



NOTAS DEL PROYECTO

¿QUÉ APARATOS HEMOS SUBIDO?

- Un dispositivo del internet de las cosas -LoraWAN- con GPS y sensores de temp., humedad y presión.
- Una radio sonda APRS con GPS, sensor de temp. y presión.
- Un "logger SD" con GPS y sensores de temp. , presión y humedad.
- Un contador de muones.
- Dos cámaras de acción.
- Una cámara FPV con su transmisor.
- Un dispositivo con GPS con capacidad para conectarse a la red móvil (SMS).

¿QUÉ HEMOS LOGRADO?

- Subir el globo y su carga a una altitud de 26300m y recuperar su carga.
- Conectarnos a internet casi en la totalidad del vuelo, teniendo accesibles la localización y la telemetría en la plataforma Cayenne del internet de las cosas.
- Seguir la posición, altitud, velocidad y otros datos de telemetría cada 10s durante el vuelo en la página www.aprs.fi.
- Registrar datos de GPS, temp. exterior, temp. interior, presión y humedad.
- Registrar el número de muones detectados.
- Registrar imagen del horizonte antes, durante y después del vuelo.
- Transmitir video en vivo durante los primeros 6000 m de ascenso.
- Que la carga nos mandara un SMS con su posición al aterrizar.

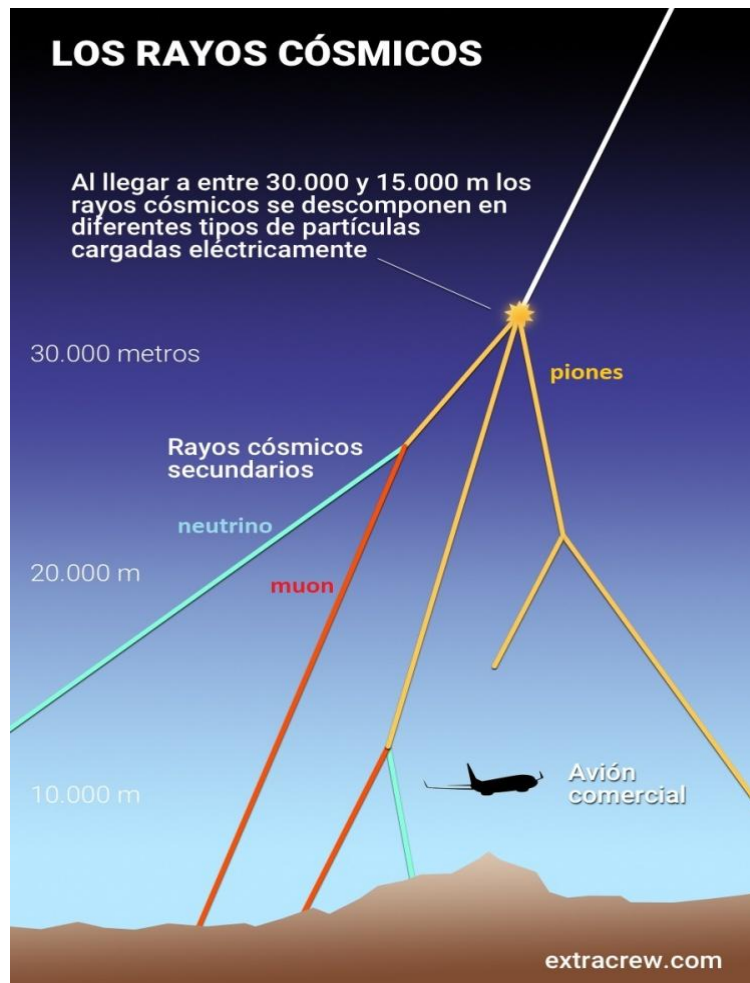
¿QUÉ HEMOS COMPROBADO?

- ✓ Que la tierra es una esfera.
- ✓ Que cuando estamos a gran altura vemos muy lejos y nuestras comunicaciones llegan muy lejos (la distancia al horizonte aumenta).
- ✓ Que los gases de la troposfera le dan su color azul.
- ✓ Que en la tropopausa la temperatura mínima es menor de -55°C.
- ✓ Que cuando nos adentramos en la estratosfera la temperatura aumenta.
- ✓ Que a medida que subimos la presión baja.
- ✓ Que a gran altura no hay prácticamente humedad.
- ✓ Que la radiación cósmica detectada aumenta con la altitud.
- ✓ Que a gran altitud los paracaídas no paran la caída.

MUONES Y ESTRATOSFERA

El muón es una **partícula elemental**, lo que significa que no se descompone en otras partículas. Actualmente solo se encuentra en los rayos cósmicos y en los laboratorios. No existe de forma permanente en el universo, pues su existencia es muy efímera (2,2 microsegundos).

Los **muones se crean** a partir del choque de los rayos cósmicos (que están compuestos en gran parte por protones de mucha energía) con los núcleos de los átomos de la atmósfera (principalmente en la capa de ozono de la estratosfera).



El tiempo de vida medio es de $2,2 \mu\text{s}$. La velocidad a la que se mueven en la atmósfera es cercana a la de la luz, por lo que pueden desplazarse unos 660 metros antes de desintegrarse. En consecuencia, es improbable que lleguen a la superficie terrestre desde las grandes alturas de la atmósfera en donde se producen.

Los muones pueden ser registrados de manera fiable por tubos Geiger. Para diferenciar los muones de otros eventos detectados por el tubo contador (p. ej. radiación α , β y γ) se aprovecha su muy buena penetración en materiales. Si dos tubos contadores responden casi simultáneamente a un evento entonces se puede afirmar con una muy alta probabilidad que un muón ha pasado por ellos. Este es el principio usado por nuestro contador de muones.

¿POR QUÉ EXPLOTA EL GLOBO CUANDO ESTÁ MUY ALTO?

A medida que los globos meteorológicos se alejan más de la superficie de la Tierra, la presión del aire alrededor del globo disminuye drásticamente. Según el aire se vuelve menos denso, el volumen del globo aumenta, por la expansión de helio de dentro, creando una fuerte tensión en sus paredes. Llega un momento que no hay presión fuera del globo que pueda contrarrestar la presión del helio interior y el látex se rompe.

¿CUANTO HELIO NECESITA UN GLOBO PARA SUBIR?

Un metro cúbico de helio puede subir 1 Kg de carga, pero OJO, el globo también es carga y lo tenemos que tener en cuenta, y las cuerdas, y el paracaídas....y al final la caja con los instrumentos y comunicaciones.

Si metemos mucho más helio del necesario el globo subirá muy deprisa, pero también explotará a una altitud inferior que si lo inflamamos menos. Para estos cálculos y otros disponemos de herramientas de simulación

<https://predict.habhub.org/>

¿POR QUÉ VEMOS MÁS LEJOS Y NUESTRAS COMUNICACIONES LLEGAN MÁS LEJOS ESTANDO MÁS ALTO?

Si la Tierra fuese plana y el relieve fuese plano, el horizonte estaría en el infinito. Pero esto no es así, por que la Tierra es una esfera y la distancia al horizonte depende de lo alto que sea o se sitúe el observador. Por eso si nos subimos a un punto alto veremos mucho más lejos y tendremos un mejor alcance radio.

En nuestro caso, el globo subió hasta los 26304m lo que nos da una visibilidad y un horizonte radio de más de 500Km, de ahí que se nos recibiese en la costa portuguesa (420km) o en Córdoba (330km). Si los transmisores hubiesen sido un poco más potentes habiéramos alcanzado más de 500Km.

Horizonte

Distancia del horizonte

¿Dónde está el horizonte?

Para un hombre de 1,80 metros situado al bordo del mar, el horizonte es de aproximadamente 4789 metros.

¿Cómo calcular la distancia al horizonte?

La siguiente figura de la derecha, vamos a tomar como la distancia del radio de la Tierra, el radio medio es de 6 371 kilómetros.

R = radio de la Tierra = 6 371 000 m

h = altura de la observación = 1,8 m

D' = Distancia del horizonte

$$D^2 + R^2 = (R + h)^2$$

$$D^2 + R^2 = R^2 + 2hR + h^2$$

$$D^2 = 2hR + h^2$$

$$D = \sqrt{2hR + h^2}$$

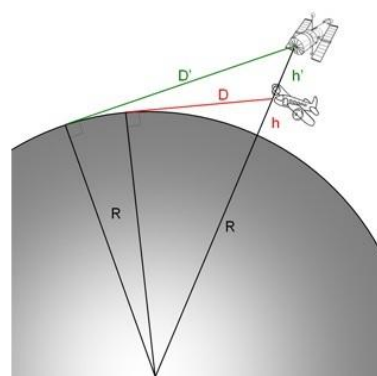
$$D = 4\,789,11 \text{ metros}$$

nota : Radio Ecuatorial de la Tierra = 6 378,137 km

Radio Polar de la Tierra = 6 356,752 km

Radio medio = 6 371,0 km

Altura del observador	Distancia del horizonte
1 m	3 569 m
1.80 m	4 789 m
5 m	7 981 m
10 m	11 288 m
20 m	15 963 m
50 m	25 240 m
100 m	35 696 m
500 m	79 820 m
1 km	112 884 m
5 km	252 457 m
10 km	357 099 m
20 km	505 212 m
50 km	799 749 m
100 km	1 133 225 m
200 km	1 608 850 m
500 km	2 573 130 m



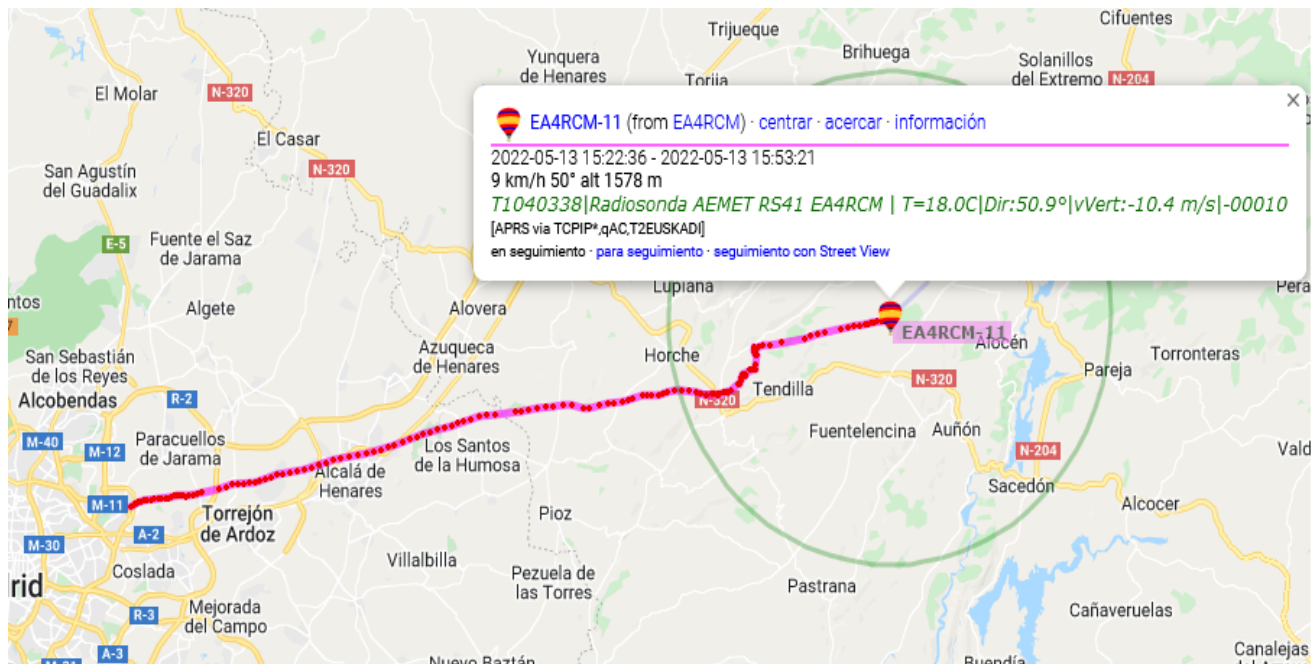
¿POR QUÉ LLEVAMOS DOS TRANSMISORES DISTINTOS PARA CONECTARNOS A INTERNET?

La principal razón para llevar transmisores LoraWAN y APRS es el principio que se aplica en la tecnología espacial: **redundancia** de sistemas. Siempre que se pueda es mejor llevar "uno de repuesto".

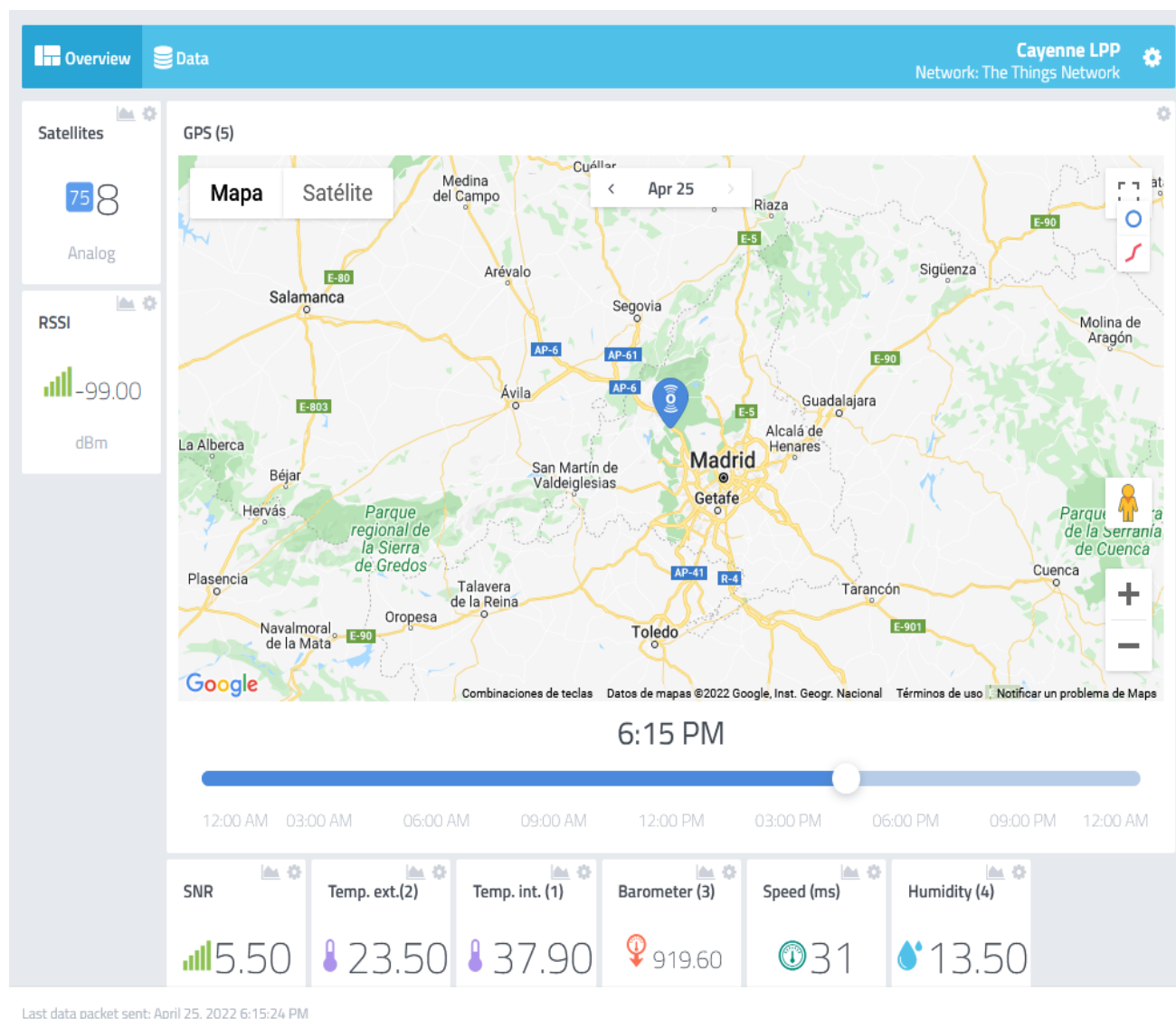
Lo normal es llevar uno de repuesto igual, pero nosotros decidimos llevarlos ligeramente diferentes para probar la tecnología LoraWAN, más reciente que la APRS.

¿QUE DIFERENCIAS HAY ENTRE LORAWAN Y APRS?

- ❖ **APRS** (Automatic Packet Reporting System) es un **sistema muy maduro** (desde 1984) basado en la red de radioaficionados en las frecuencias de 144 y 432 MHz. Al ser tan madura **tiene gran número de** iGates (**puntos de entrada a internet**) y digipeaters (repetidores de señal). Potencias típicas de transmisión van de 1 a 10 vatios (w).
- ❖ **LoraWAN** (Long Range Wide Area Network) es un **sistema relativamente nuevo** (desde 2012) de uso libre en la frecuencia de 868 MHz (Europa). El número y cobertura de sus Gateways **está aún en expansión**. La potencia de transmisión es de 0,25 vatio (w).
- ❖ **APRS está pensada únicamente para localización y seguimiento**, sus mensajes se limitan a llevar información de sensores de radiosondas meteorológicas. Se pueden enviar **información de seguimiento cada muy poco tiempo** (nosotros cada 10s).
- ❖ **LoraWAN está pensada para enviar información de todo tipo de sensores** además de posicionamiento. Se usa en granjas para control de animales, plantaciones, piscifactorías, industria, plantas o instalaciones remotas, aparcamientos, etc. Al ser una red gratuita no se debe abusar de su uso, se deben enviar **muy pocos datos y con poca frecuencia** (nosotros refrescábamos la información cada 2 minutos).
- ❖ **En APRS la información de seguimiento en internet está disponible para cualquiera.**
- ❖ **En LoraWAN, sólo el propietario del dispositivo puede ver la información** enviada por el mismo en internet.

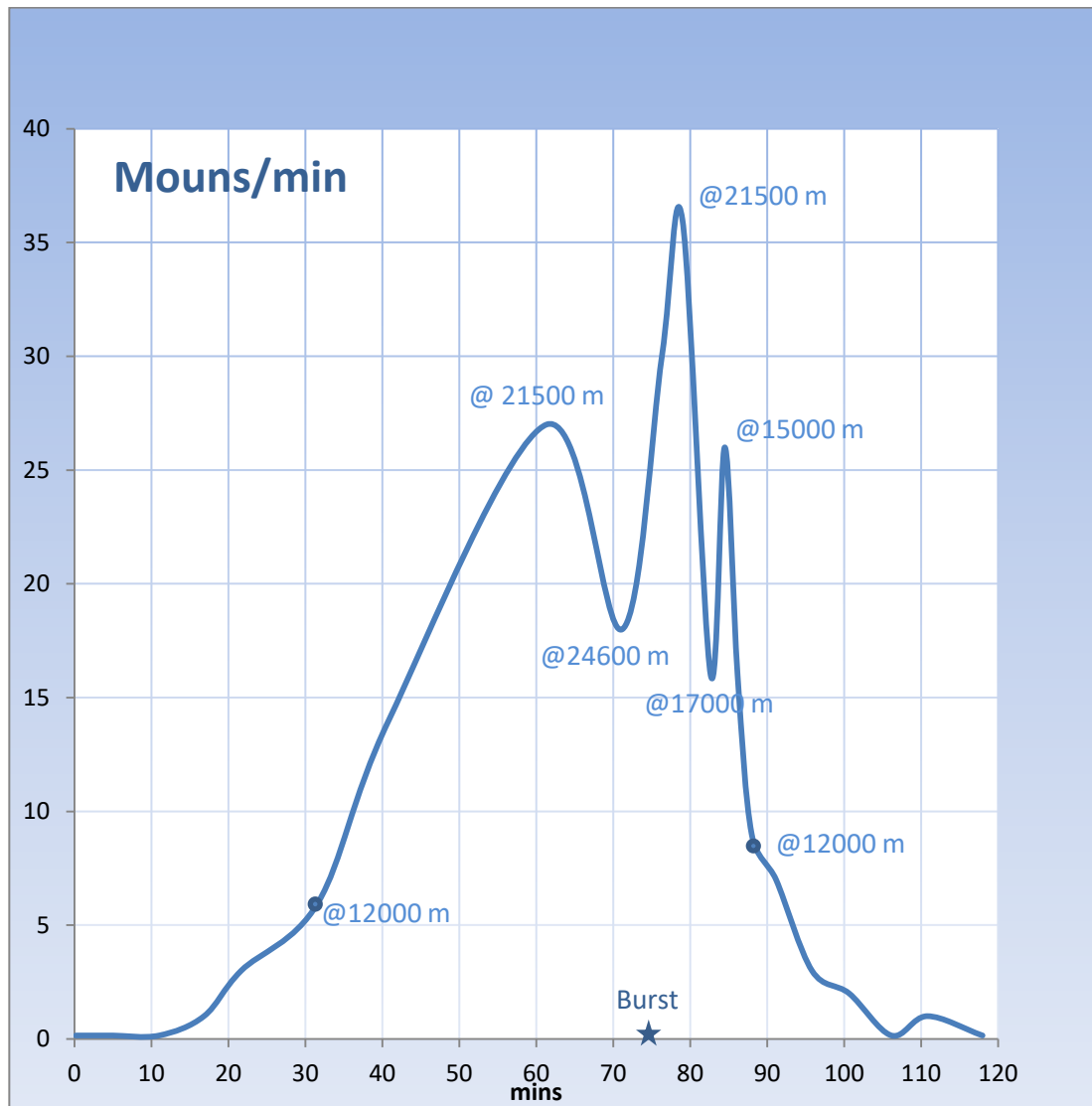


Información de seguimiento APRS



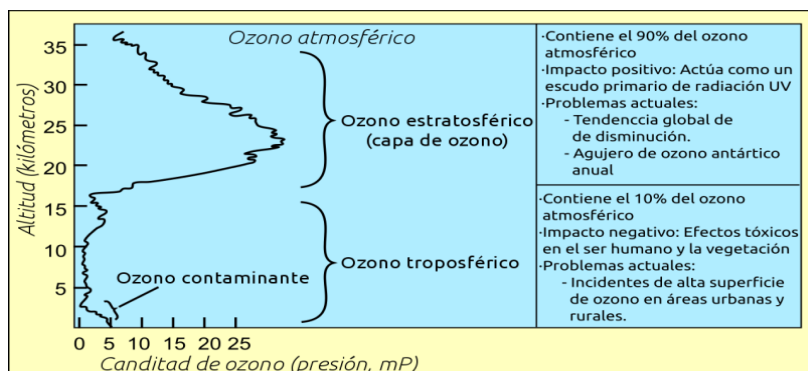
Información enviada por LoraWAN

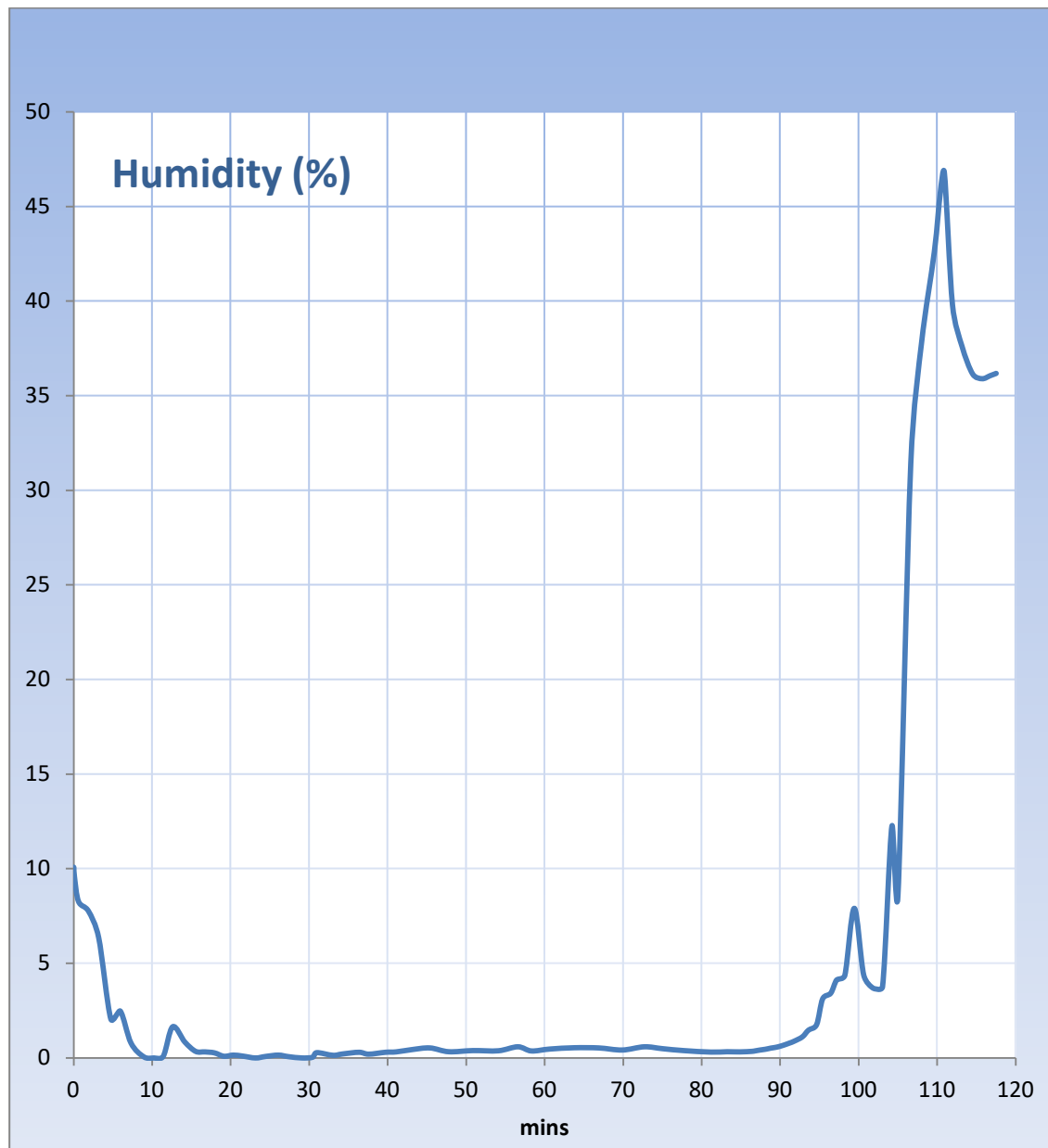
¿QUÉ HEMOS MEDIDO?



La gráfica muestra claramente un aumento de los muones detectados al alcanzar gran altitud. Curiosamente se aprecia que los valores alrededor de los 21500 m de altitud son superiores a los medidos en el máximo de altitud alcanzada. Esto se podría explicar con la gráfica de distribución de ozono en la estratosfera ya que la concentración de ozono alcanza su máximo aprox. a los 22000 m.

En cuanto a la **diferencia de las medidas a 21500 m en ascenso y en el descenso**, podría deberse a varios factores: un pico de radiación en ese -momento y zona- o un incremento de la concentración de ozono en la zona del descenso.



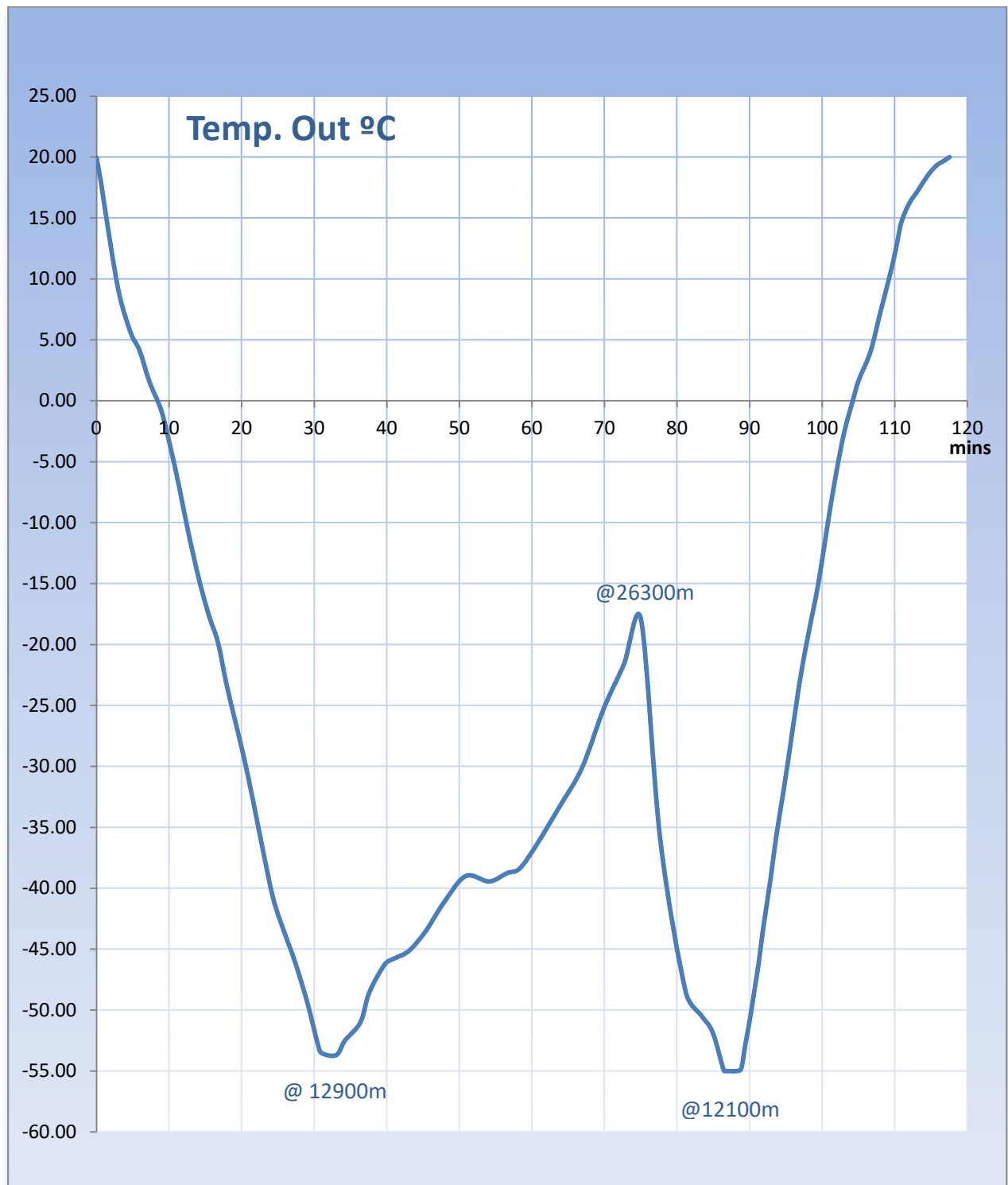


¿Por qué la humedad es tan baja en el lanzamiento y sube en el punto de aterrizaje?

El sensor de humedad está en el interior de la caja que, aunque no es perfectamente hermética, tiene poca ventilación. En el momento del lanzamiento el interior estaba recalentado por el Sol y por el transmisor de video (44°C) y esto hizo que la humedad bajase muchísimo respecto a la exterior. A la caída entró aire húmedo, se enfrió el interior de la caja y además cayó a 100m de un río.

La primera regla general es que a medida que aumenta la **temperatura**, el aire se vuelve más seco (la **humedad** relativa disminuye) y al disminuir la **temperatura**, el aire se vuelve más húmedo (la **humedad** relativa aumenta).

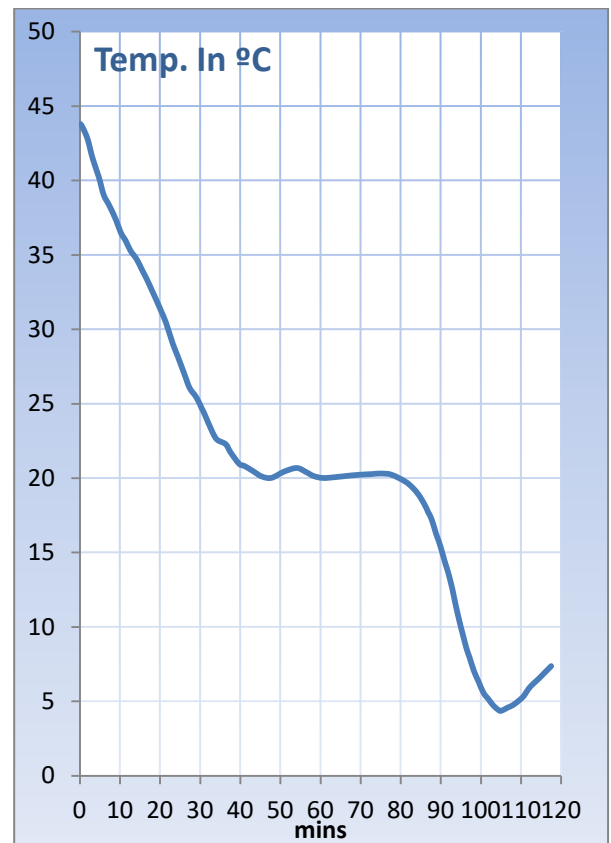
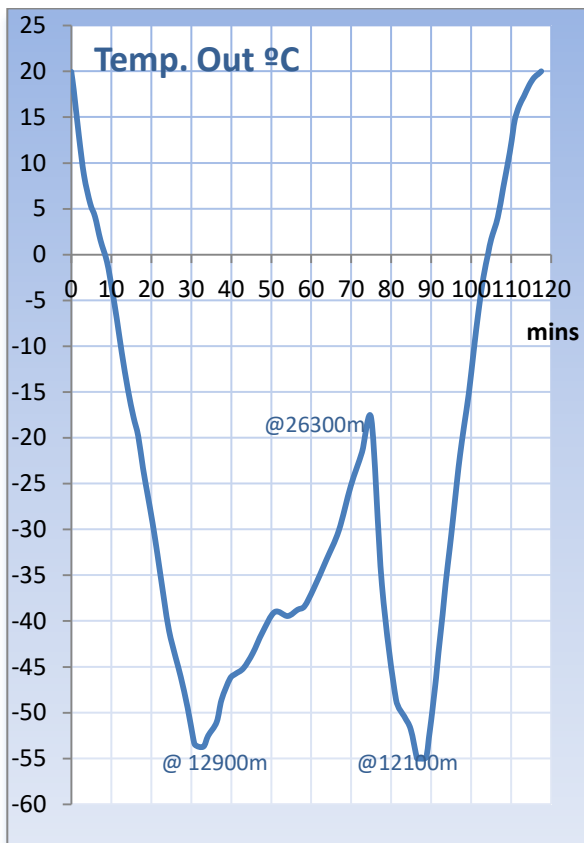
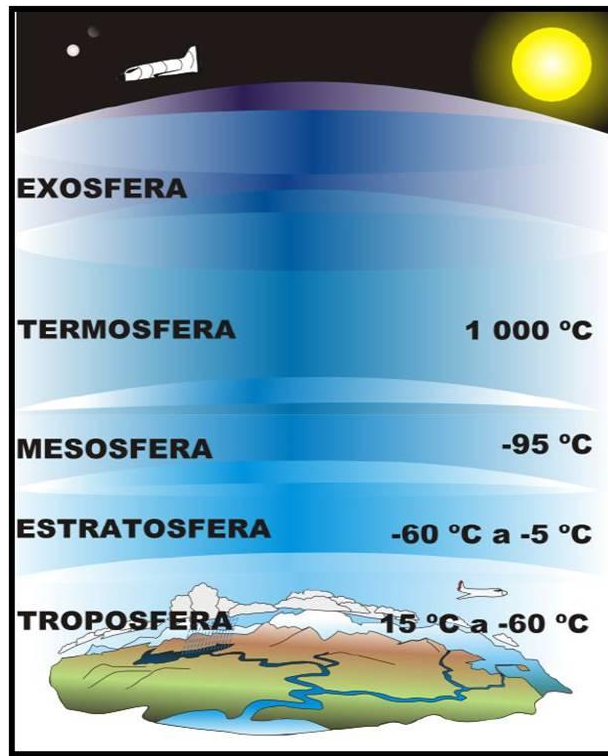
La parte plana de la gráfica, es perfectamente normal, ya que enseguida el globo alcanzo una altitud de 10000 metros (a los 25 mins) y en esas altitudes la humedad relativa es prácticamente 0. Esta altitud se volvió a alcanzar en el descenso a los 90 min.



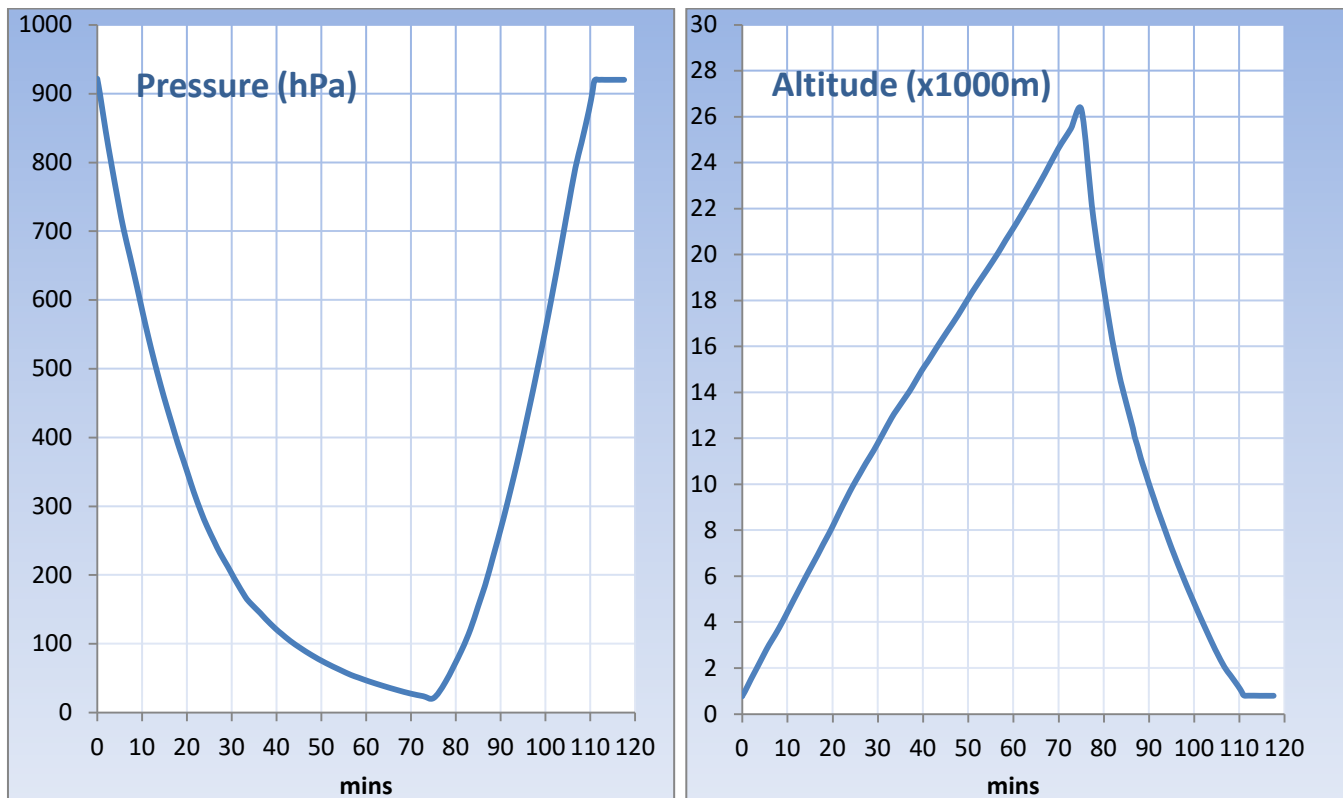
La temperatura del sensor externo es muy significativa y nos da información importante de hasta dónde llega la troposfera y donde comienza la estratosfera (tropopausa).

Por los picos de temperatura que rondan los -55 °C del ascenso (@12900 m) y del descenso(@12100 m) sabemos que la tropopausa está entre esas altitudes. Posiblemente la temperatura bajase de los -55°C ya que es la temperatura mínima para ese tipo de sensores.

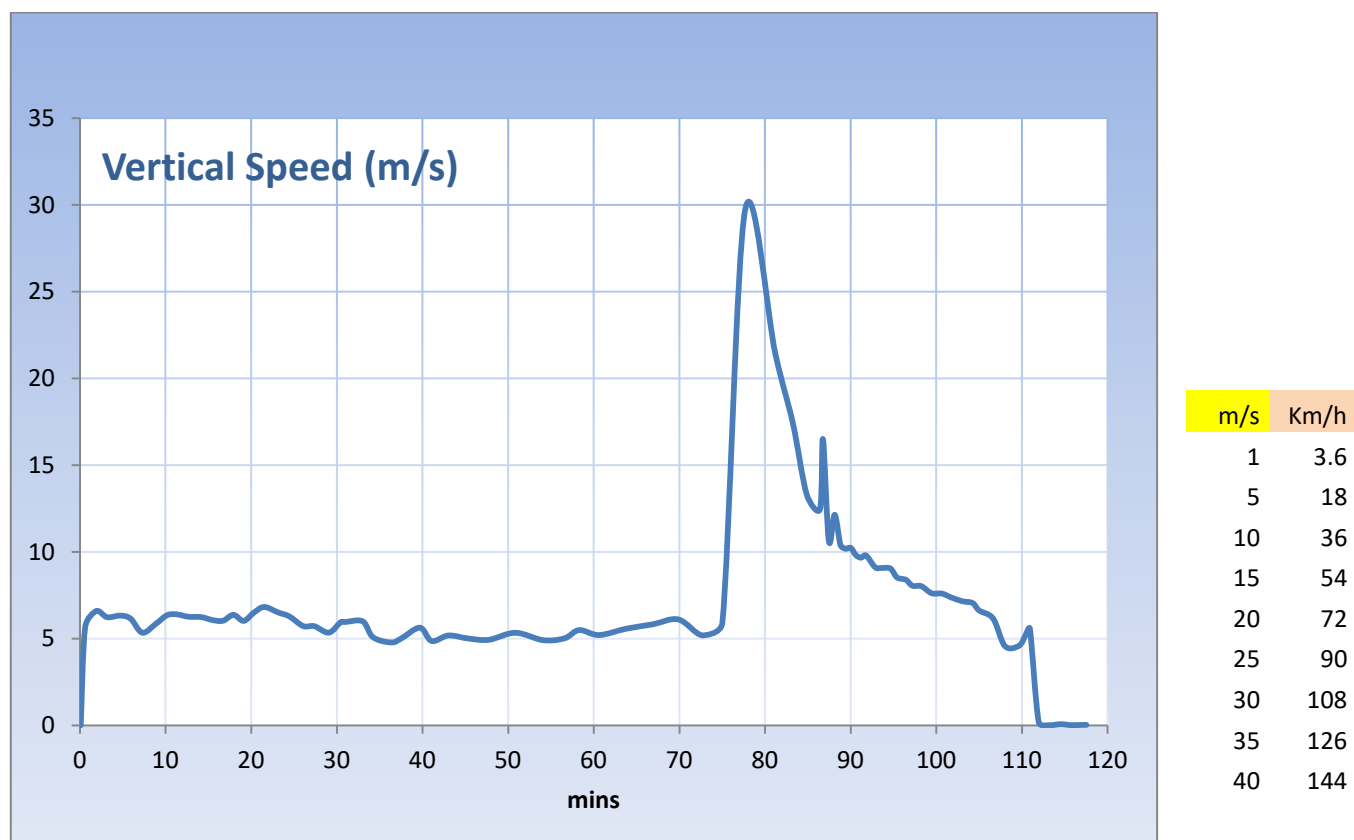
Vemos que en la estratosfera la temperatura sube con la altitud, lo cual era de esperar. Algunos estudios muestran que puede llegar hasta subir de los 10°C.



El aislamiento de la caja es bastante bueno, con mucha inercia térmica sin reflejar cambios en la temperatura exterior si no son duraderos en el tiempo.



En las gráficas se puede comprobar que según subimos la presión baja y viceversa.



En la gráfica se aprecia que la velocidad de ascenso es prácticamente constante, aunque ligeramente superior en los primeros 30 mins., cuando la densidad del aire es mayor. El descenso es muy rápido al principio (caída libre) hasta que hay densidad suficiente para que el paracaídas frene el descenso. A medida que la densidad aumenta la velocidad de descenso decrece.