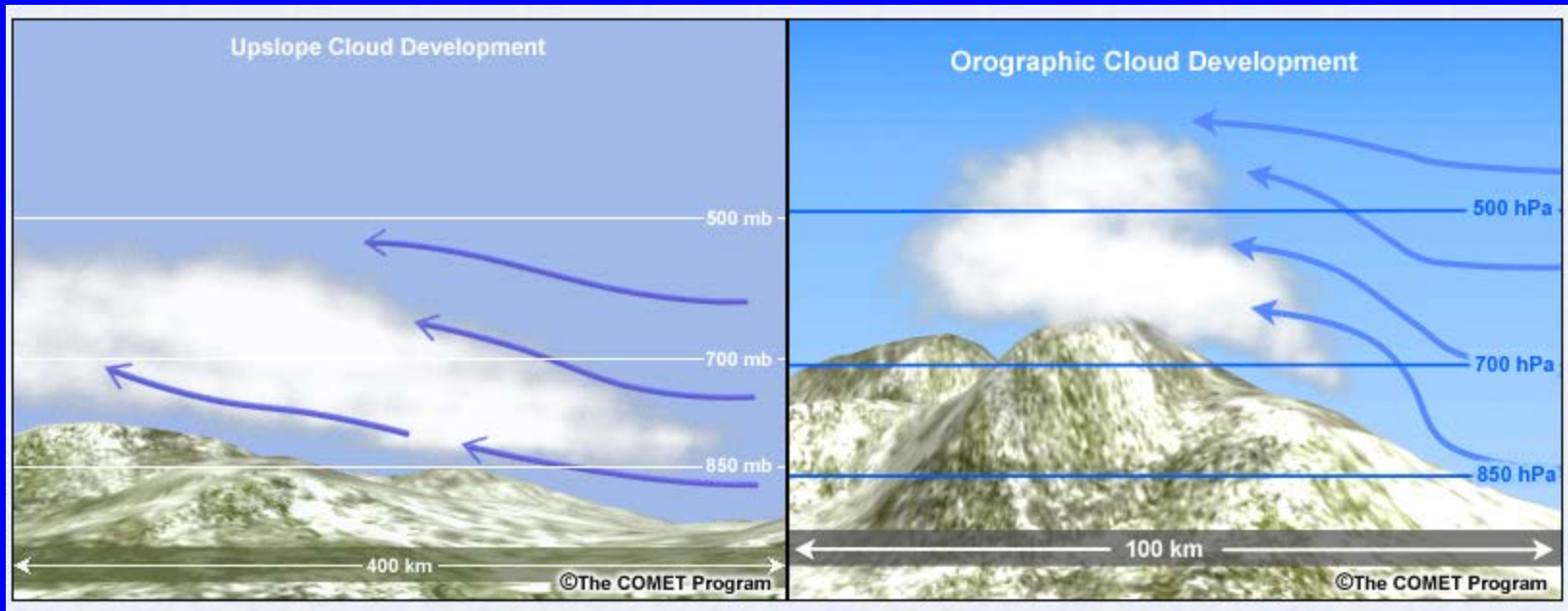


# Fases del Agua en la Nube



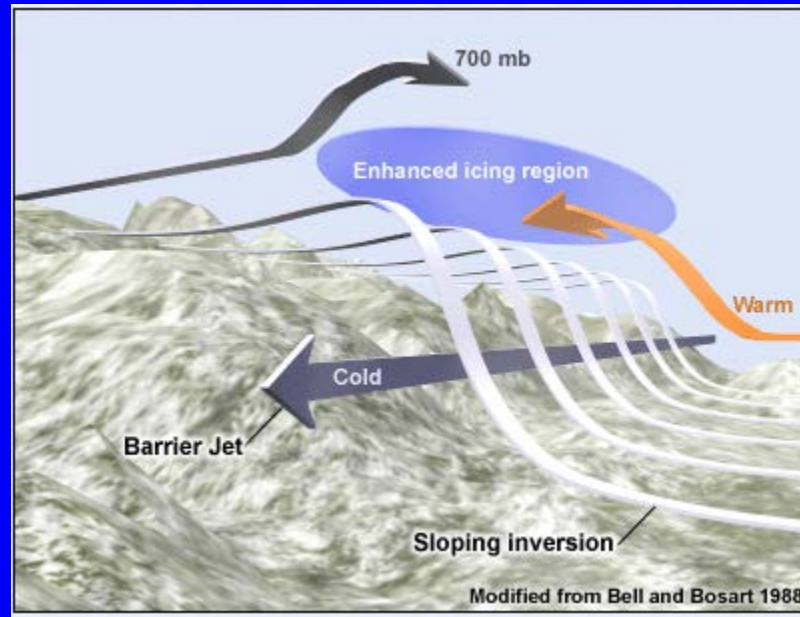
La fase del agua dentro de la nube es una función de su temperatura y presencia de núcleos de engelamiento. En general, si la temperatura de la nube es mayor de  $-12^{\circ}\text{C}$ , se asume agua líquida.

# Impacto del Terreno: Ascenso Adiabatico



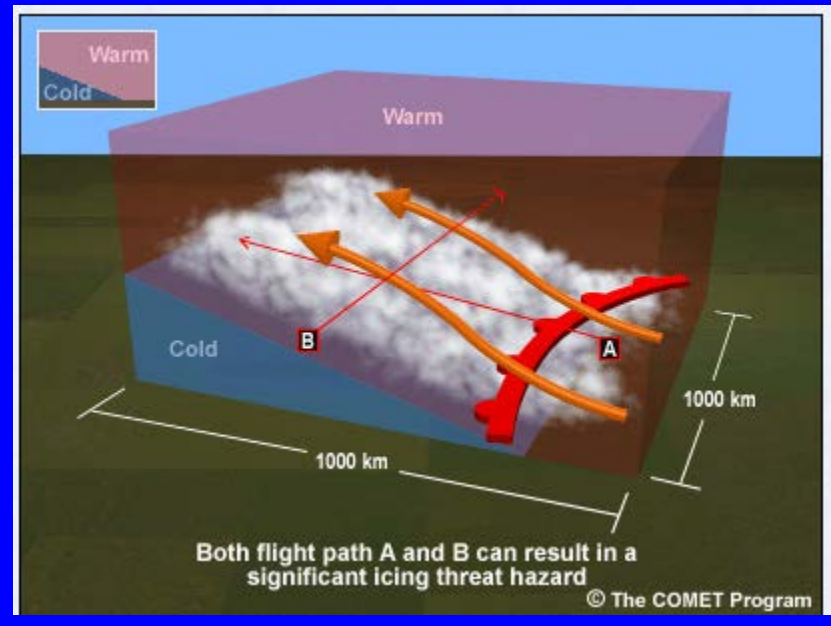
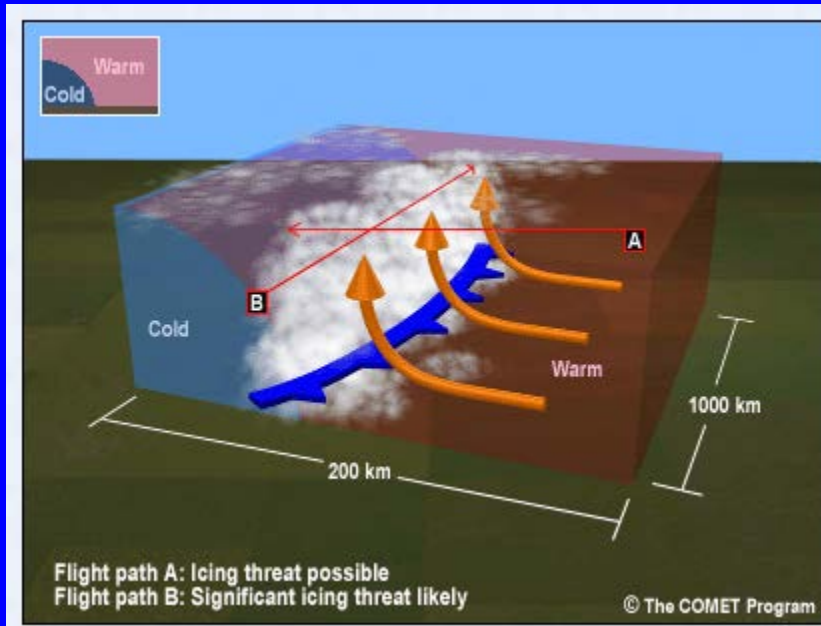
Ascenso Suave vs. Ascenso Forzado

# Impacto del Terreno



- Atrapamiento de aire frío al pie/laderas de las montañas puede resultar en regiones de engelamiento

# Frentes



- Los frentes actúan como barreras
  - En el cálido la expansión y cobertura tiende a ser mayor que con el frente frío
  - La trayectoria de la nave tiene que ser planeada para minimizar el tiempo dentro del área nubosa.

# Definiciones

- **Condensación:** Transición de vapor de agua a líquido.
  - *Impacto:* Incrementa el contenido de agua líquida en una nube
- **Evaporación:** Transición de agua líquida a vapor.
  - *Impacto:* Disminuye el contenido de agua líquida. Contribuye a la disipación de la nube.
- **Congelación:** Transición de agua líquida a sólida.
  - *Impacto:* En la fase sólida, riesgo a la aviación disminuye, ya que es más difícil el que se adhiera a la nave.

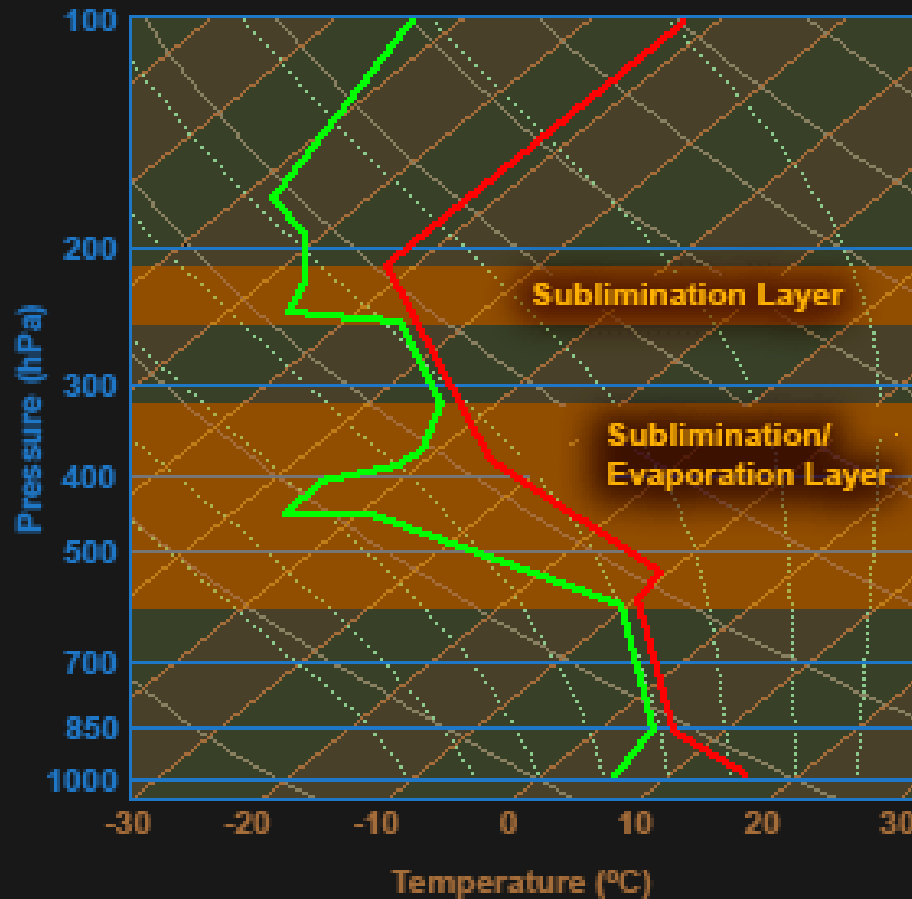
# Definiciones

- **Agua Súper/Sobre Enfriada**: Agua que mantiene su estado líquido en temperaturas bajo 0°C.
  - En la presencia de núcleos de congelación cambia de fase.
  - La temperatura a la cual agua súper enfriada se congela es conocida como la **temperatura espontánea** de congelamiento.
    - Temperatura varia entre  $-10^{\circ}\text{C}$  y  $-42^{\circ}\text{C}$
    - En temperaturas mayores a  $-12^{\circ}\text{C}$  a  $-15^{\circ}\text{C}$  hay muy pocos núcleos de congelación en la nube, y las nubes consisten principalmente de agua líquida.
    - Varía con el tamaño y número de las gotas en la nube
      - Mientras más pequeña las gotas, más baja la temperatura.
  - **Impacto**: Riesgo de engelamiento es mayor cuando hay gotas grandes de agua súper enfriada.

# Definiciones

- **Sublimación**: Transición de sólido a vapor de agua.
  - *Impacto*: Ayuda a mitigar los impactos del engelamiento.
    - Remueve el hielo en vuelo.
  - Cuando engelamiento amenaza, pilotos están interesados en saber niveles donde no hay nubes/agua líquida súper/sobre enfriada.

# Sublimación





# Hielo con Frentes

- **Frente Calido:**

- Claro o Mixto se forma a unas 100-200 NM delante del frente cálido
- Rime ligero normalmente ocurre en As hasta 300 NM delante del frente cálido

- **Frente Frío:**

- Claro es mas prevalente en nubes cumuliforme
- Claro Moderado a unas 100 NM detrás del frente en superficie
  - Se forma sobre la banda frontal
- Ligero ocurre en las capas de Sc que se forman detrás de un frente frío.

# Hielo con Frentes

- **Frente Estacionario y Ocluido**
  - Similar en formación y característica a lo que se ve con frentes cálidos.

# Lluvia Engelante



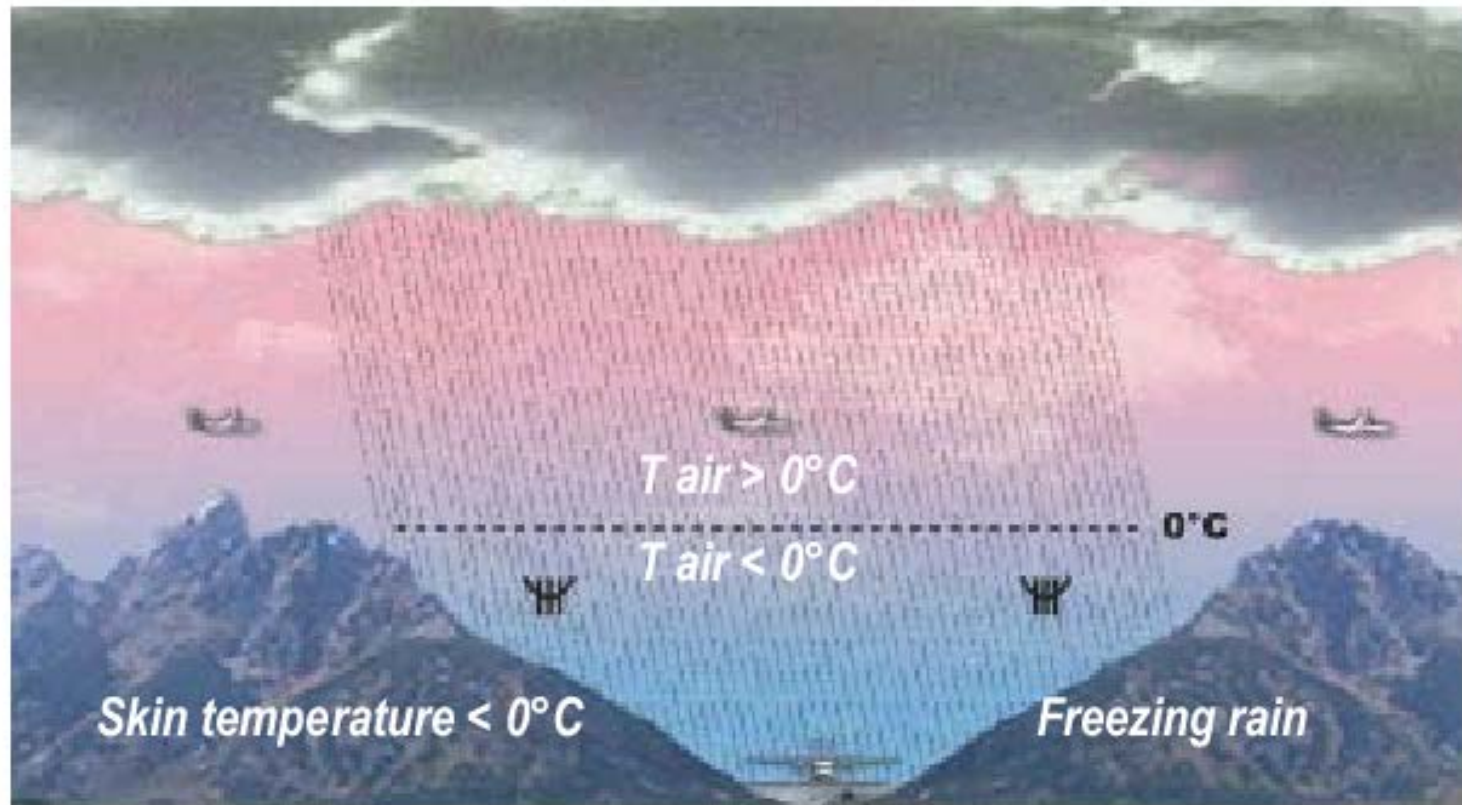
# Lluvia Súper-Enfriada/Engelante

- Lluvia/llovizna súper-enfriada es de las condiciones mas severas para la formación de hielo en una aeronave.
  - Gotas grandes se congelan a temperaturas menores
  - La lluvia que impacta la aeronave, en temperaturas bajo cero, se congela y hielo claro se acumula rápidamente.
    - Puede acumular 1 cm en cuatro millas náuticas (7Km).

# Condiciones Favorables para Lluvia Engelante

- Saturación
- Temperatura de la columna  $< 0\text{C}$
- Temperatura de la nube  $> -12\text{C}$ 
  - Si la temperatura de la nube es menor de  $-12\text{C}$ , cristales de hielo tienden a prevalecer, facilitando la transición a nieve

# Lluvia Engelante

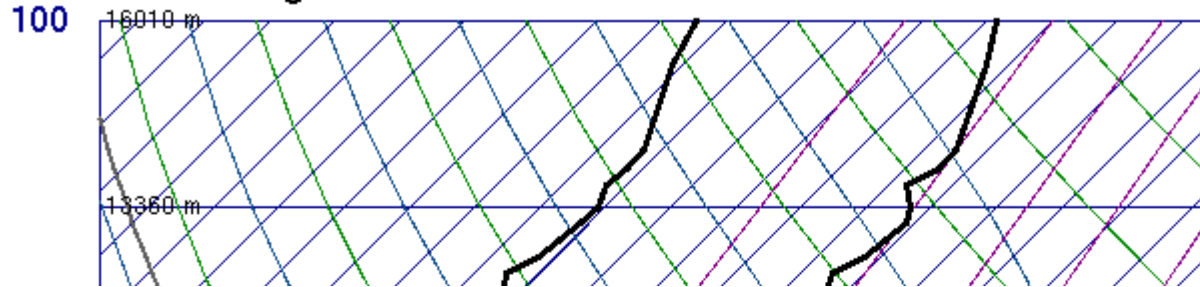


*Clear or glaze ice*

*No deposit*

# Determine tipo de precipitación:

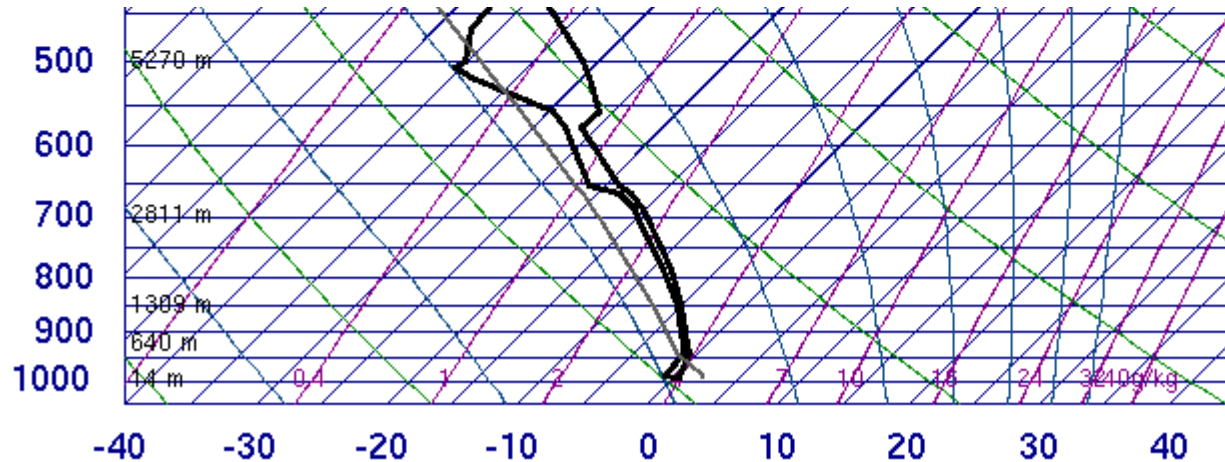
72403 IAD Sterling



SLAT 38.98  
 SLON -77.46  
 SELV 93.00  
 SHOW 5.20  
 LIFT 7.79  
 LFTV 7.78  
 SWET 122.0  
 KINX 20.30  
 CTOT 20.00

```

KIAD 091403Z 00000KT 1 1/4SM -SN BR BKN004 OVC010 01/00 A2958 RMK AO2 P0001 T00060000
KIAD 091359Z 00000KT 1 1/4SM -SN BR SCT006 OVC010 01/00 A2958 RMK AO2 P0001 T00060000
KIAD 091352Z 00000KT 1SM R01R/P6000FT -SN BR VV010 01/00 A2958 RMK AO2 SLP019 P0003 T00060000
KIAD 091344Z 00000KT 1SM R01R/P6000FT -SN BR SCT008 OVC013 01/00 A2958 RMK AO2 P0003 T00060000
KIAD 091316Z 04003KT 1 1/4SM -SN BR OVC017 01/M01 A2958 RMK AO2 P0001 T00061006
KIAD 091307Z 03004KT 1 1/2SM -SN BR OVC015 01/M01 A2958 RMK AO2 P0001 T00061006
KIAD 091256Z COR 03003KT 1 1/2SM R01R/P6000FT -SN BR FEW005 OVC013 01/00 A2957 RMK AO2 P0000
T00060000
KIAD 091252Z 01003KT 1 1/4SM R01R/6000VP6000FT -SN BR BKN005 OVC011 01/00 A2958 RMK AO2 SLP016 P0003
T00060000
KIAD 091250Z 02003KT 1 1/4SM -SN BR BKN005 OVC011 01/00 A2958 RMK AO2 P0002
KIAD 091232Z 01003KT 1 1/2SM -SN BR OVC005 01/00 A2957 RMK AO2 P0001 T00060000
KIAD 091152Z 00000KT 2SM -SN BR BKN005 OVC008 01/00 A2957 RMK AO2 SLP015 P0002 60018 70020 T00060000
10028 20006 53002
    
```

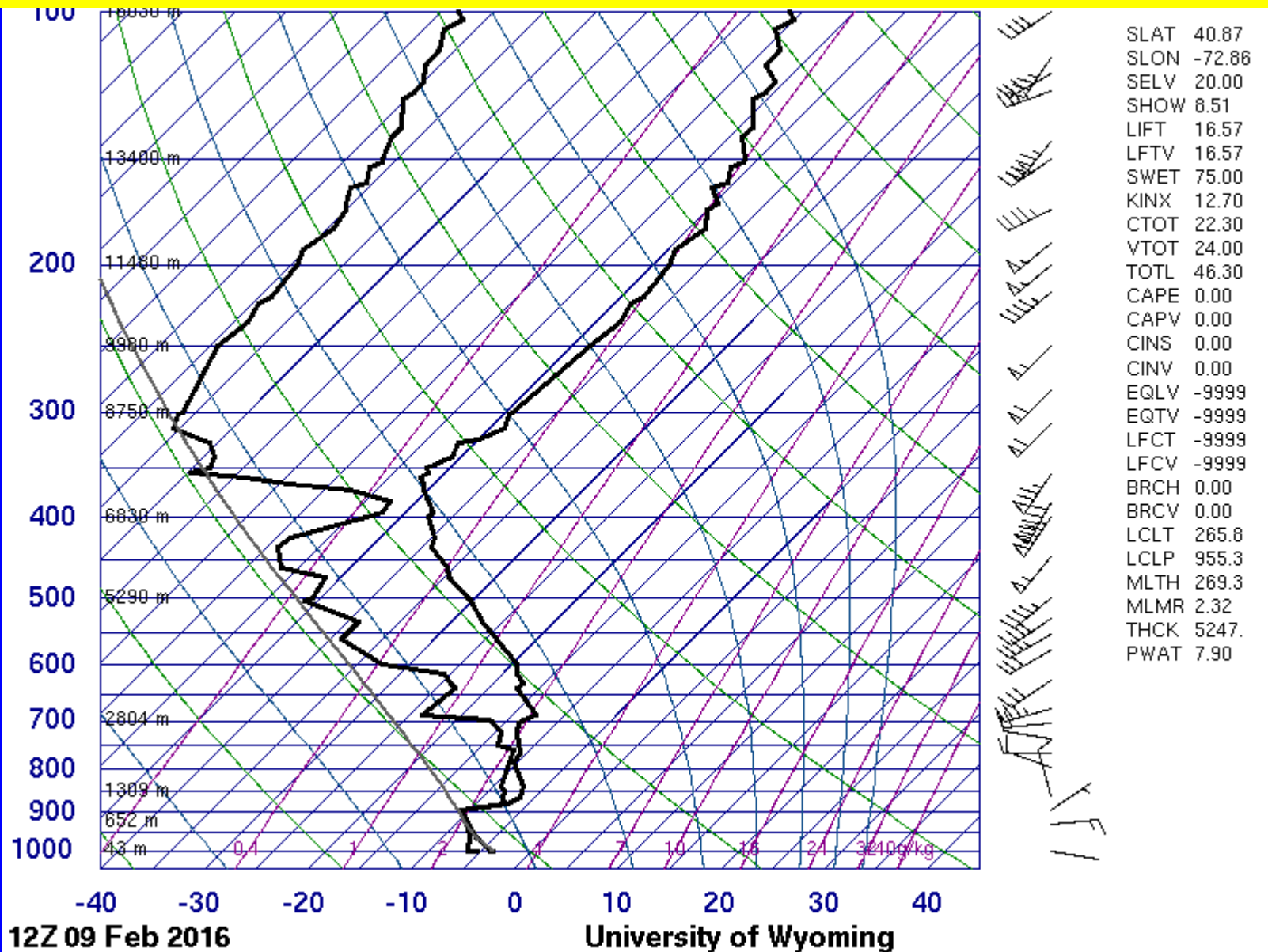


LCLP 950.1  
 MLTH 276.0  
 MLMR 3.74  
 THCK 5256.  
 PWAT 10.82

12Z 09 Feb 2016

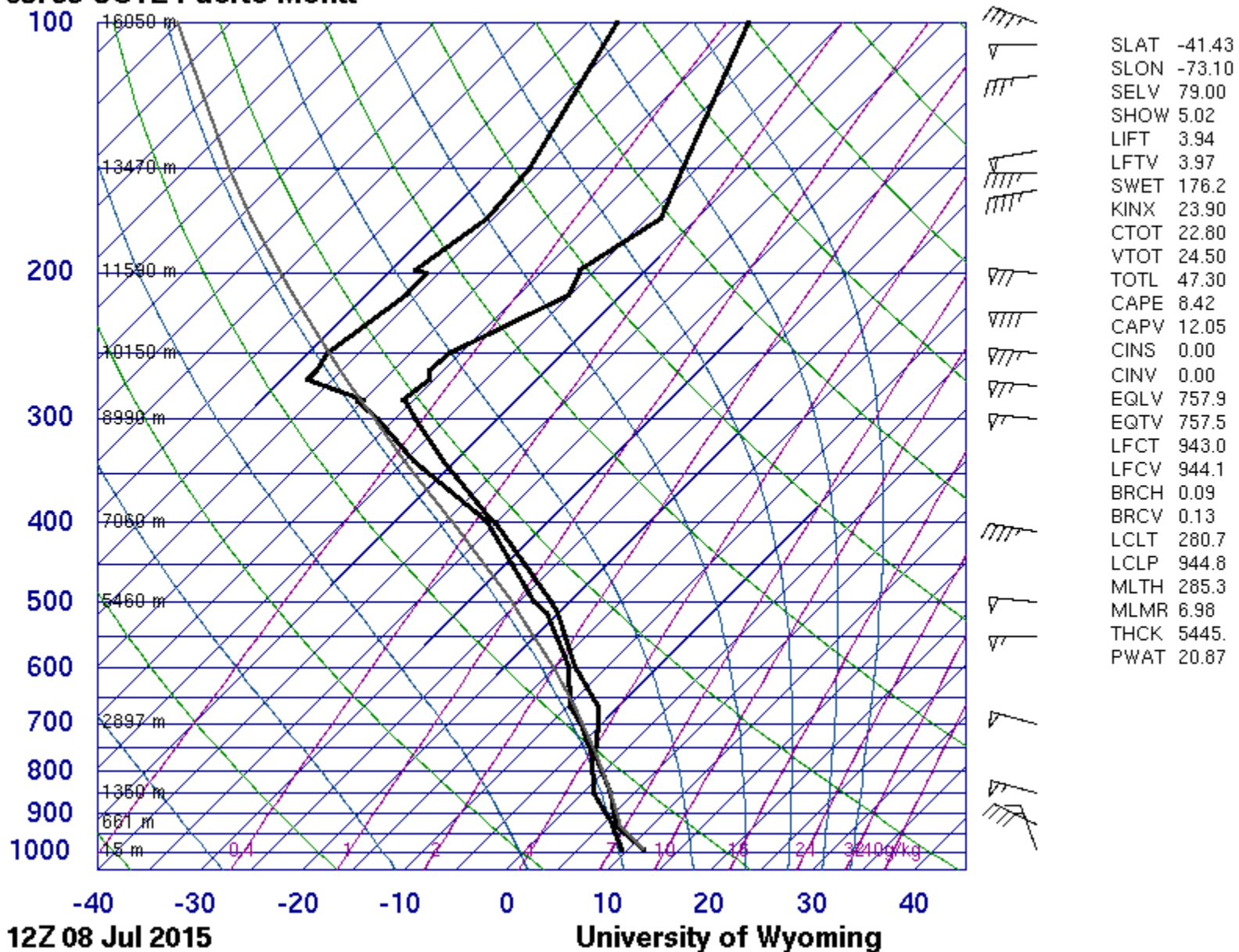
University of Wyoming

# Determine tipo de precipitación:





# Determine tipo de precipitación:

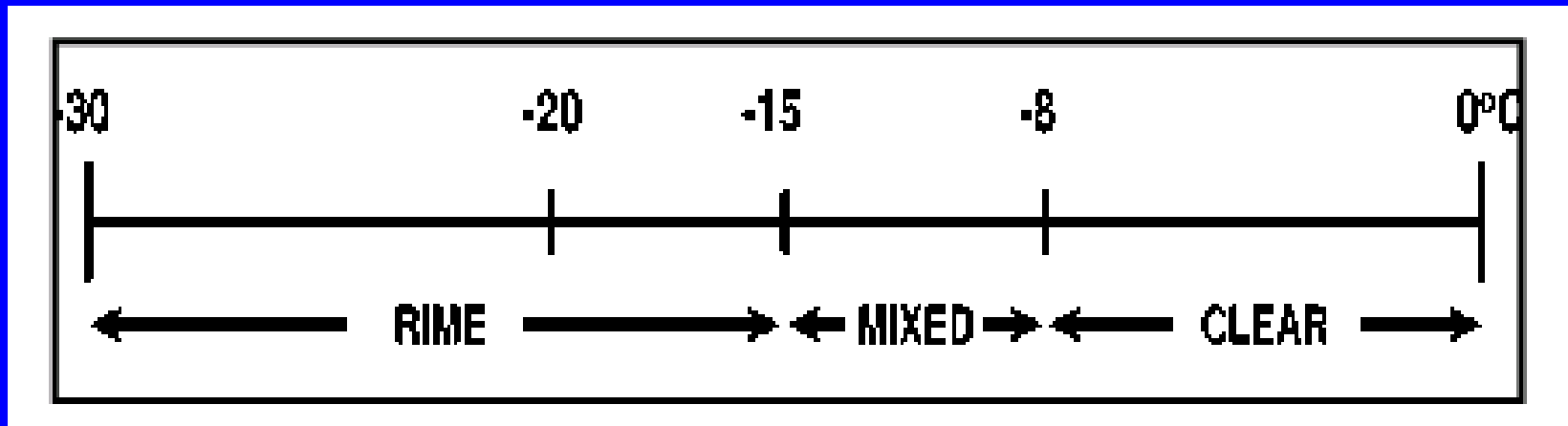


# Impacto de la Temperatura en Condiciones Engelantes

# Acumulación

- Mayoría de los eventos a temperaturas entre -20 y 0C
  - Temperatura entre -2 y -12°C es el rango mas favorable para el engelamiento
  - 50% de los eventos entre -8 y -12°C

# Impacto de la Temperatura en el Tipo de Engelamiento



# Temperatura de Bulbo Húmedo ( $T_w$ )

- $T_w$ : Temperatura de una parcela de aire enfriada hasta saturación por la evaporación de agua en el nivel/presión constante.
  - Por enfriamiento por evaporación, se le puede reducir la temperatura de la parcela a bajo 0C.
- No simplemente considere la temperatura sensible del aire

Contenido de Agua  
y  
Tamaño de las Gotas

# Contenido de Agua

- El contenido de agua en la nube tiene un impacto grande en la intensidad, o severidad, del engelamiento
  - Severa  $\geq 1.0 \text{ g/m}^3$
- Tamaño de las gotas, aunque no tan importante como el contenido, impactan que cuan rápido se acumula.
  - Mientras mas grandes las gotas, mas rápido se acumula.

# Efecto del Tamaño de la Gota

(LWC = 1.3 g/m<sup>3</sup>)

(A)  $d = 14 \mu\text{m}$



(B)  $d = 20 \mu\text{m}$

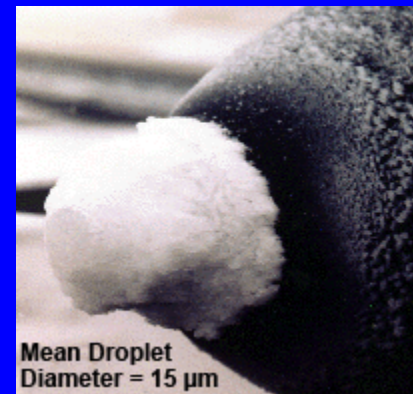


(C)  $d = 26 \mu\text{m}$

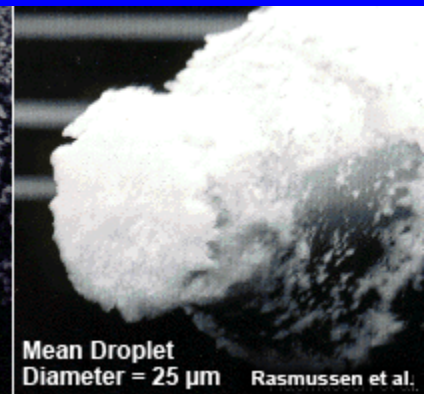


Mean Drop Size ( $d$ ) vs Ice Accretion

Modified from Shin



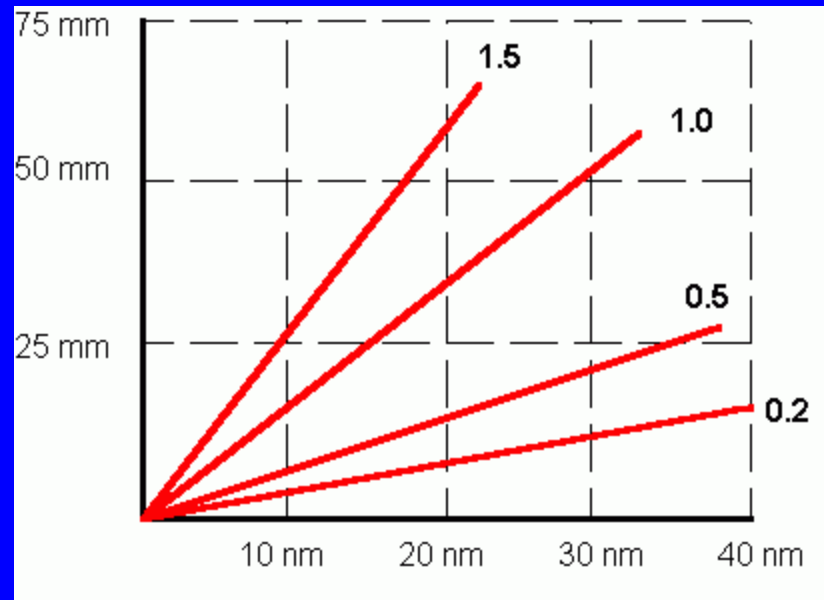
Mean Droplet  
Diameter = 15  $\mu\text{m}$



Mean Droplet  
Diameter = 25  $\mu\text{m}$  Rasmussen et al.



# Acumulación de Hielo por Distancia



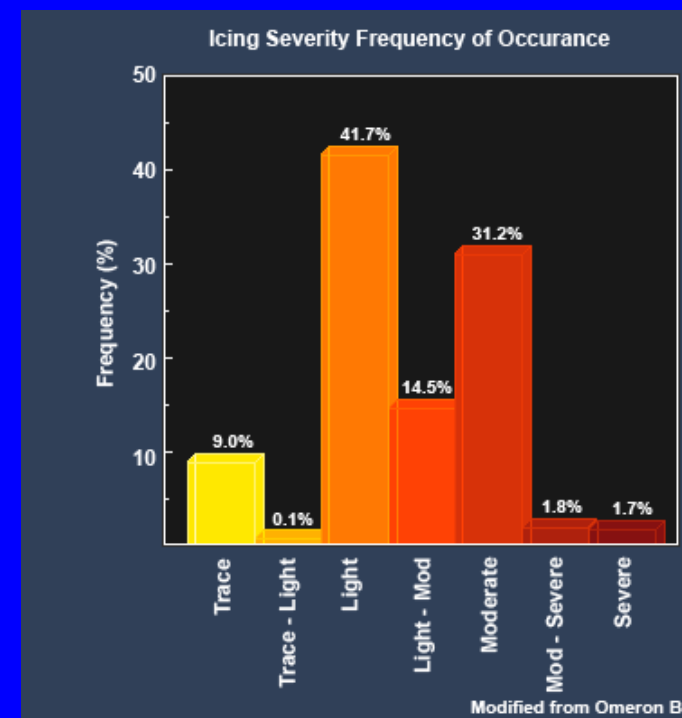
En el diagrama se ve la relación de que cantidad, en mm, de hielo se va a acumular por distancia (millas náuticas) en nubes, y dependiendo del contenido de agua líquida. Esto es en nubes con un contenido de agua líquida entre  $0.2 \text{ g/m}^3$  y  $1.5 \text{ g/m}^3$ .

# Intensidad y Tipo

# Intensidad del Engelamiento

- **Trazo**: Hielo se acumula tanto como se sublima. Solamente peligroso si persiste mas de una hora
- **Ligero/Débil**: Presente cuando hay menos de  $0.5 \text{ g/m}^3$  de agua súper-enfriada en la nube
  - Aeronaves equipada con equipo para este tipo de fenómeno no necesitan cambiar su curso ni nivel.
- **Moderada**: entre  $0.5$  y  $1.0 \text{ g/m}^3$ 
  - Cambio de rumbo es deseado.
- **Severa**: mas de  $1.0 \text{ g/m}^3$ 
  - Cambio de rumbo sin demora.

40% de los eventos son de intensidad ligera  
4% de intensidad moderada a severa



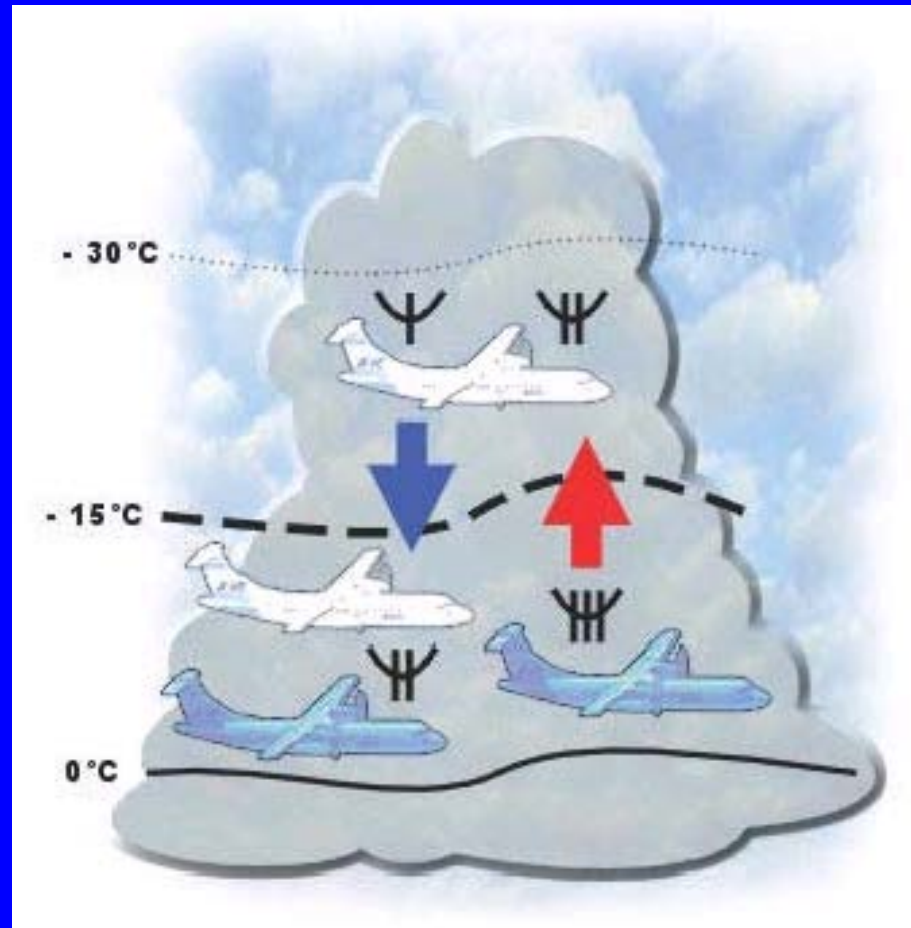
# Tipos de Hielo

- Claro
- Rime (Tipo Escarcha)
- Mezcla/Mixto
  - Combinación de Escarcha y Claro
  - Engelamiento mixto puede resultar en un bloque de hielo fuerte y áspero.

# Engelamiento Claro - Clear

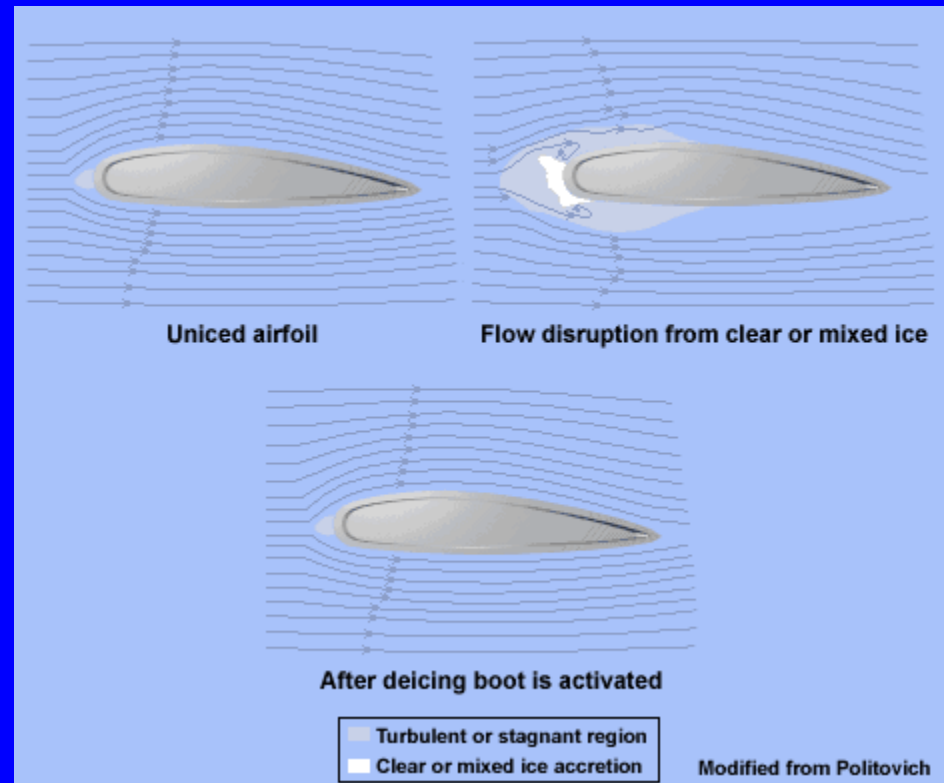
- Se observa en nubes convectivas/cumuliforme, donde las gotas mas grande de agua súper enfriada se tardan mas en congelarse.
  - Las gotas se extienden, o despliegan, sobre la superficie y forman hielo claro.
- Hielo de alta **acumulación**, no se recomienda mantenerse por largos periodos dentro de este nivel.
- Alta probabilidad de engelamiento Moderado a Severo es observado en aire inestable cuando la temperatura varia entre  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  .
- Cuando la temperatura varia entre  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  la probabilidad es menor, excepto en CB Calvus.
- **Engelamiento es mas severo cuando la temperatura ambiental esta entre  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$** 
  - Donde la concentración de gotitas súper enfriadas se maximiza.

# Engelamiento Claro - Clear



# Claro

- Se acumula a lo largo del ala.
- Perturba el flujo y crea resistencia.
- Difícil de remover

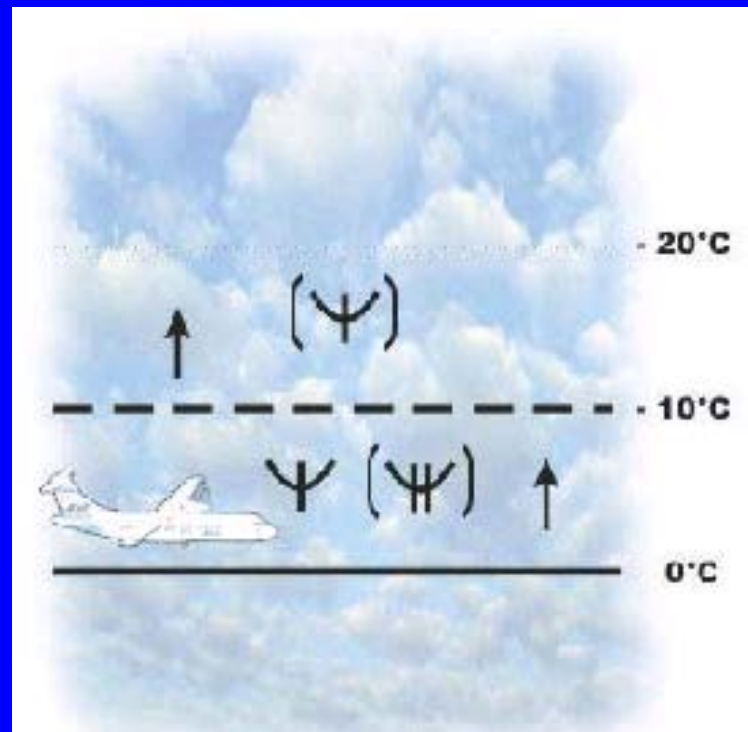


# Escarcha - Rime

- En nube estratiforme, gotas pequeñas de agua súper enfriada tienden a instantáneamente congelarse en contacto.
  - Atrapando burbujas de aire en el proceso
- Hielo áspero/rugoso y opaco que se acumula en el filo del ala.
- En las condiciones estable de una masa estratiforme, hielo se forma en el rango de temperaturas de 0 °C a -10 °C
- La capa de formación de hielo típicamente tiene un espesor de 3000 a 4000 ft (1,000-1,300 metros)

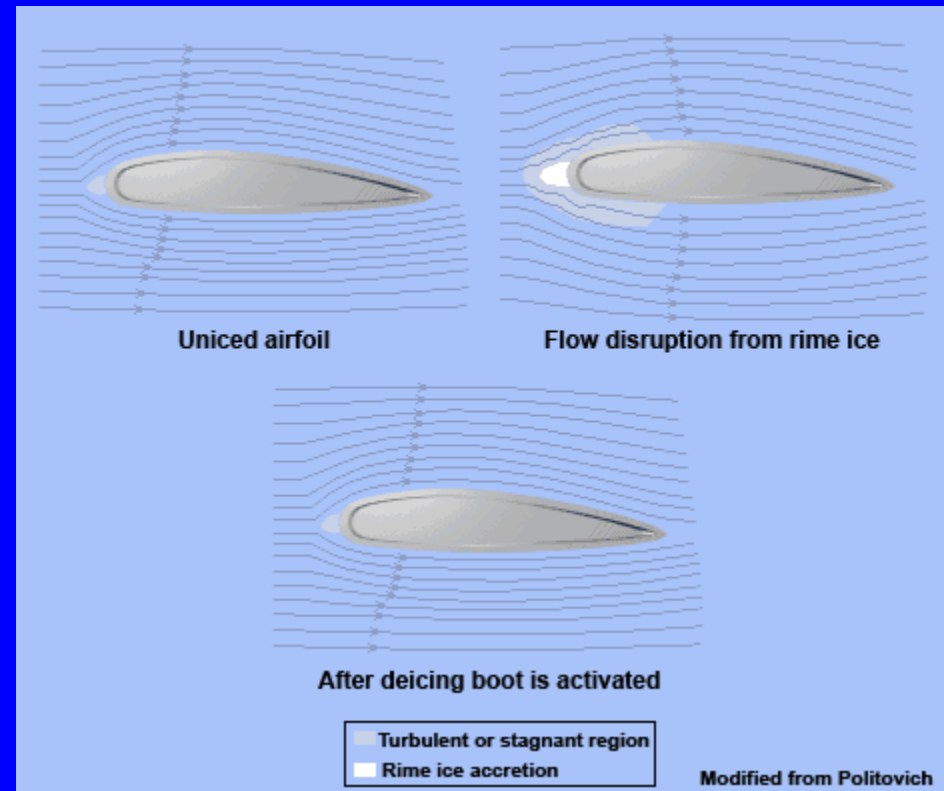


# Rime

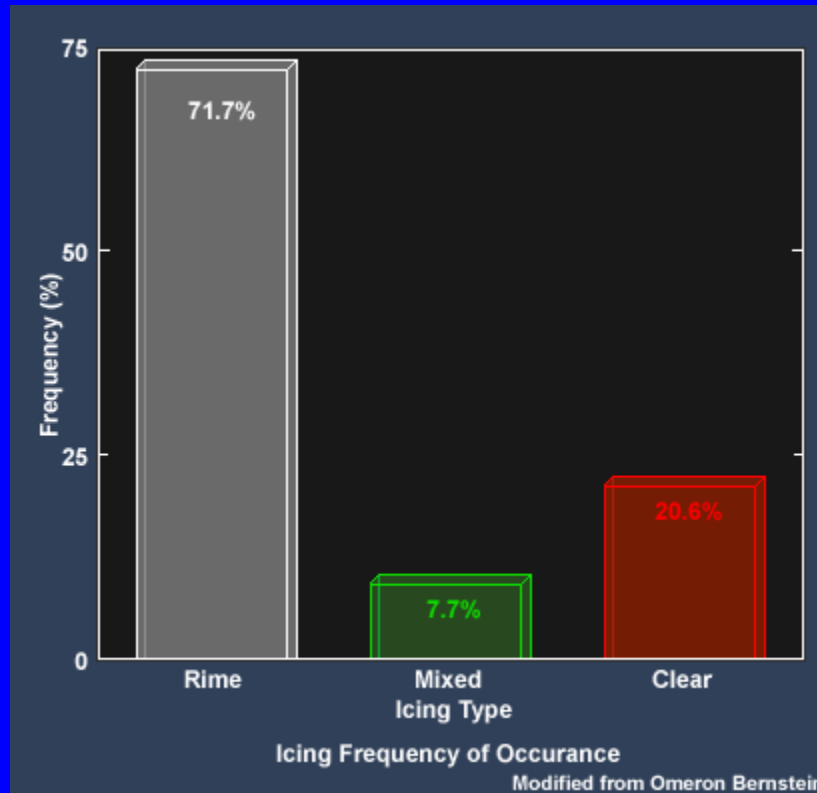


# RIME

- Acumula en el filo del ala
- No impacta mucho el flujo a lo largo del ala
- Puede ser removido



# Frecuencia y Ocurrencia



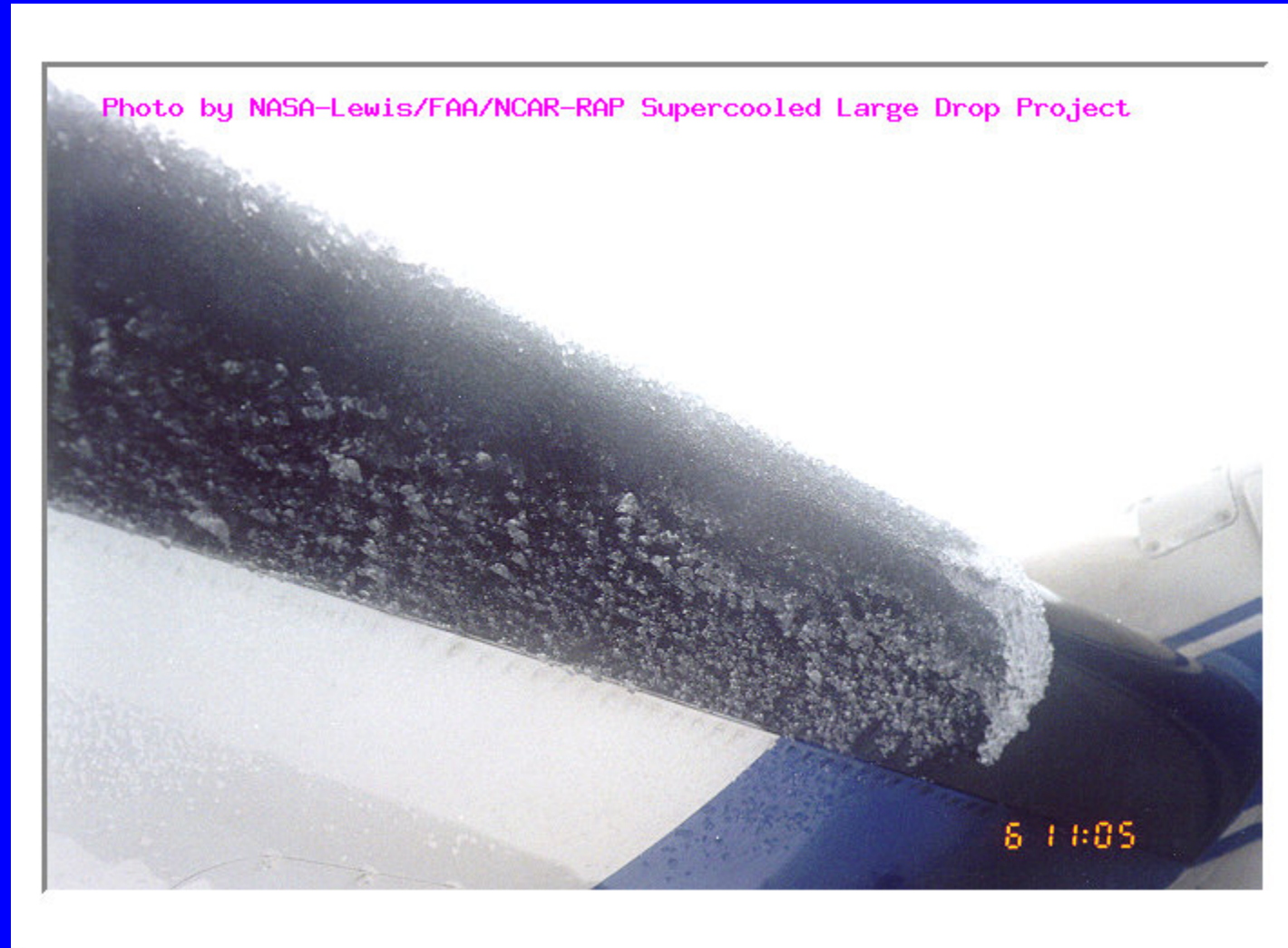
# Vuelo en Nevadas

- El que una aeronave vuele por un área de nieve no resultara en formación de hielo
  - Una línea de nieve se puede acumular en el filo del ala, lo cual puede afectar el flujo de aire sobre el ala del avión.
- Mas peligroso cuando volando por aguanieve.

# Formación de Hielo por Tipo de Nube

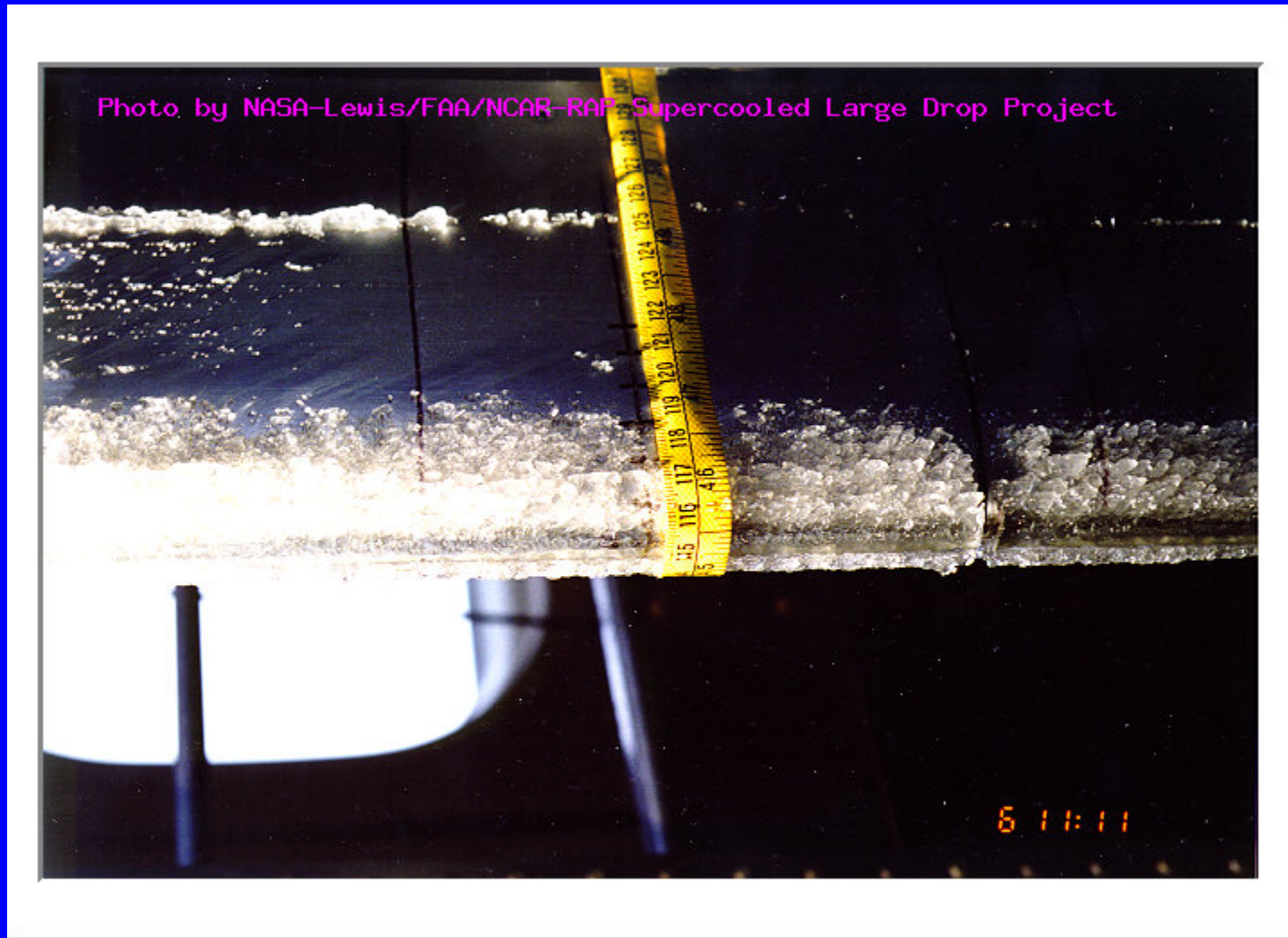
- **Ci, Cs y Cc:** Englamamiento es bien raro, y ligero a escaso de ocurrir.
- **Ac, As y St:** Englamamiento ligero a moderado, de tipo rime
- **Sc:** Rime moderado
- **Ns:** Rime moderado a severo, hielo claro o mixto.
  - La extensión vertical del **Ns**, mas el **As** en la nube, puede llegar entre los niveles de vuelo FL150 y FL200. A esa altura es concebible que los topes de las nubes contengan agua súper enfriada a temperaturas de  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$
- **TCu y Cb:** Rime, claro o mixto, posiblemente severo.

# Ejemplo de Engelamiento



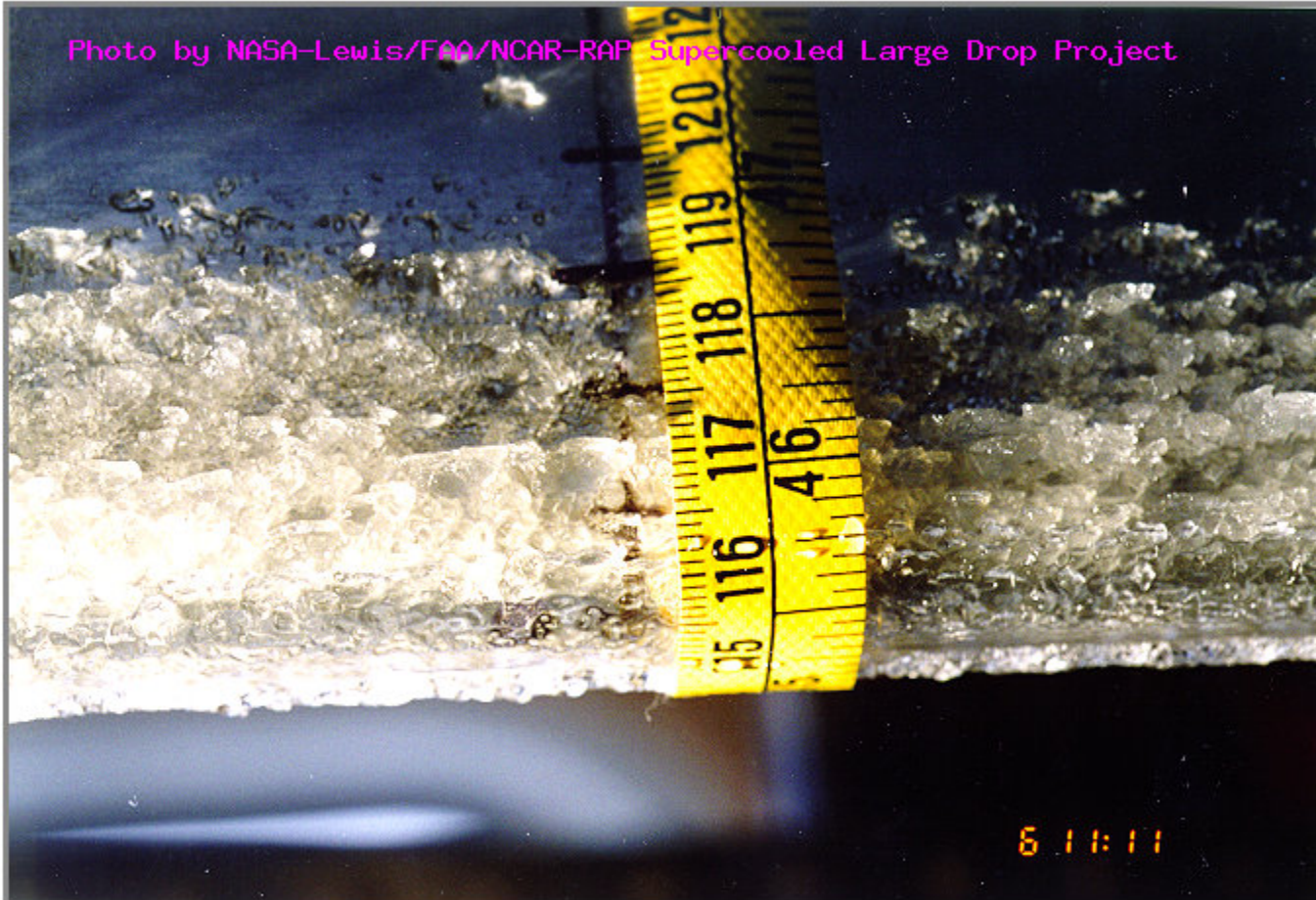
Hielo claro, o posiblemente mixto, en la ala de un avión de investigación de la NASA. Fíjese en la gran acumulación en el filo del ala, y por debajo de la misma.

# Ejemplo de Engelamiento



Ejemplo de engelamiento mixto, Rime y hielo Claro cubriendo el filo del ala y la parte superior. Esto sucedió luego de exponer el ala a agua líquida súper enfriada.

# Ejemplo de Engelamiento





# Condiciones Favorables para Engelamiento

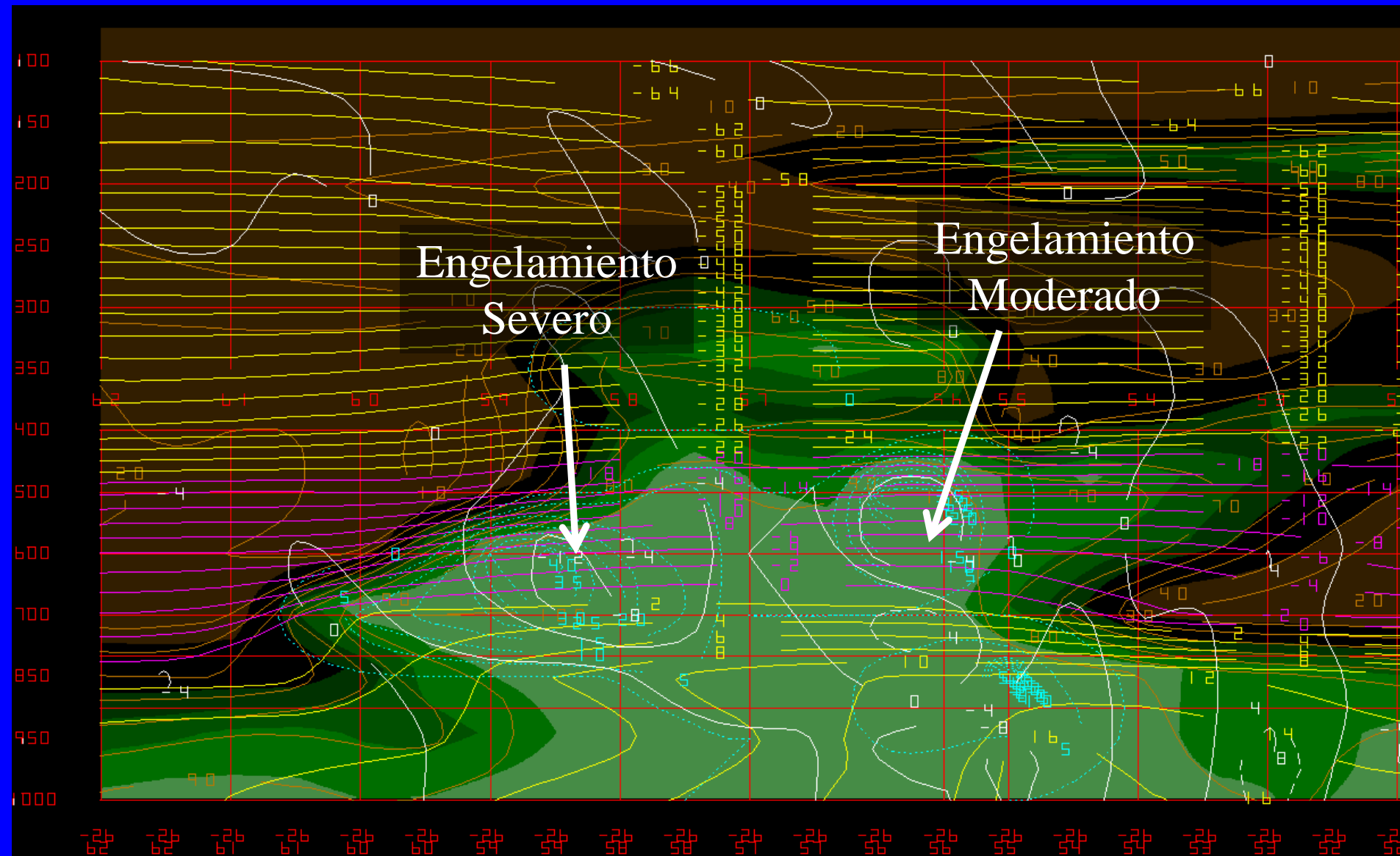
Temperatura	T-Td	Advección	Pronostico	Probabilidad
0C a -7C	$\leq 2C$	Neutra/Débil Fría	Traza	75%
		Fuerte Fría	Ligero	80%
-8C a -15C	$\leq 3C$	Neutra/Débil Fría	Traza	75%
		Fuerte Fría	Ligero	80%
0C a -7C	$\leq 2C$	Ninguna	Ligero	90%
-8C a -15C	$\leq 3C$	Se asocia a área con fuertes formaciones de Cu por calentamiento		

# Herramientas Para el Pronostico

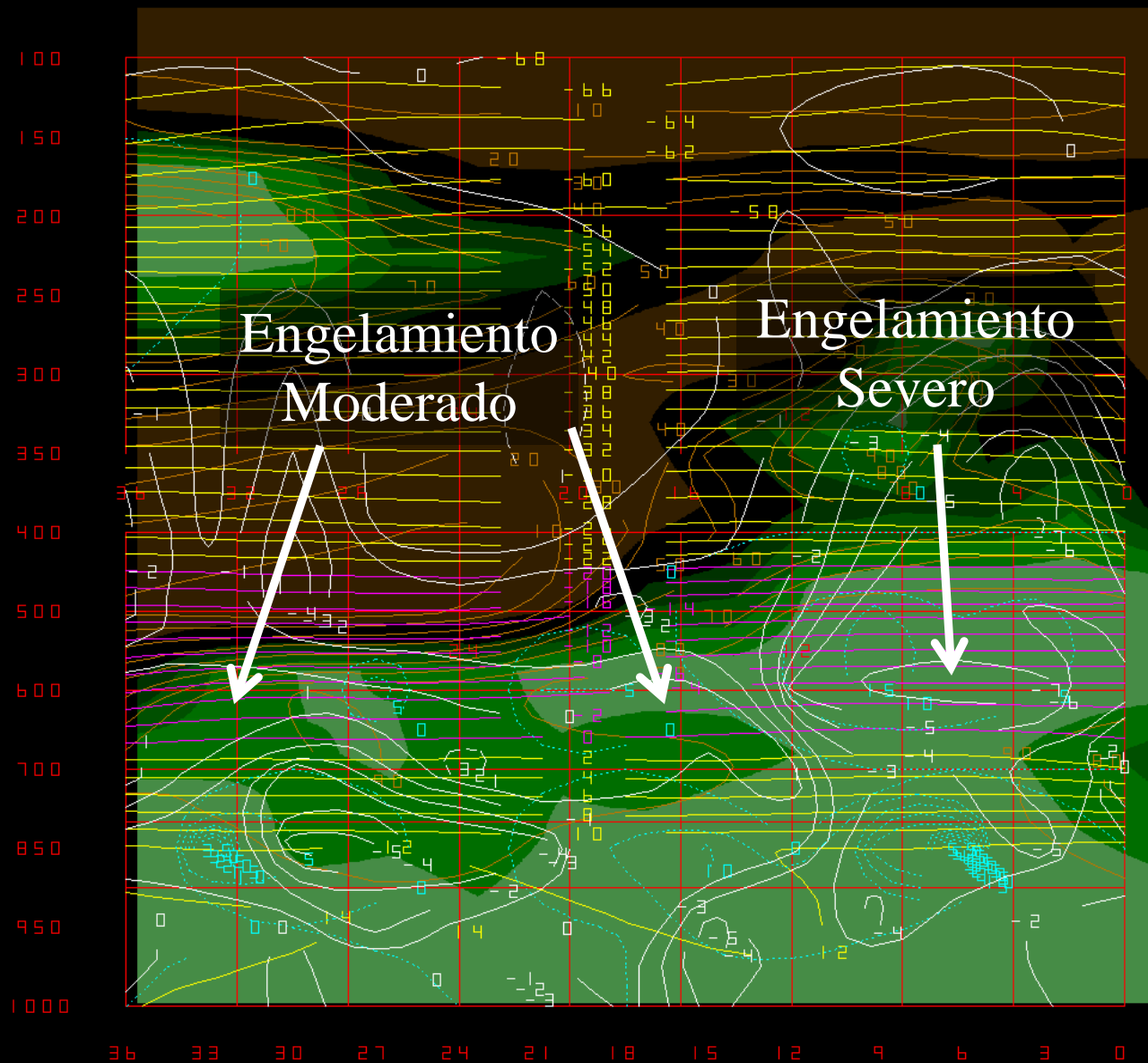
# Temperatura y Humedad Relativa

- **Condiciones:**
  - $0^{\circ}\text{C} \leq T_w \leq -20^{\circ}\text{C}$
  - HR > 70% en una capa de espesor de 5,000 ft
  - Omegas Negativos
- **Criterio:**
  - Moderado si omegas entre 0 a -6  $\mu\text{b}/\text{sec}$
  - Severa si omegas < -6  $\mu\text{b}/\text{sec}$
- **Ventajas:** Simple y fácil de generar
- **Desventajas:** No toma en consideración el contenido de agua/tamaño de las gotas.

# Corte Transversal: HR, Tw, Omegas



# Corte Temporal: HR, Tw, Omegas

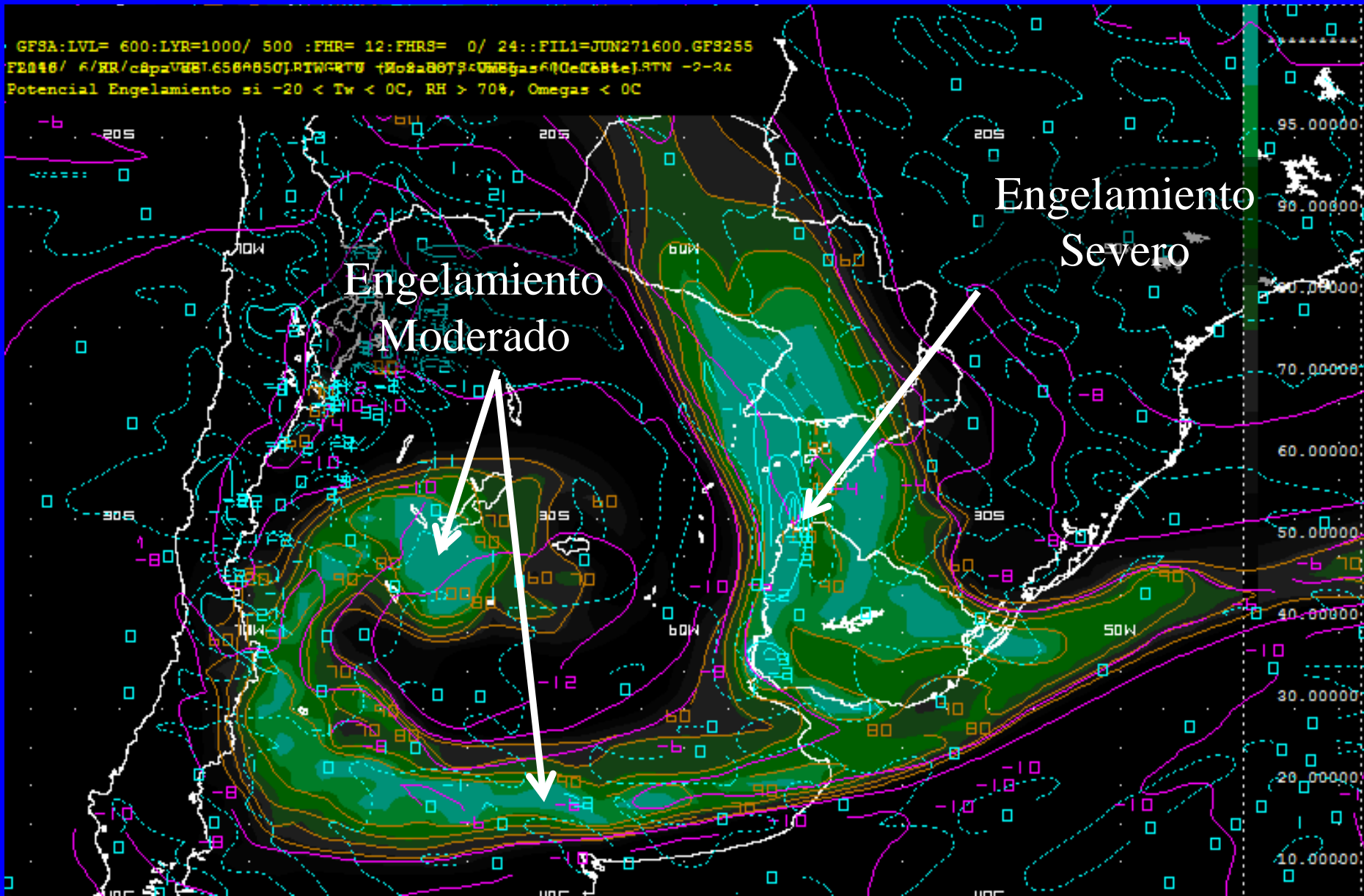


**Rosado:** Tw entre 0 y -20C

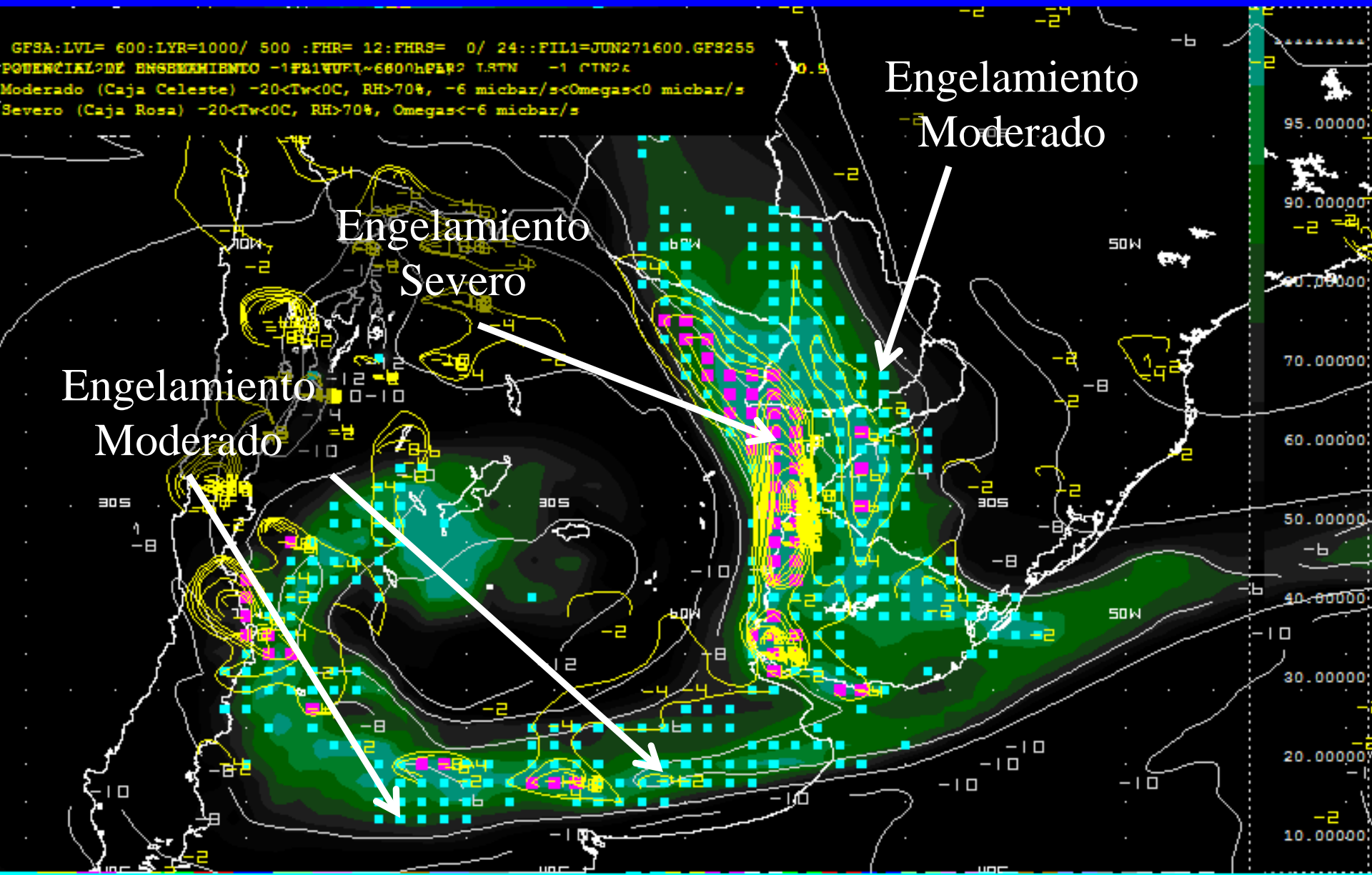
**HR:** en Verde

**Omegas:** Blanco.

# FL120 a FL140



# FL120 a FL140 (ICIN.)



# Temperatura y Contenido de Agua de la Nube

- **Condiciones:**

- $0^{\circ}\text{C} \leq T \leq -20^{\circ}\text{C}$

- Énfasis  $-2^{\circ}\text{C} \leq T \leq -12^{\circ}\text{C}$

- $0^{\circ}\text{C} \leq T_w \leq -20^{\circ}\text{C}$

- Contenido de agua líquida mayor a  $1.0 \text{ g/m}^3$

- Omegas Negativos

- **Criterio:**

- Moderado si contenido de agua  $0.6$  a  $1.0 \text{ g/m}^3$

- Severa si contenido de agua  $> 1.0 \text{ g/m}^3$

- **Ventajas:** Da peso al contenido de agua

- **Desventajas:** tamaño de las gotas es inferido.



# FL120 a FL140

