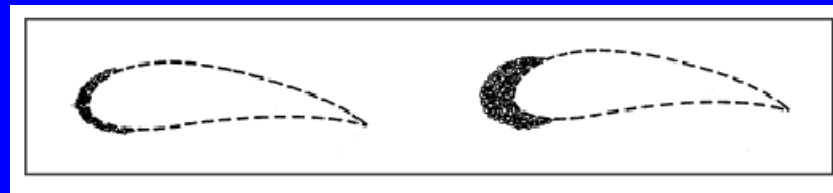


Engelamiento y su Impacto a la Aviación Civil

Mike Davison

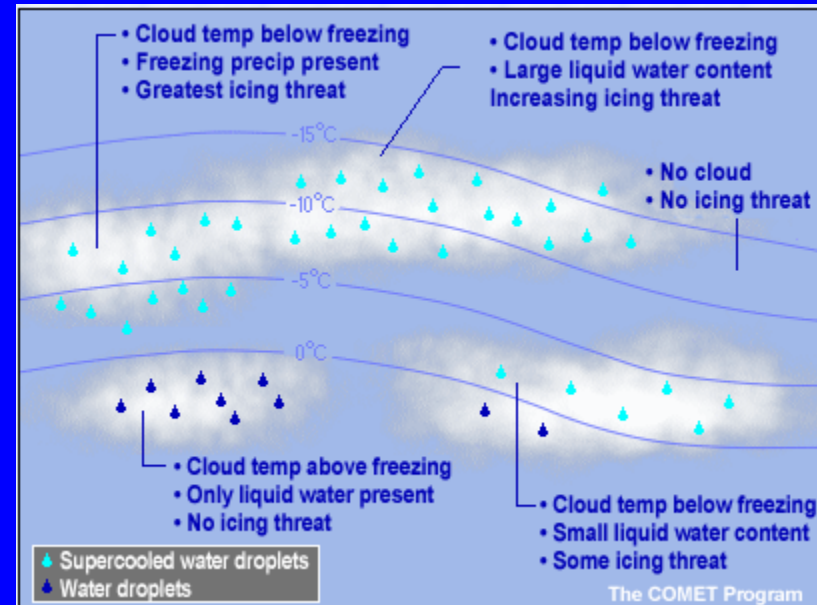
NWS International Desks



Potencial de Engelamiento

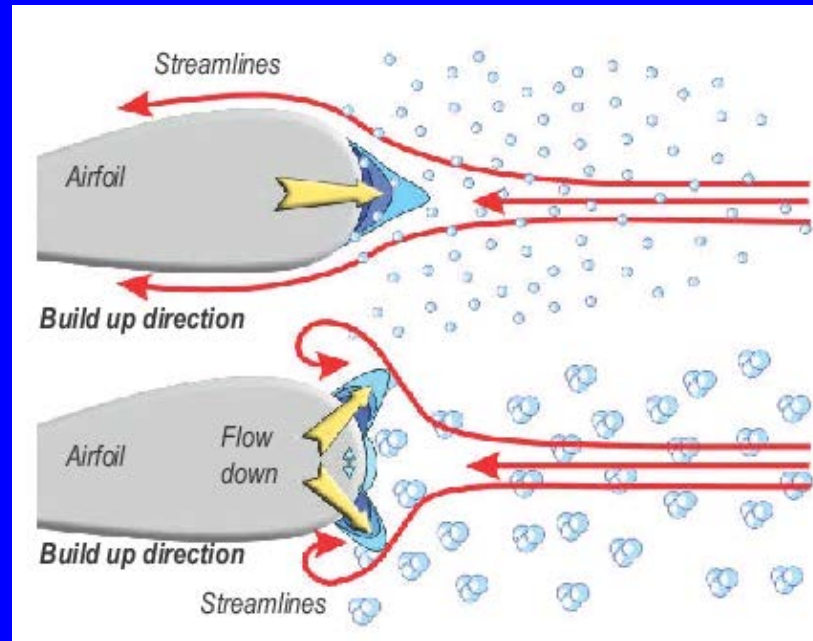
- Engelamiento requiere:

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



Impacto a la Aviación

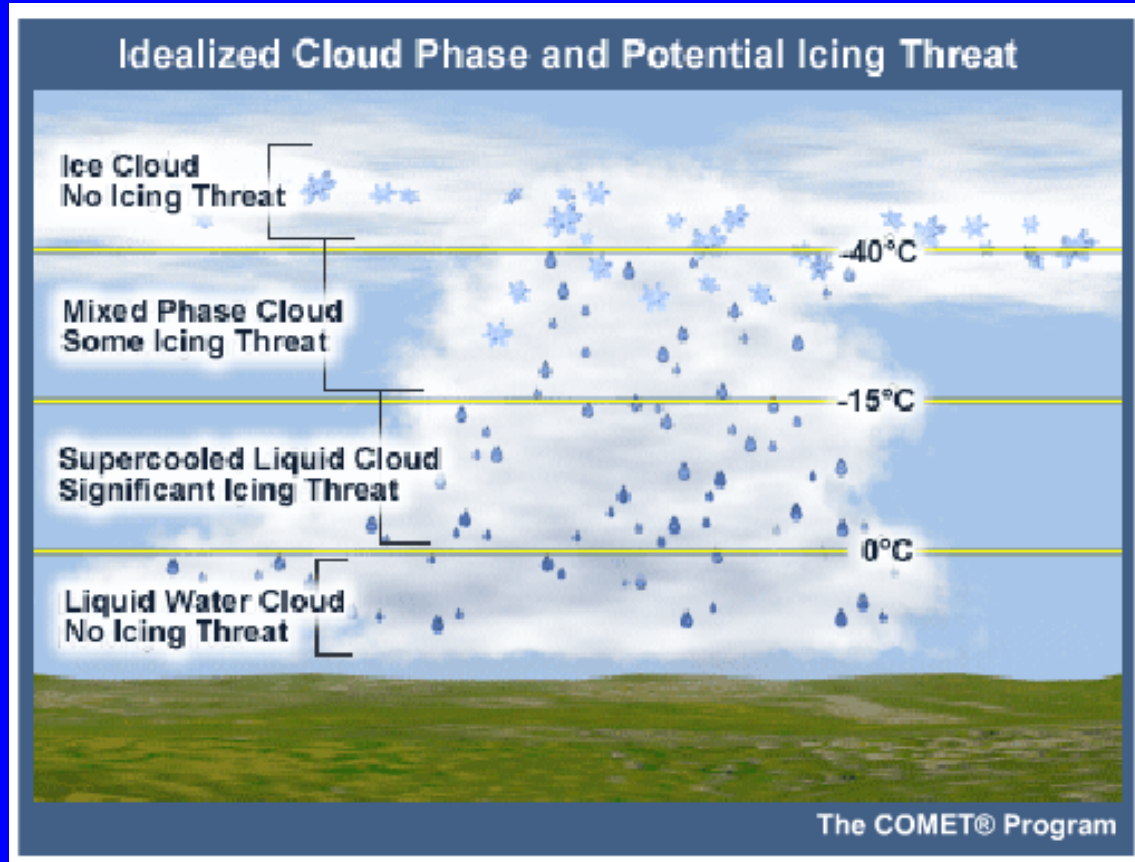
- Acumulación de hielo en el filo del ala es un asunto de preocupación en aeronaves que no están equipadas para tratar engelamiento.



- 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 0C a -15C



Impactos en las Aeronaves

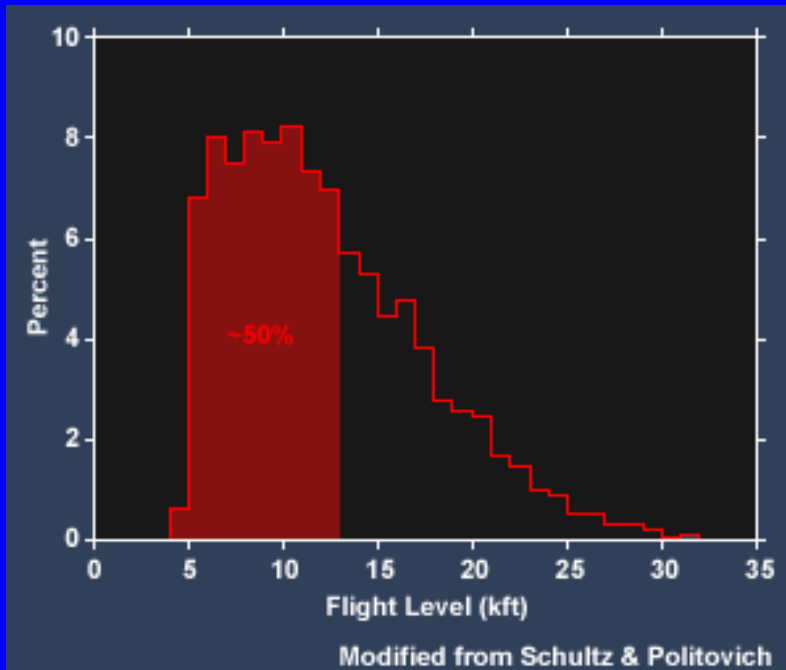
- El peso de 25mm de hielo en una pequeña aeronave puede ser unos 30 a 40 Kg
 - Afecta la distribución de peso en la aeronave.
 - Acumulación es asimétrica, afectando el coeficiente de fricción y movimiento de aire alrededor de las alas.
- Visibilidad puede ser obstruida al acumularse hielo en el parabrisas.
- 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

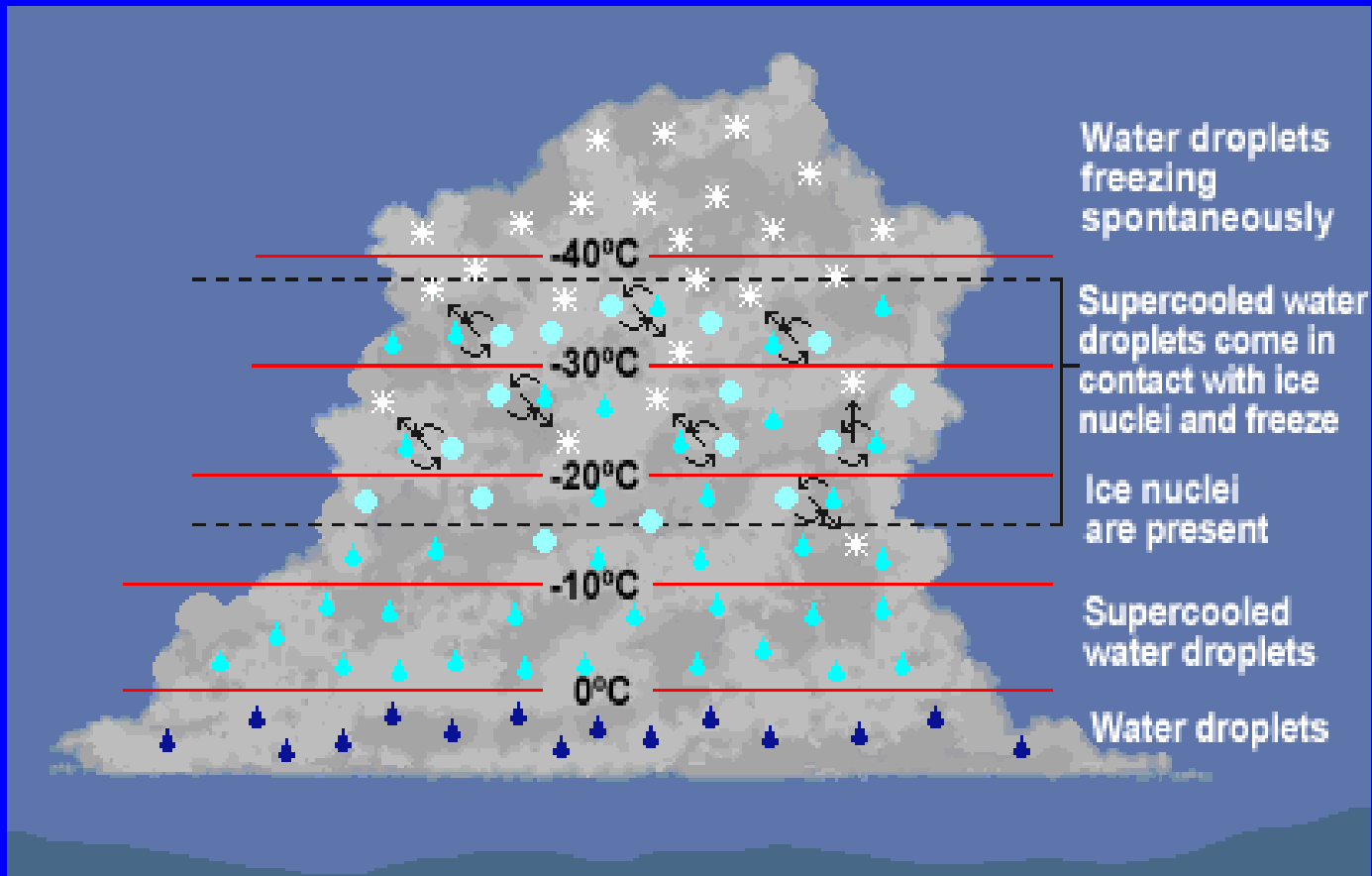


Niveles de Vuelo mas Afectados:

- 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)

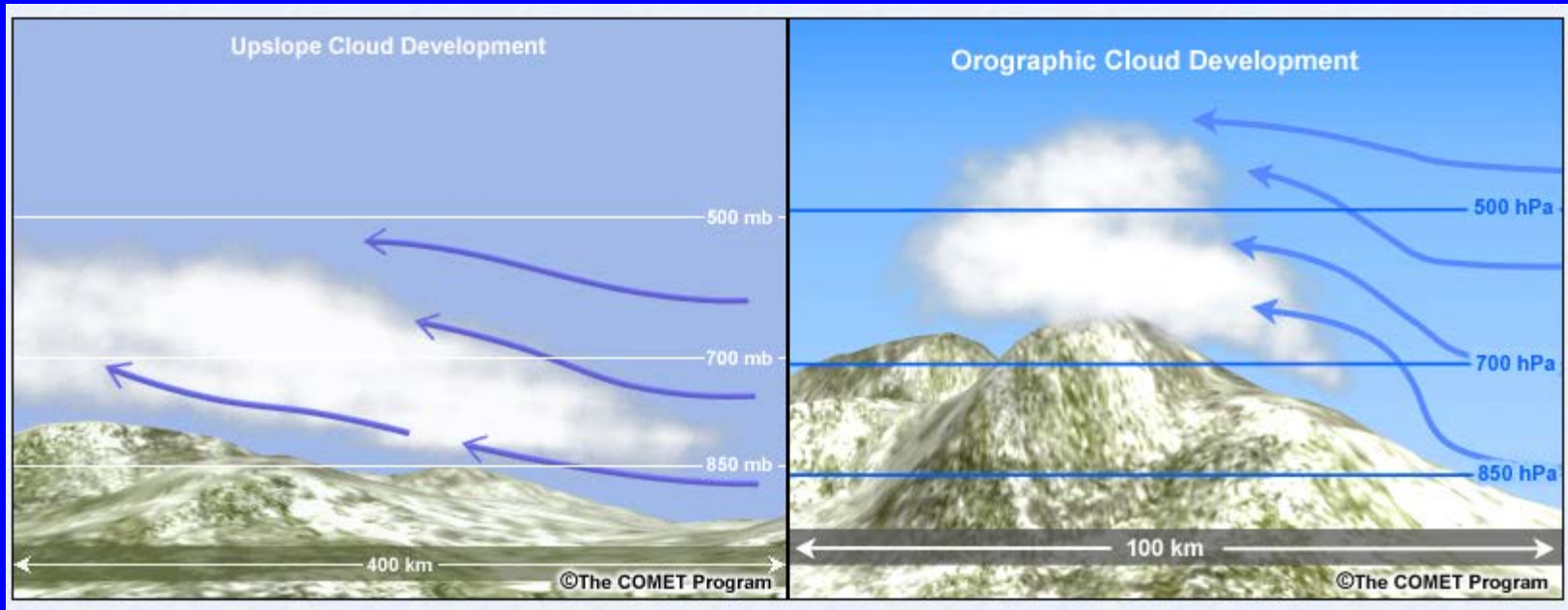
Procesos Físicos y Definiciones

Fases del Agua en la Nube



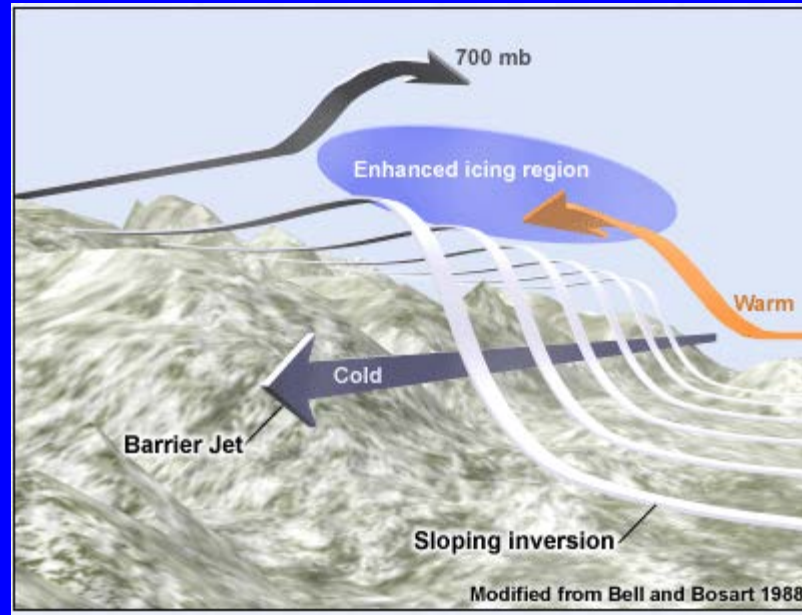
La fase del agua dentro de la nube es una función de su temperatura y presencia de núcleos de engelamiento. En general, si la temperatura de la nube es mayor de -12°C , se asume agua líquida.

Impacto del Terreno: Ascenso Adiabatico



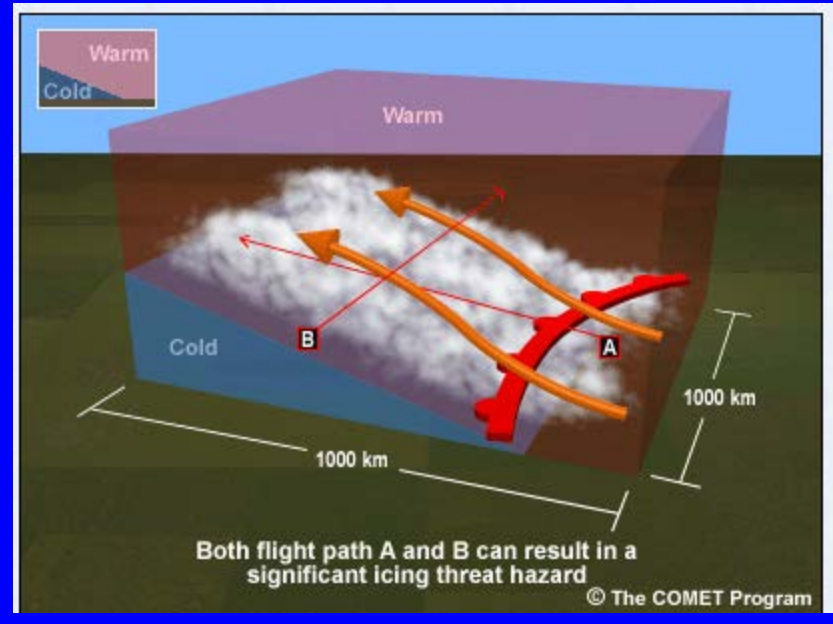
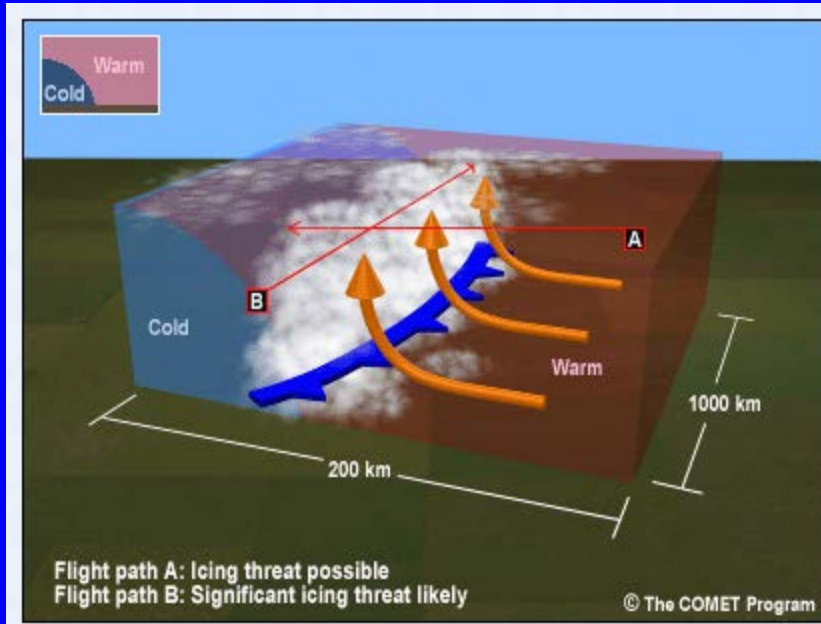
Ascenso Suave vs. Ascenso Forzado

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.

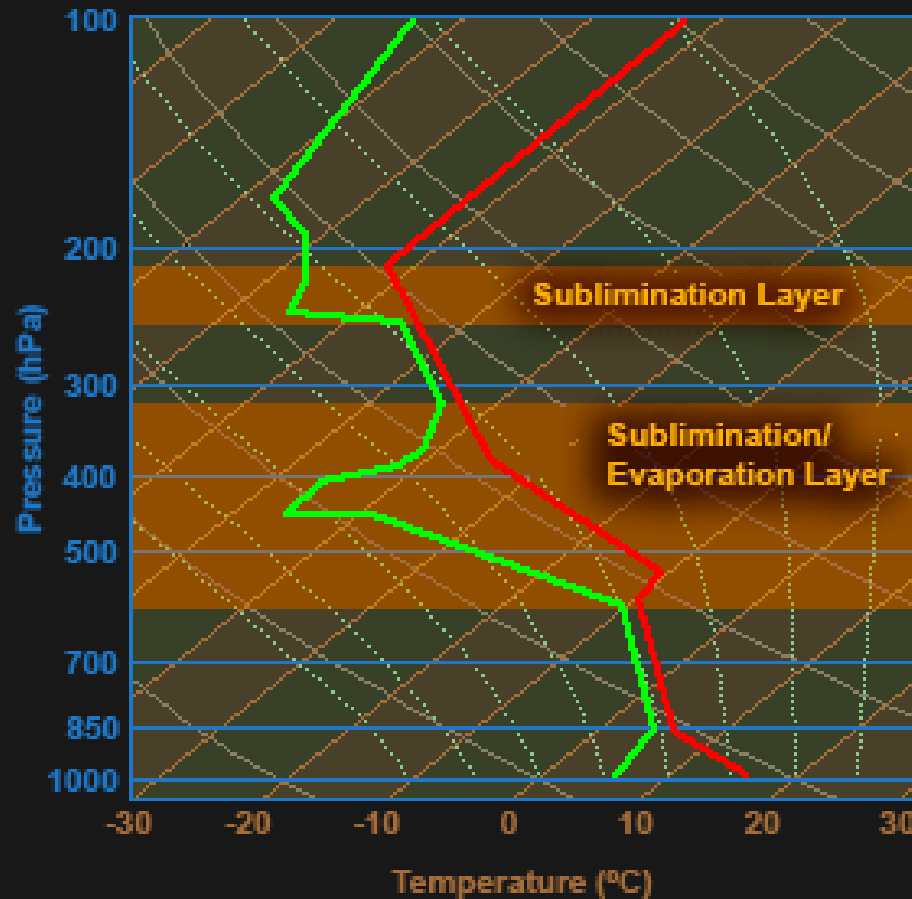
Definiciones

- **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°C y -42°C
 - En temperaturas mayores a -12°C a -15°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



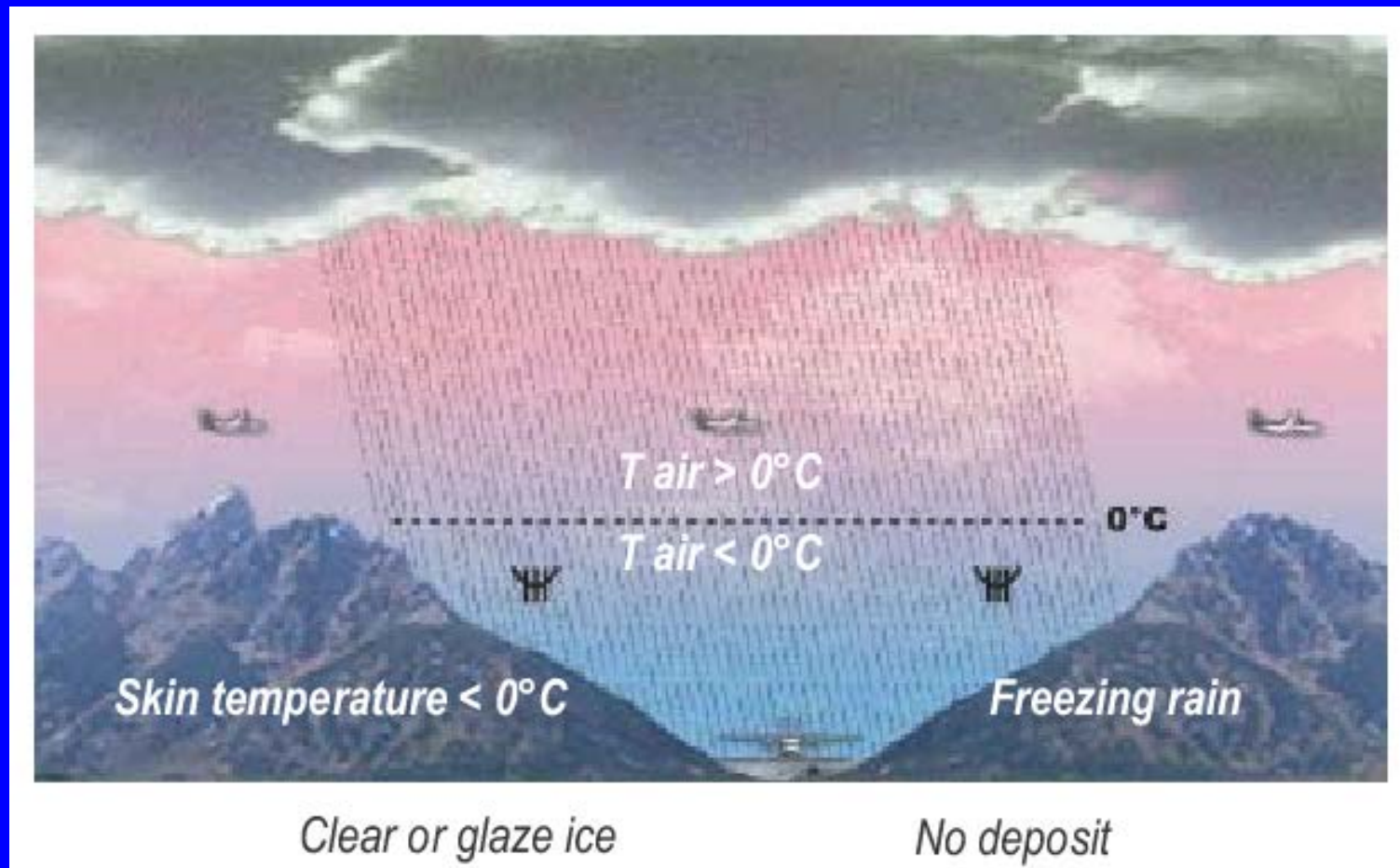
Lluvia Súper-Enfriada/Engelante

- 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

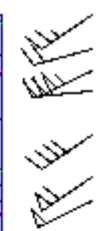
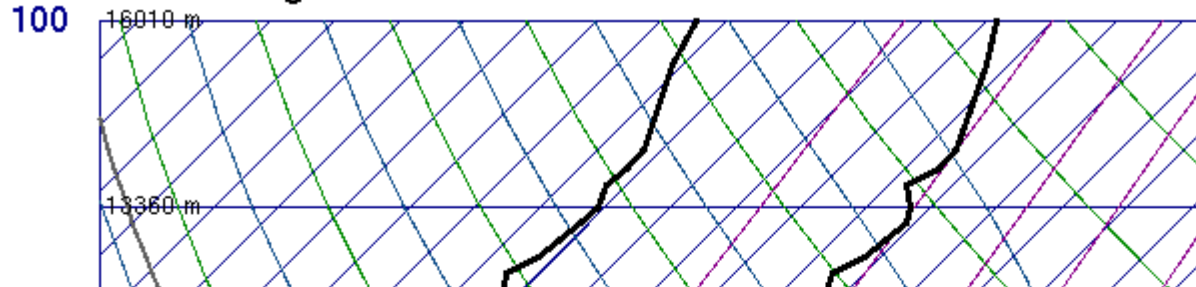
- Saturación
- Temperatura de la columna $< 0\text{C}$
- Temperatura de la nube $> -12\text{C}$
 - Si la temperatura de la nube es menor de -12C , cristales de hielo tienden a prevalecer, facilitando la transición a nieve

Lluvia Engelante



Determine tipo de precipitación:

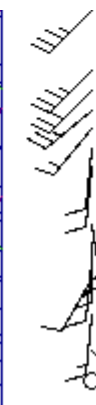
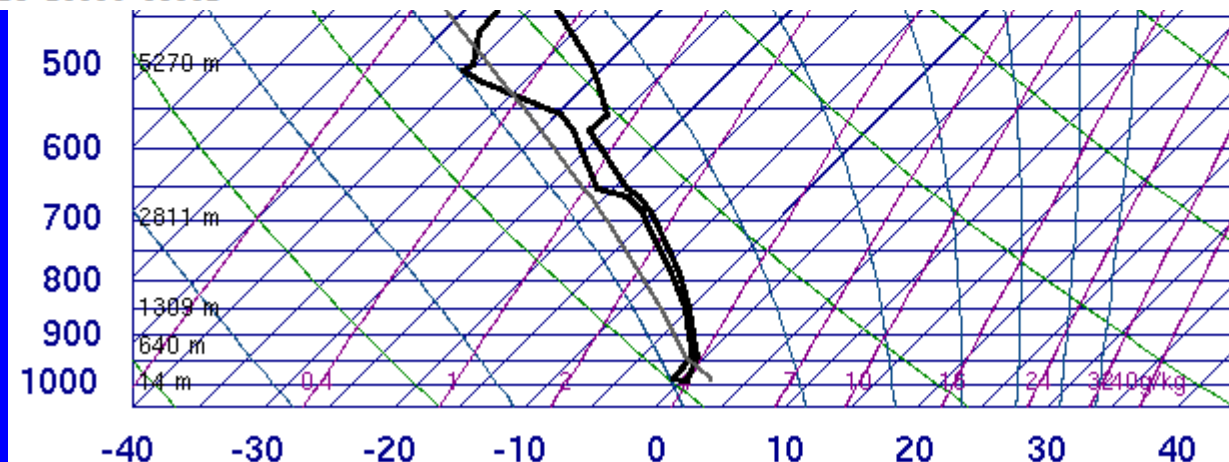
72403 IAD Sterling



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 26.88

```

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
    
```

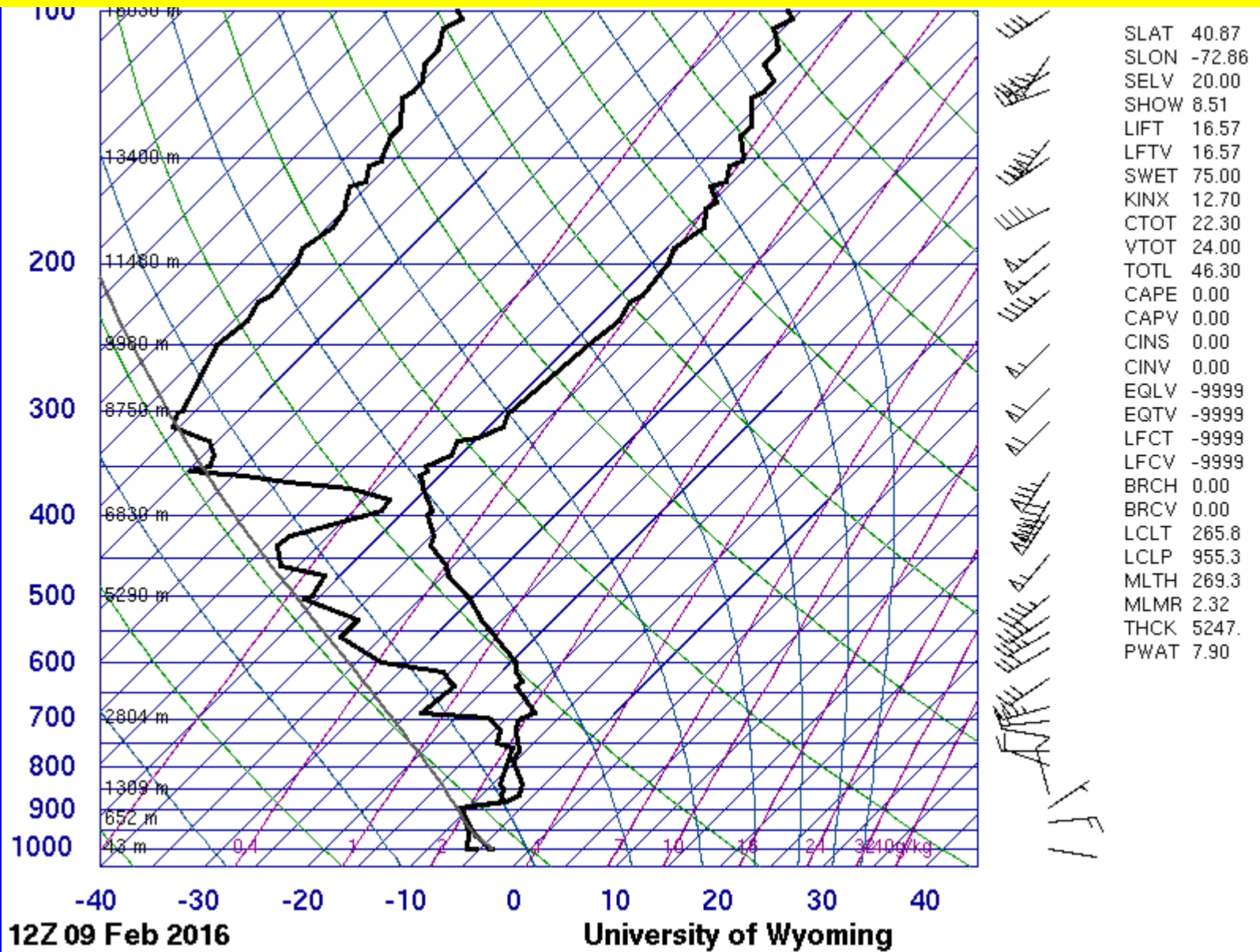


LCLP 950.1
 MLTH 276.0
 MLMR 3.74
 THCK 5256.
 PWAT 10.82

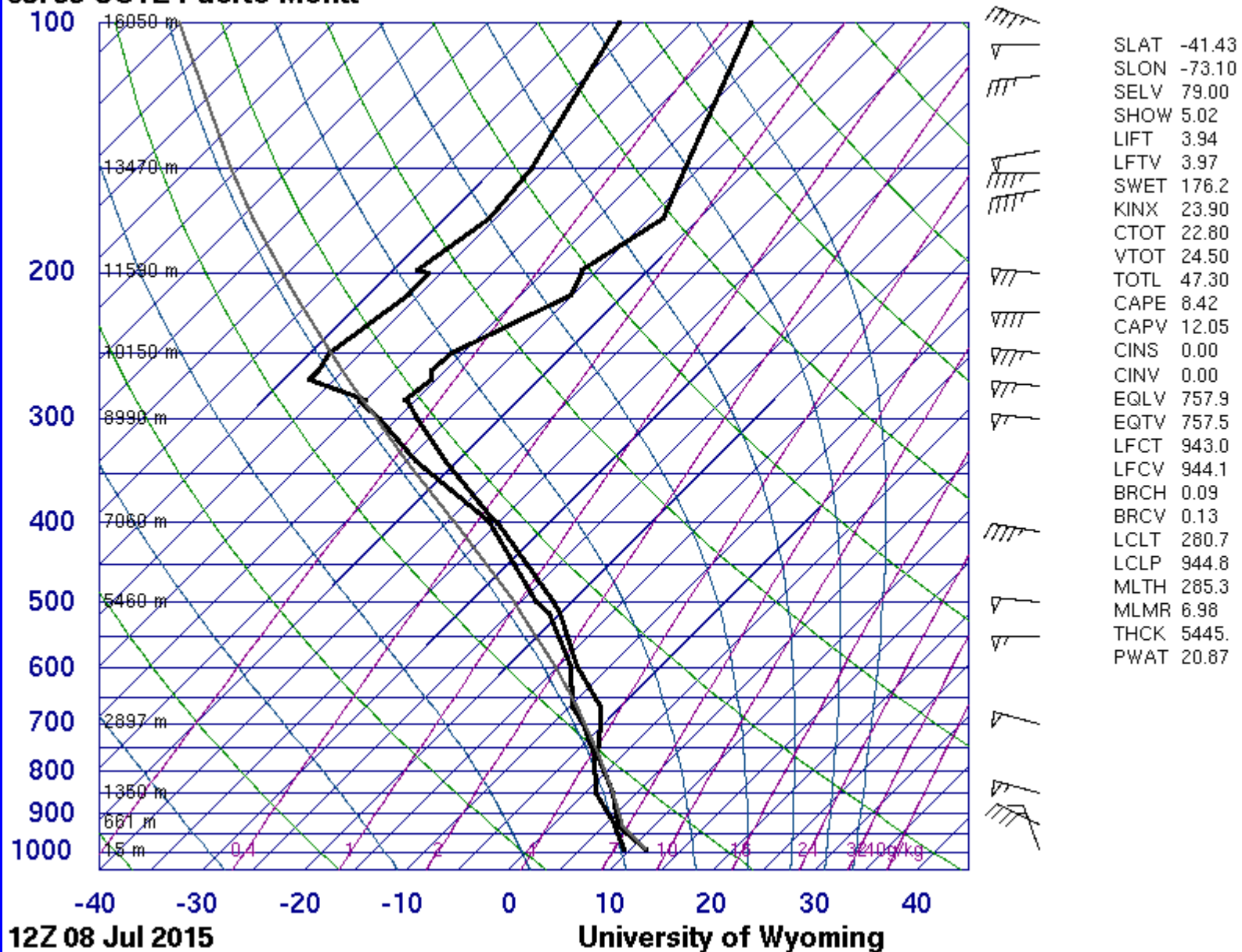
12Z 09 Feb 2016

University of Wyoming

Determine tipo de precipitación:



Determine tipo de precipitación:

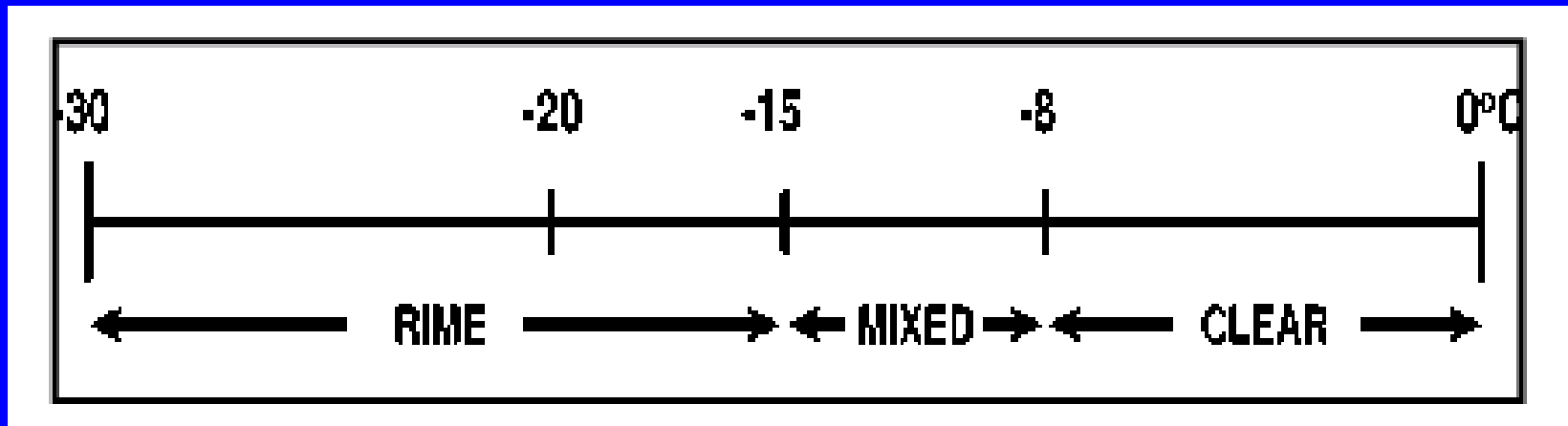


Impacto de la Temperatura en Condiciones Engelantes

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/m³)

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



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

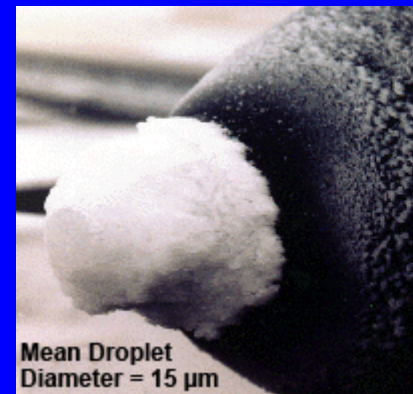


(C) $d = 26 \mu\text{m}$

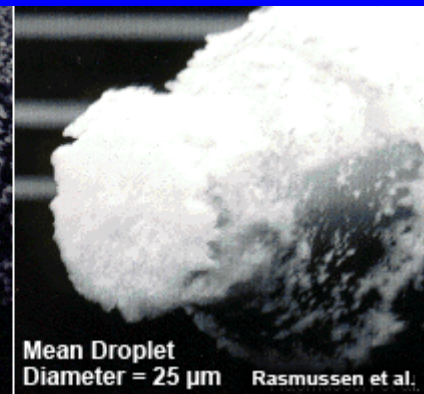


Mean Drop Size (d) vs Ice Accretion

Modified from Shin

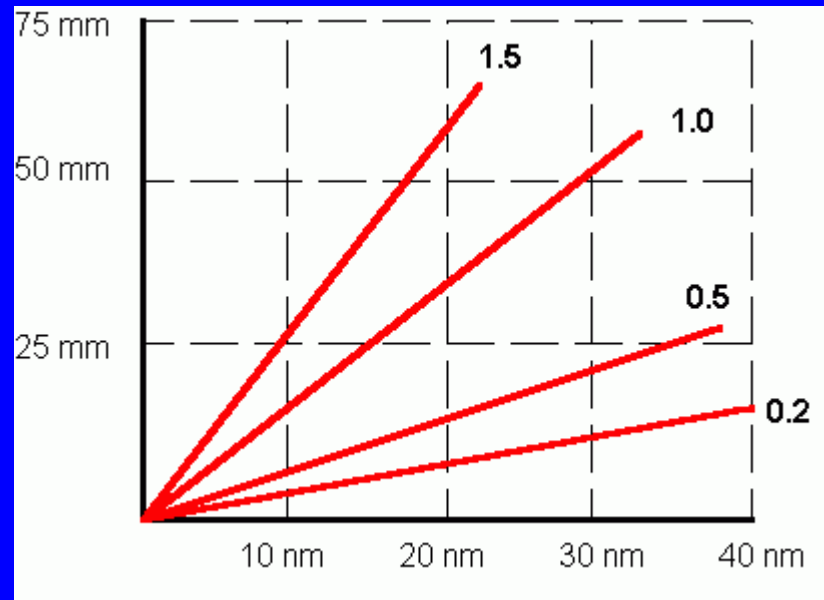


Mean Droplet
Diameter = 15 μm



Mean Droplet
Diameter = 25 μm Rasmussen et al.

Acumulación de Hielo por Distancia



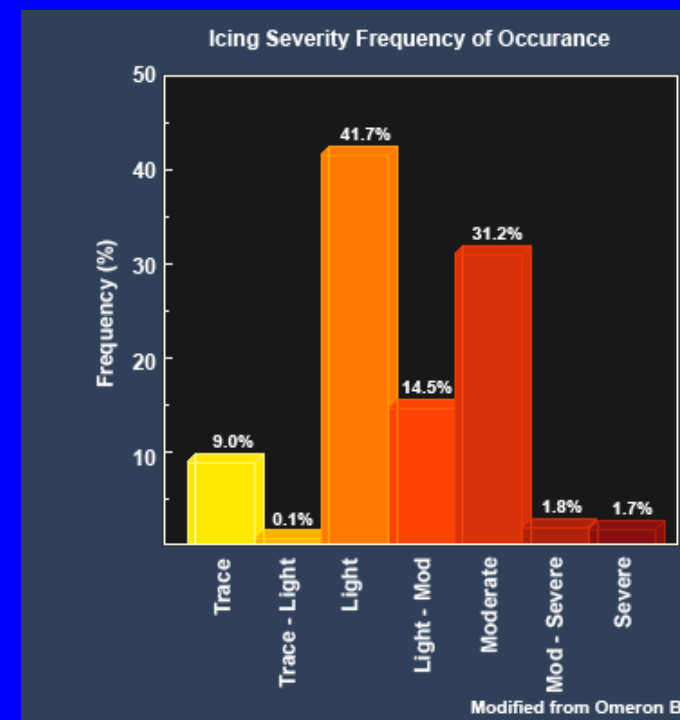
En el diagrama se ve la relación de que cantidad, en mm, de hielo se va a acumular por distancia (millas náuticas) en nubes, y dependiendo del contenido de agua líquida. Esto es en nubes con un contenido de agua líquida entre 0.2 g/m^3 y 1.5 g/m^3 .

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 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 g/m^3
 - Cambio de rumbo es deseado.
- **Severa**: mas de 1.0 g/m^3
 - Cambio de rumbo sin demora.

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



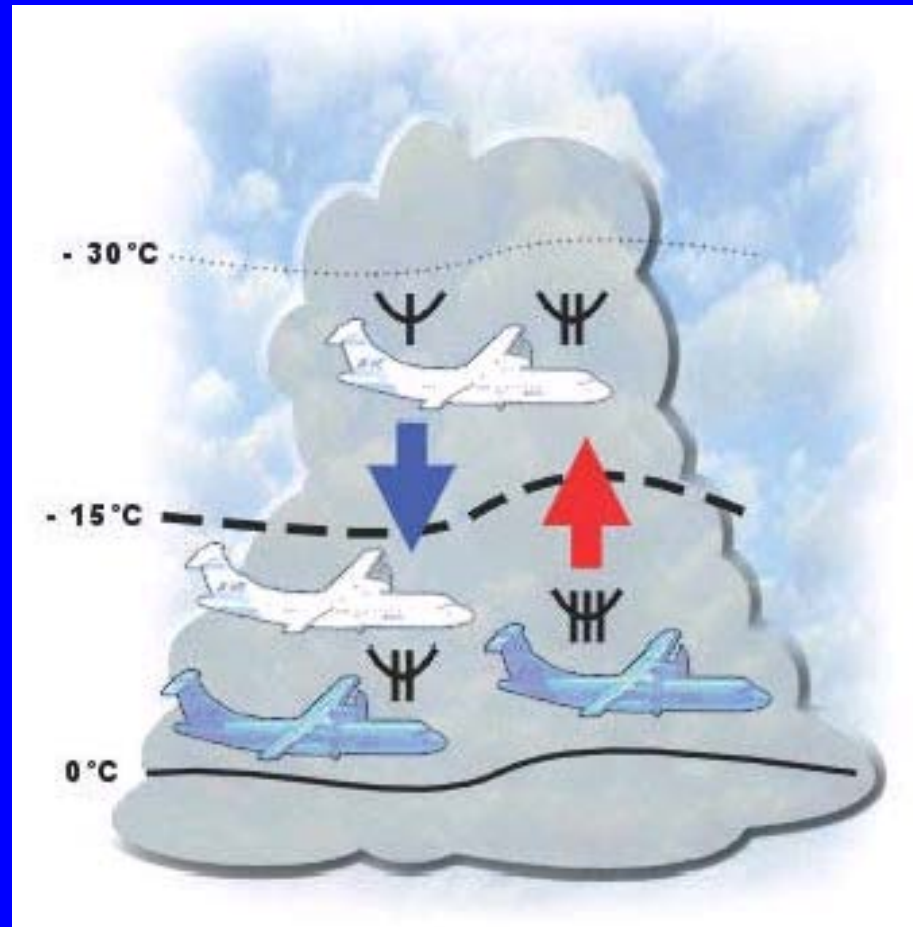
Tipos de Hielo

- 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

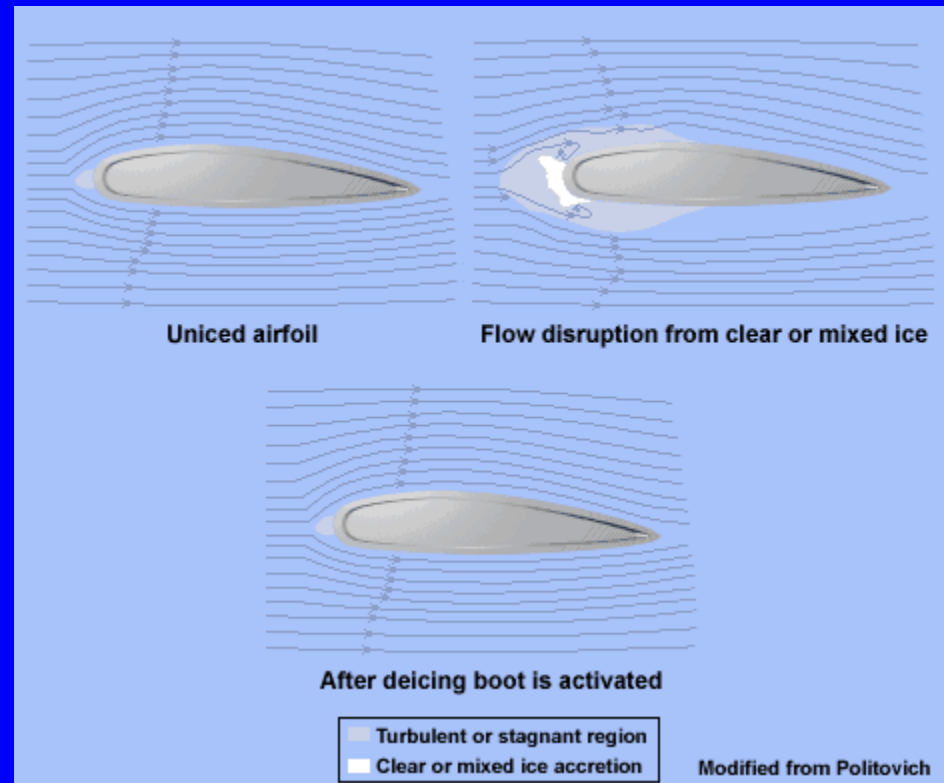
- Se observa en nubes convectivas/cumuliforme, donde las gotas mas grande de agua súper enfriada se tardan mas en congelarse.
 - Las gotas se extienden, o despliegan, sobre la superficie y forman hielo claro.
- Hielo de alta **acumulación**, no se recomienda mantenerse por largos periodos dentro de este 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

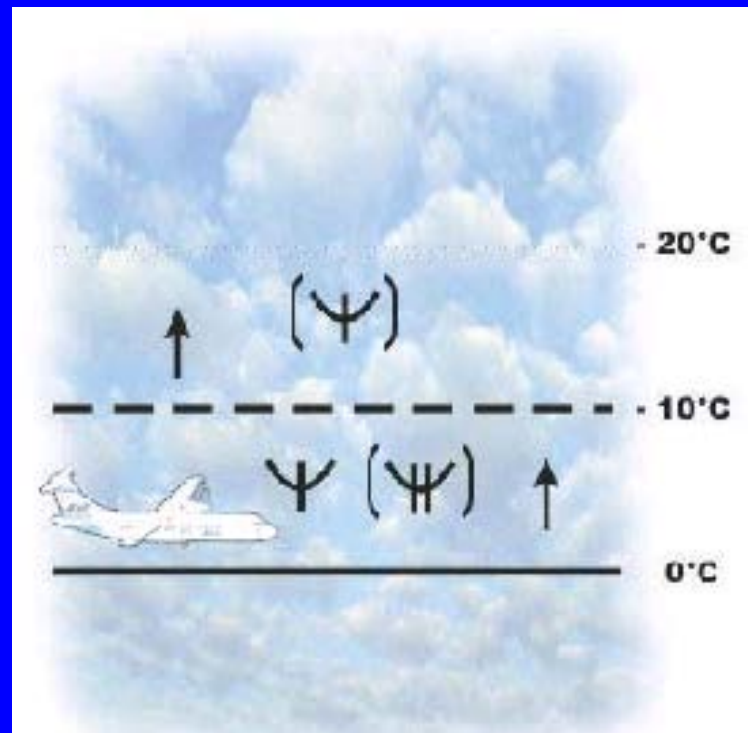
- Se acumula a lo largo del ala.
- Perturba el flujo y crea resistencia.
- Difícil de remover



Escarcha - Rime

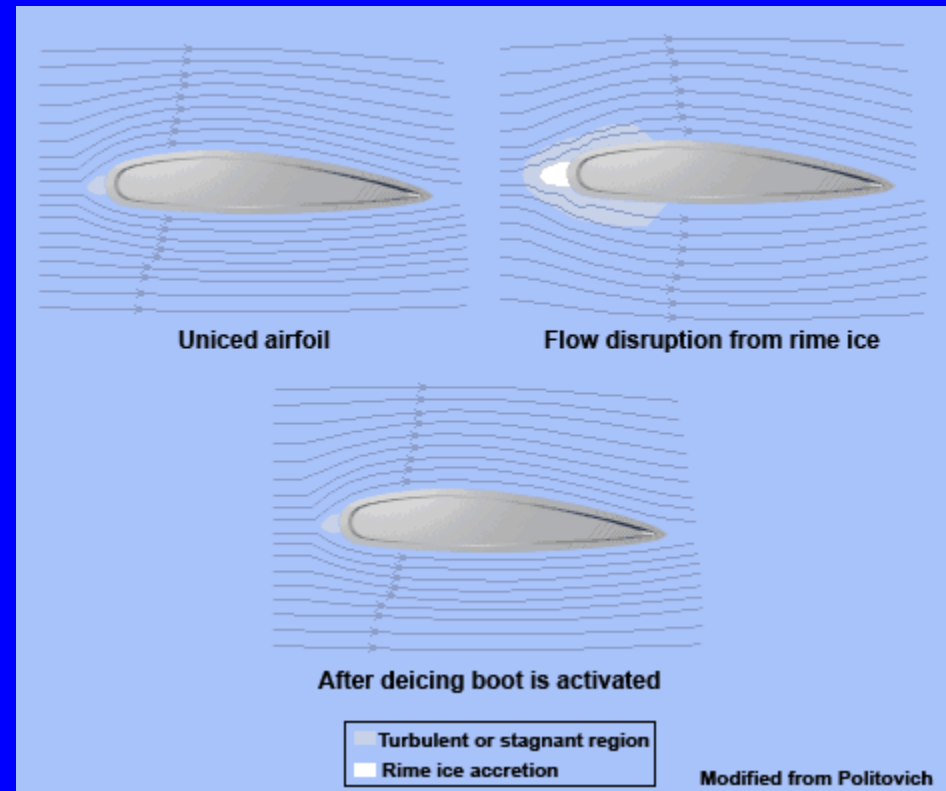
- En nube estratiforme, gotas pequeñas de agua súper enfriada tienden a instantáneamente congelarse en contacto.
 - Atrapando burbujas de aire en el proceso
- Hielo áspero/rugoso y opaco que se acumula en el filo del ala.
- En las condiciones estable de una masa estratiforme, hielo se forma en el rango 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

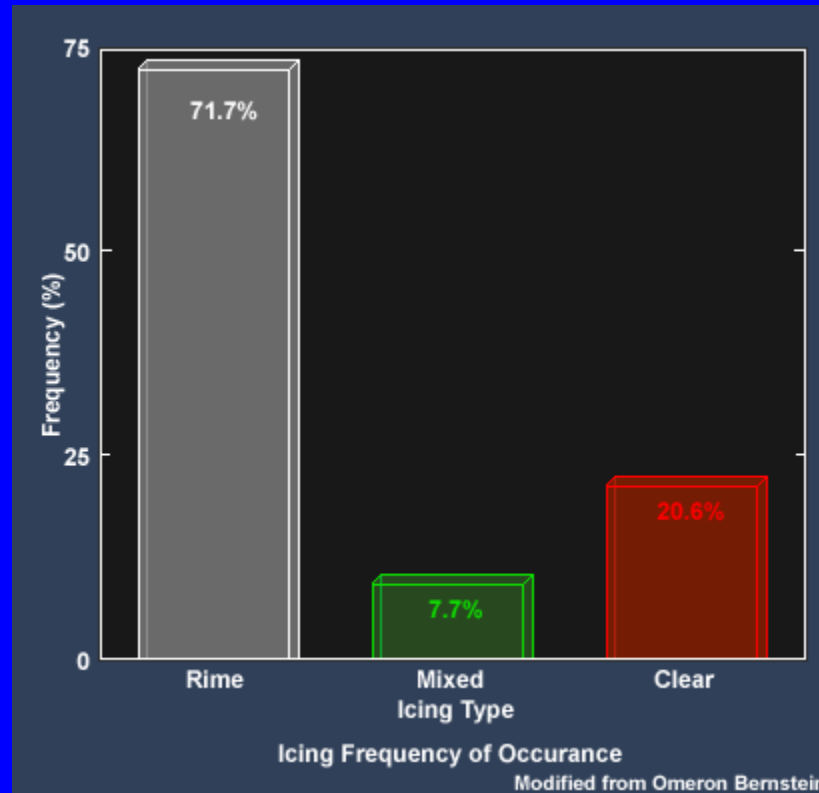


RIME

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



Frecuencia y Ocurrencia



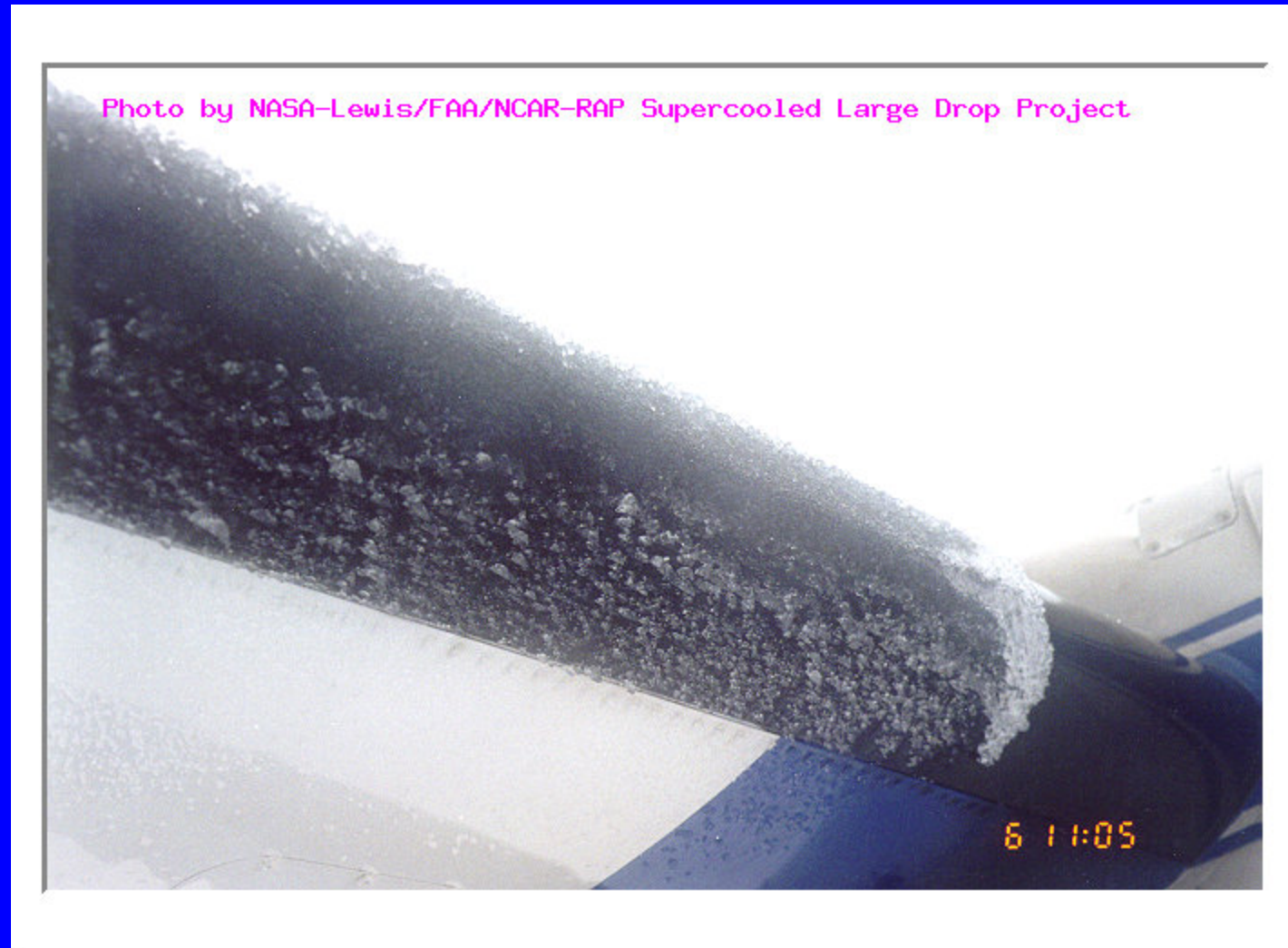
Vuelo en Nevadas

- 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

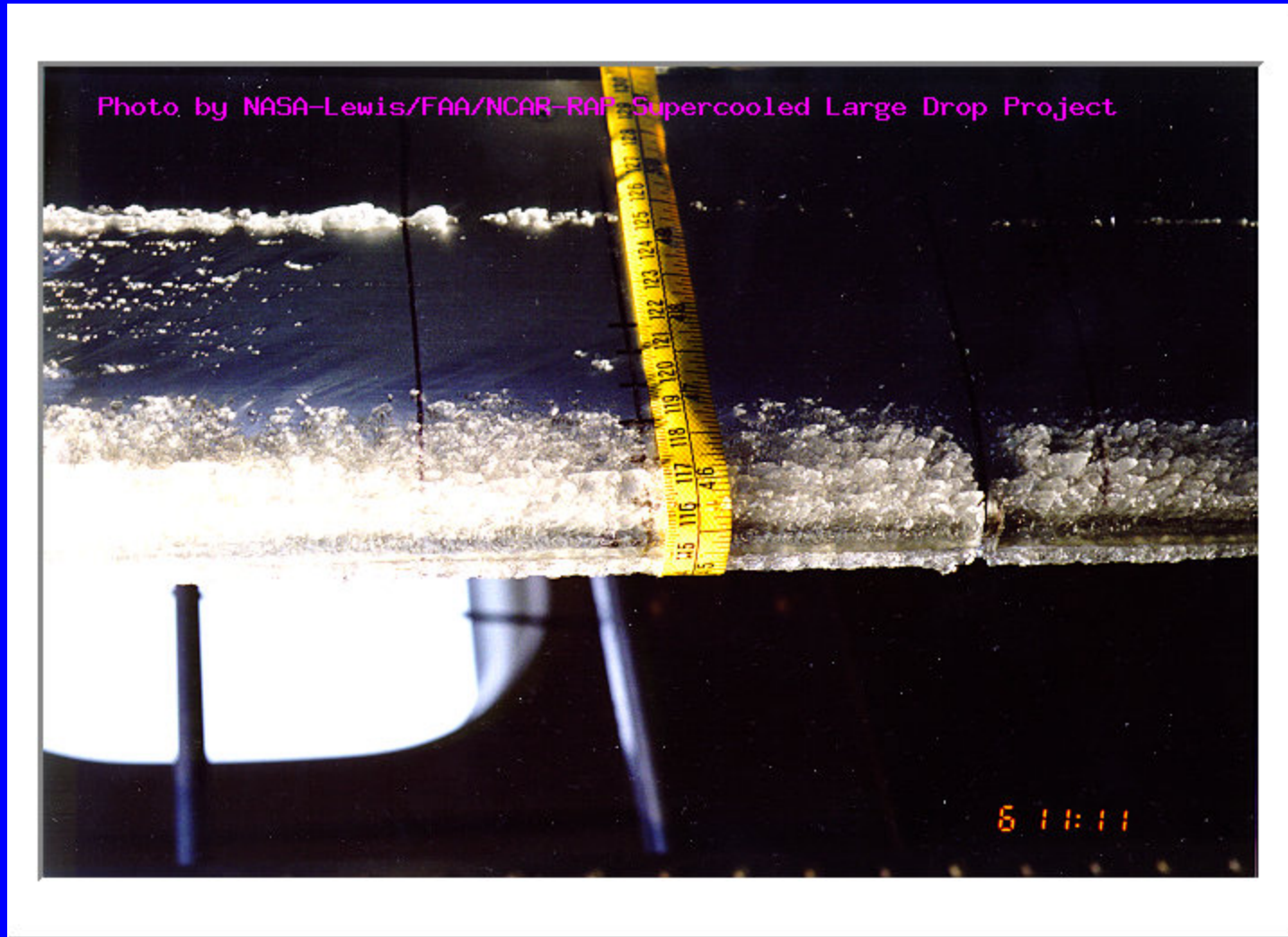
- **Ci, Cs y Cc:** Englamamiento es bien raro, y ligero a escaso de ocurrir.
- **Ac, As y St:** Englamamiento ligero a moderado, de tipo rime
- **Sc:** Rime moderado
- **Ns:** Rime moderado a severo, hielo claro o mixto.
 - La extensión vertical del **Ns**, mas el **As** en la nube, puede llegar entre 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



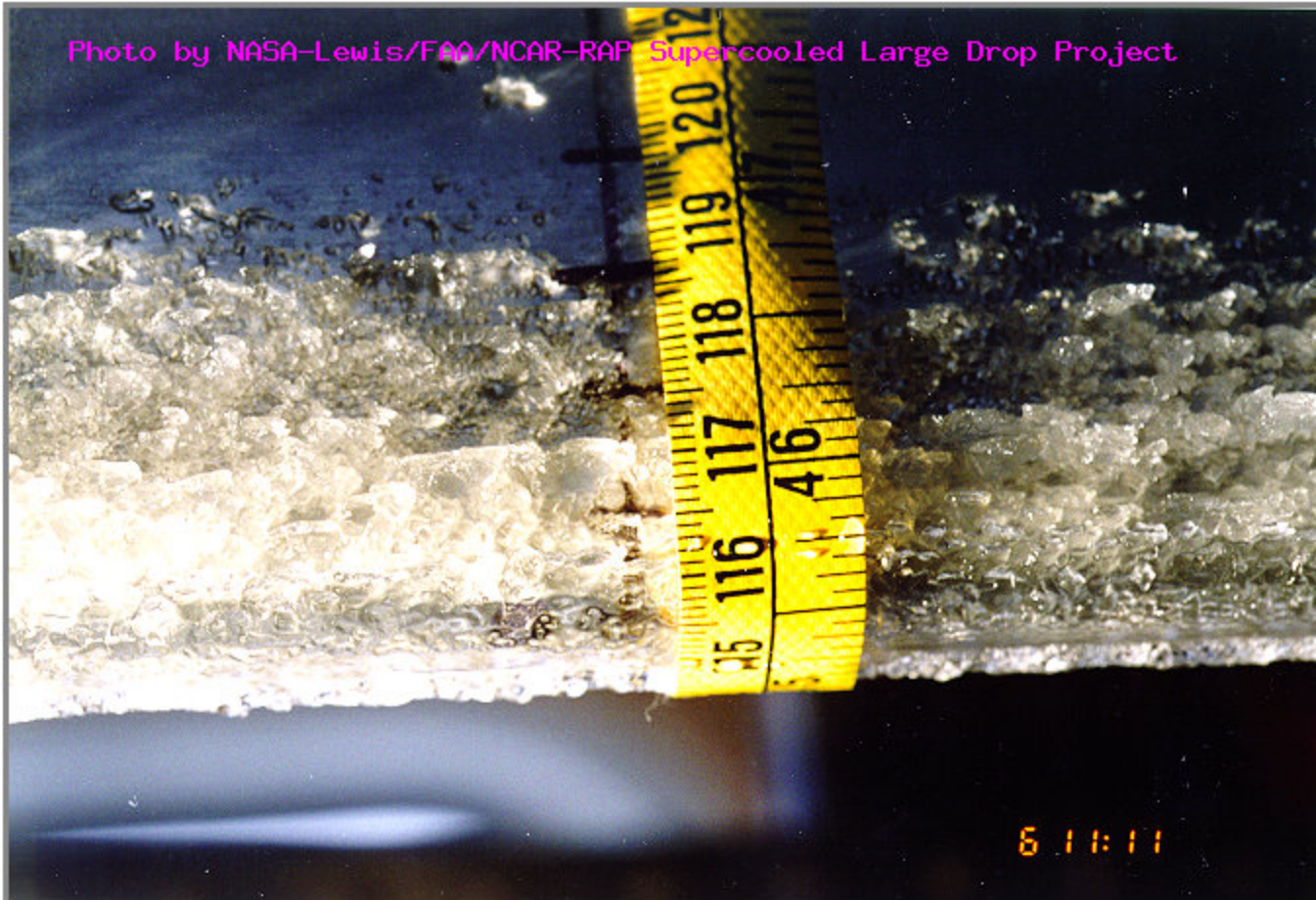
Hielo claro, o posiblemente mixto, en la ala de un avión de investigación de la NASA. Fíjese en la gran acumulación en el filo del ala, y por debajo de la misma.

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 Englamiento

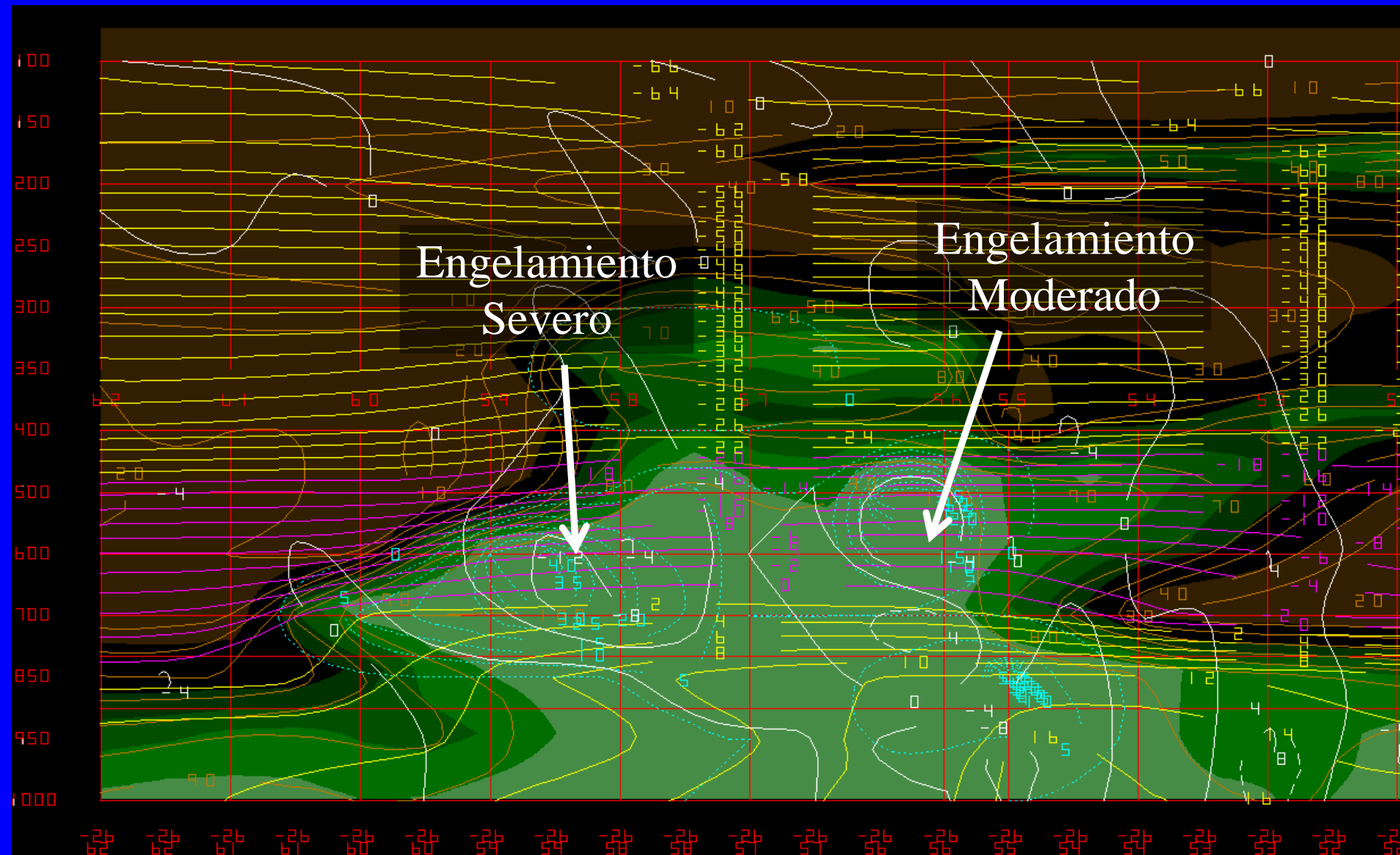
Temperatura	T-Td	Advección	Pronostico	Probabilidad
0C a -7C	$\leq 2C$	Neutra/Débil Fría	Trazo	75%
		Fuerte Fría	Ligero	80%
-8C a -15C	$\leq 3C$	Neutra/Débil Fría	Trazo	75%
		Fuerte Fría	Ligero	80%
0C a -7C	$\leq 2C$	Ninguna	Ligero	90%
-8C a -15C	$\leq 3C$	Se asocia a área con fuertes formaciones de Cu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

Herramientas Para el Pronostico

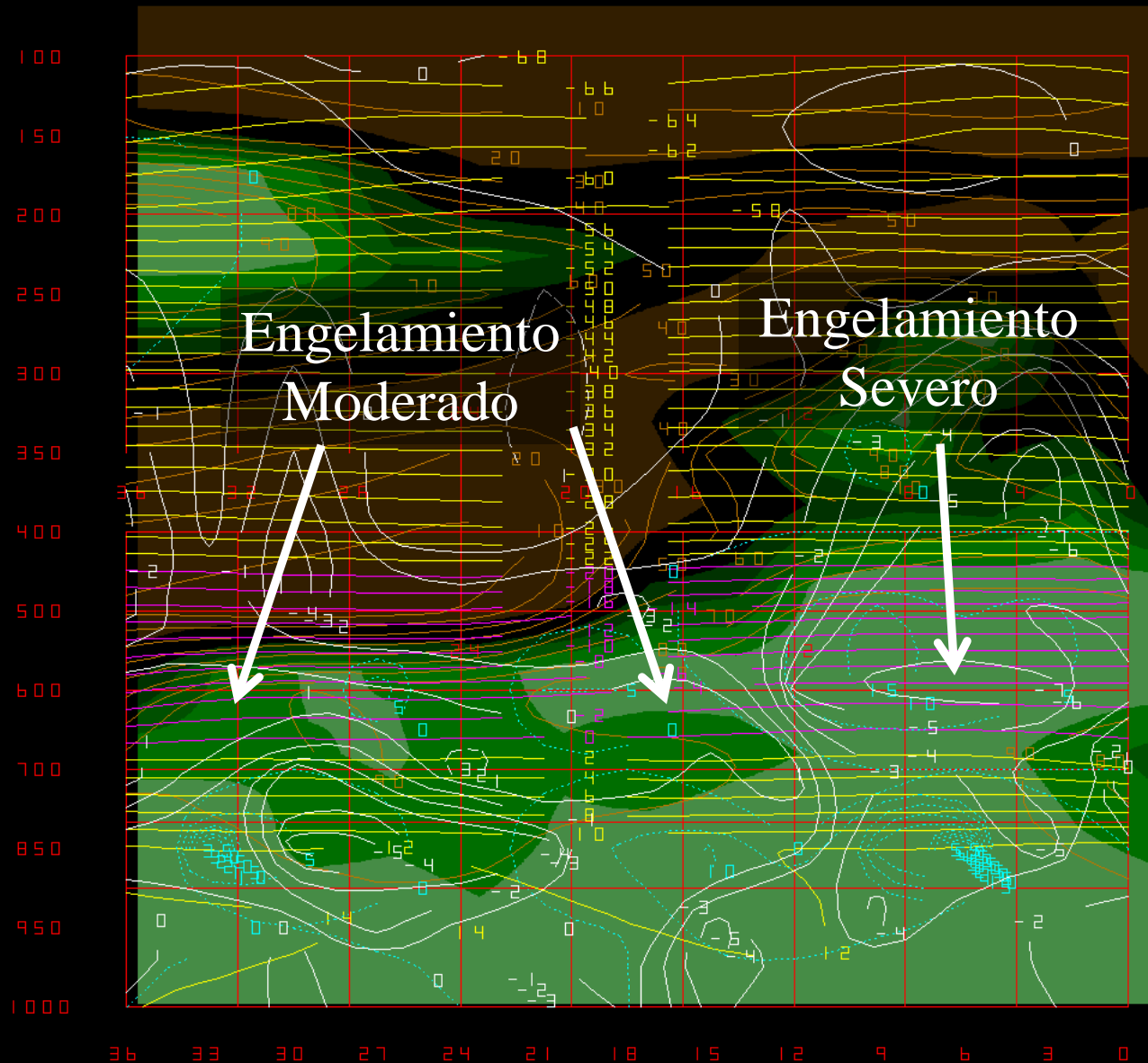
Temperatura y Humedad Relativa

- **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

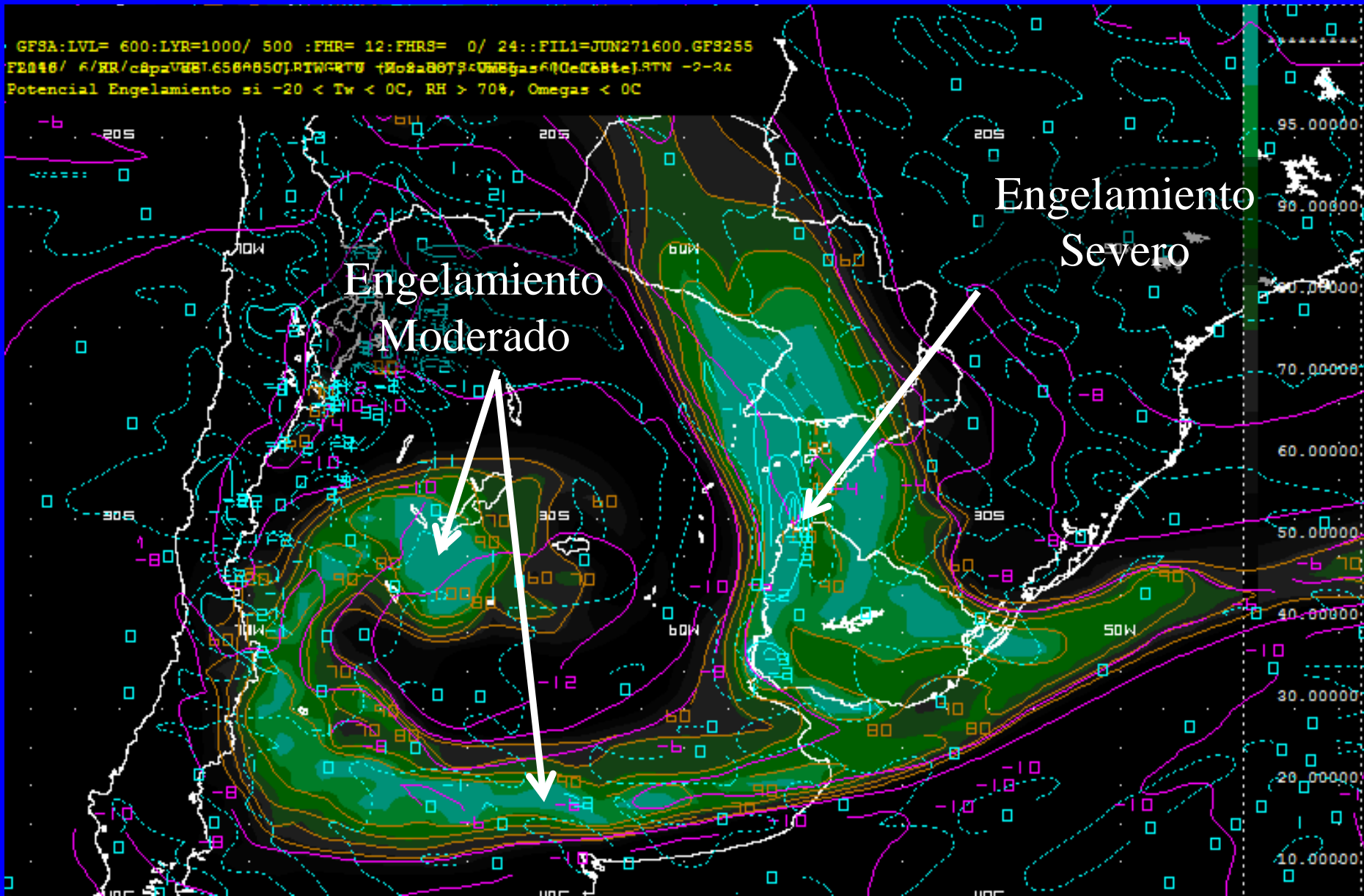


Rosado: Tw entre 0 y -20C

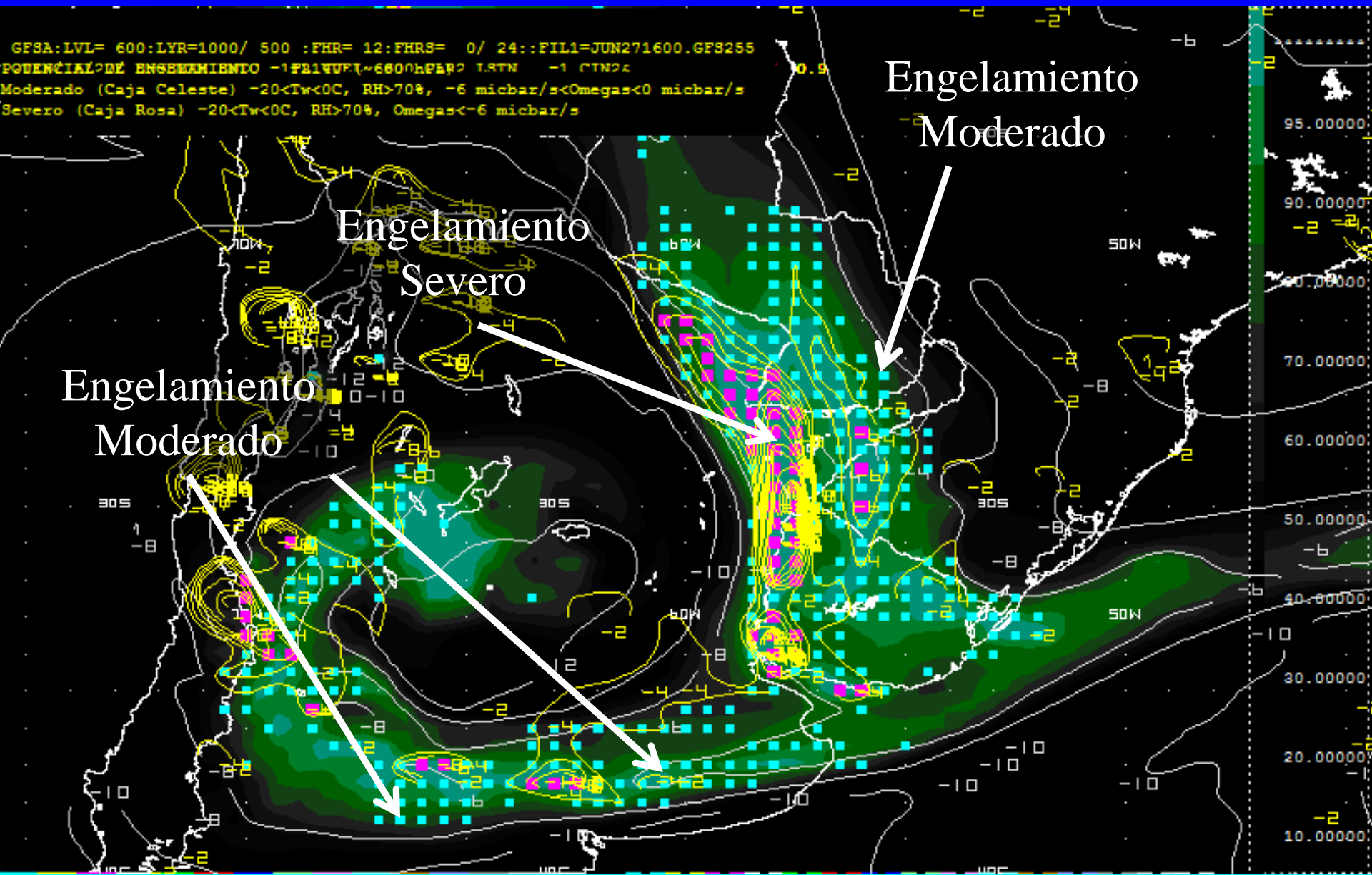
HR: en Verde

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 g/m^3

- Omegas Negativos

- **Criterio:**

- Moderado si contenido de agua 0.6 a 1.0 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

