

Interpretación y utilización práctica de la termometría

Contar con un sistema de termometría está fuera de discusión en una Planta de almacenamiento eficiente, fundamentalmente por el ahorro que proporciona en diversos rubros.

El costo inicial de una instalación, contrariamente a lo que algunos suponen, es sorprendentemente bajo, se recupera en una campaña, y los beneficios son altos o muy altos con relación a la inversión inicial.

Una instalación típica de termometría para silos esta formada básicamente por:

- Un conjunto de sensores de temperatura dentro de cables verticales inmersos en la mercadería ensilada.
- Cañerías de interconexión entre estos cables con sensores y el sistema de lectura.
- Un tablero de lectura que puede ser **portátil** para pequeños acopios, o **centralizado automático** para plantas mas grandes.

Pero tan importante como tener un sistema de termometría es

- elegir correctamente el tipo de equipamiento (lectura portátil, o centralizada automática) mas adecuada para cada caso.
- la cantidad de sensores adecuada para cada tipo de almacenamiento. (Semillas, industria, almacenamiento prolongado, grano húmedo, salida de secadora, etc.
- la calidad de los componentes de la instalación.
- la calidad del montaje de la misma.

Este último punto es fundamental para el buen funcionamiento varios años. Muchas veces con la intención de bajar costos se hacen montajes deficientes que provocan fallas a poco de finalizados.

Podemos mencionar entre otros los siguientes problemas:

- Cableados de conexión sin cañerías de protección:
 - dentro del silo: fallas por ataque de roedores
 - fuera del silo: los factores climáticos deterioran rápidamente la aislación de los cables.
 - cruces aéreos dentro de caño flexible: se oxida y se destruye quedando el cableado sin protección.
- Cajas de pase de plástico a la intemperie: se deforman y entra la humedad.
- Cañerías mal fijadas las cuales se mueven y desconectan: entra humedad y se deterioran los cables en su interior.
- Cables con sensores colgados desde el interior durante la construcción del silo. En el futuro es muy costoso el reemplazo de los mismos al no tener acceso superior. Generalmente en este tipo de instalación la conexión es interior sin cañería, lo cual conduce tarde o temprano a fallas totales por ataque de los roedores.

En el cuadro "**Tipos de sensores...**" se observa una comparación entre los diferentes tipos de sensores y vainas exteriores de los cables de medición mas comúnmente utilizados.

- Un punto importante a tener en cuenta es la fijación de los cables al piso.

En silos con fondo cónico o plano se deben atar los cables al piso con un alambre de fardo de baja resistencia, de modo que ante una elevada sollicitación se corte su anclaje al piso pero no se desprenda del techo ni tire exageradamente hacia abajo. Este "fusible" debe resistir durante el llenado para evitar que se corte y el cable se vaya contra la pared, quedando inutilizado. Un anclaje inferior deficiente hace que los cables se corran hacia las paredes durante el llenado quedando ese silo sin medición útil. Antes de volver a llenar un silo de fondo plano, se deben reponer los alambres que se hayan cortado.

No es recomendable la colocación de pesas, ya que aumentan la tracción de los cables al techo. Solo se colocan excepcionalmente cuando no se pueden atar al piso y la tracción es baja.

- **Un tema fundamental es la correcta interpretación de las lecturas.**

Los sensores se distribuyen regularmente en la masa de grano dentro del silo.

Cada sensor mide la temperatura del grano en su entorno próximo que es de unos pocos centímetros (independientemente del tipo de sensor).

La temperatura del grano mas allá de estos pocos centímetros no será medida hasta que se vayan calentando (o enfriando) los granos que están entre dicha zona y el sensor. Esto puede tomar horas o días. Depende de la distancia al sensor y la diferencia de temperatura.

Se dice por experiencia que la "zona útil" de medición de un sensor (de cualquier tipo) es una esfera de 6 metros de diámetro, con el sensor en el medio.

Nota: Otro criterio para determinar la cantidad mínima de sensores es la norma brasileña IN N°41/2010 del D.O.U. Dice que debe haber como mínimo, un sensor cada 150 m³ de grano almacenado.

Por ejemplo. supongamos que toda la masa tiene 25°C de temperatura. Todos los sensores indicaran 25°. Si a 3 metros de un sensor la temperatura comienza a subir, esta sobre elevación se ira propagando hasta que suba por lo menos 1°C la temperatura que mide dicho sensor. Entonces al hacer mediciones periódicas, notaremos que la temperatura de un punto pasó de 25 a 26°C. Esto podría ser circunstancial. pero si al día siguiente pasa a 27°C, será una señal de que se esta generando alguna sobre elevación, y habrá que airear en los momentos propicios para volver a la normalidad. Se debe actuar cuanto antes, ya que si la sobre elevación esta lejos del sensor, cuando este mida 27°C, puede ser que a 3 metros de distancia haya 35°C o mas.

Si el grano pasa de 35°C aproximadamente será muy difícil bajar su temperatura, a menos que se cuente con una aireación muy potente (400 l/min/m³ o mas) y las condiciones climáticas sean favorables.

En caso contrario, si la temperatura no baja, y habiéndose confirmado con otras

comprobaciones que la medición es correcta, habrá que hacer un transilado parcial o total o una recirculación vaciando y volviendo a llenar con el mismo grano.

La termometría provee la información mas importante sobre el estado de la mercadería, pero no debe ser la única. Se puede obtener información complementaria con inspecciones visuales periódicas de las capas superiores, oliendo el aire a la salida de los ventiladores, y en caso de duda extrayendo alguna muestra de la zona dudosa.

Hacer un pequeño vaciado y tomar una muestra de lo extraído, generalmente no es representativo. Al vaciar un silo primero sale el centro y luego se produce un cráter donde se mezclan granos de diferentes alturas, confundiendo los resultados.

Hay focos de calentamiento difíciles de detectar. Por **ejemplo:** se tiene un silo con la mercadería a 12°C parejos en toda la masa. Por una filtración pequeña en el techo ingresa agua, la cual va descendiendo dentro del grano a través de una superficie muy chica (aprox. 50 centímetros de diámetro).

El agua desciende y humedece un cono fino de 2 o 3 metros de profundidad. A raíz de esto se produce en calentamiento. Pero la distancia entre este punto y el cable mas cercano es de 3 metros.

Esa separación esta llena de grano a 12°C.

¿Cuánto tardará en propagarse esta sobre elevación a través de 3 metros de grano para aumentar 1°C en la proximidad del cable? Varios días. Quizás demasiados. Para empeorar la situación, la actividad en la zona puede restringir la circulación de aire, haciendo inefectiva la aireación.

Pero una inspección visual de la capa superior hará que inmediatamente se detecte el problema por el brotado visible. En este caso si la aireación no produce un enfriamiento, habrá que hacer una recirculación parcial.

Esto nos lleva al criterio para determinar la **distancia entre cables y entre sensores**.

En sentido vertical la separación entre sensores es habitualmente entre 1,5 y 2,5 metros.

Con esta separación, si falla un sensor, los que están por arriba y por abajo del fallado cubren su zona.

En silos con semilla se prefiere la separación 1,5 m. para una detección mas fina de la temperatura a diferentes alturas. En silos grandes, de mucha altura se utiliza la separación 2,5 m para no tener una exagerada cantidad de sensores por cable. No se usan normalmente mas de 21, lo cual con un espaciado de 2,5 m permite controlar mas de 50 m. de altura de mercadería.

La separación mas conveniente en vista horizontal es mucho mas variable ya que depende de muchos factores.

Como criterio general la distancia entre cables debe ser aproximadamente de 5 a 6 metros.

En silos para semilla debe ser menor.

También hay que tener en cuenta que **lo ideal es almacenar grano limpio, entero, seco y frío**. Esto a veces no se puede lograr.

Al llenar el silo las impurezas quedan en el centro del silo. Esto hace que sea la zona mas peligrosa, por la mayor presencia de impurezas (mas proclives a tener problemas) y porque a raíz de su presencia, se bloquean los espacios intergranarios disminuyendo en caudal de aireación. Para peor el recorrido del aire en el centro del silo es mas largo que en los bordes, aumentando la contrapresión y reduciendo aun mas el caudal de aireación.

Por todo esto, el centro del silo es la zona más crítica y la que mas de cerca hay que seguir. El uso de desparramadores mejora algo esta situación.

En consecuencia, es conveniente colocar siempre un cable con sensores en el centro del silo, para tener una detección rápida en la zona mas crítica.

Es probable que este cable, por estar cerca del chorro de llenado se desgaste mas rápidamente que los otros, y quizás haya que reemplazarlo con mas frecuencia. Es un precio bajo en relación con los beneficios.

En algunos casos no se pueden colocar todos los cables necesarios, porque el techo no esta previsto para soportar la tracción que los cables producen. (Entre 100 kg. en silos muy bajos y hasta 5000 kg. en silos muy grandes, por cable.) Esta es la razón por la cual es deseable que los cables sean del menor diámetro posible, ya que es uno de los dos factores que inciden directamente en la tracción que ejercen sobre los techos.

Todos los cálculos que se hagan sobre esfuerzos de tracción son necesariamente aproximados.

Un mismo cable de un diámetro y material de vaina determinado, puede provocar diferentes esfuerzos de tracción. Este esfuerzo depende del tipo de grano, de la humedad del grano, del grado de compactación, de su posición dentro del silo, (central o perimetral) y por supuesto de su longitud.

Son numerosas variables y combinaciones. Se hace un calculo teórico adoptando la combinación mas probable de variables, según la experiencia, y utilizando formulas complejas. También hay otros estudios experimentales publicados por la A.S.A.E. con resultados que se aproximan a los teóricos previstos por los cálculos.

Luego de llenado un silo, con el transcurrir del tiempo, el grano generalmente se va compactando. Esto aumenta la tracción del cable sobre el techo. Si la resistencia del techo esta muy al limite, es posible que al llenar el silo resista, pero luego de algún tiempo el aumento de la tracción comience a deformar el techo o la cabriada. Siempre hay que tomar un coeficiente de seguridad.

En otros casos el peor momento es la descarga. Si se ha formado un bloque de grano compactado alrededor de un cable, existe la posibilidad de que durante la descarga este bloque se desprenda y produzca una sobrecarga brusca que arranque el cable o deforme el techo.

Estas sobrecargas pueden incrementar hasta un 50% los valores calculados.

En caso de duda, si el techo está al limite de su resistencia, se pueden colocar fusibles mecánicos en el anclaje de los cables al techo. En el caso anterior, se cortara el fusible y se desprenderá el cable. El costo de reposición de un cable es infimo en comparación con el costo de una reparación del techo o cabriada.

El costo de un techo de buena calidad, generalmente con cabriadas de refuerzo en su parte inferior, es obviamente mas elevado que un techo "económico", pero un ahorro inicial en este rubro puede resultar caro en el futuro. Hay soluciones para aumentar la resistencia del techo, que dependen de cada caso y tienen distinto costo. Desde agregar unos pequeños refuerzos, de poco costo, hasta agregar cabriadas completas a un costo elevado.

Otra alternativa es colocar un solo cable central. En la gran mayoría de los casos el techo resiste bien. Es mejor poder tener alguna información que trabajar a ciegas. Con un solo cable central la información obtenida servirá básicamente para saber cuando el frente frío de aireación alcanza a recorrer toda la altura del silo y si las temperaturas son homogéneas.

En las grandes celdas horizontales la situación se enfoca de modo diferente.

Si la mercadería se destinara a industrializar, su control de temperatura no es tan crítico como en un semillero.

Entonces para reducir la inversión inicial, no solo en el costo de la termometría, sino en el costo de las cabriadas, se suelen colocar los cables mas espaciados, por ejemplo a 8 a 10 metros entre si.

A veces en el centro el espaciado se hace menor.

En este caso se procura que el grano este inicialmente limpio y seco a la misma humedad. Se airea para lograr homogeneizar la temperatura y luego bajarla hasta cerca de 10 o 12 °C.

Se efectúan mediciones diarias para comprobar que se mantienen estas condiciones y se realizan inspecciones visuales.

Analizar una planilla de mediciones de temperatura de un solo día no proporciona una información completa. Se deben comparar mediciones de varios días, mínimo tres días.

Hay que prestar atención a aquellos puntos cuyas temperaturas difieren de la mayoría. Por **ejemplo:**

si en una planilla la mayor parte de los puntos están entre 19 y 21°C, pero se detecta un punto con 25°C, puede haber un problema, aunque parezca que 25°C es aceptable. Observar las temperaturas de los puntos vecinos. Si los vecinos registran 24 o 23°C, nos darán una idea de la ubicación y extensión de una zona calentándose. Si esta zona esta lejos de los sensores, en su centro puede tener 35°C o mas. Comparando esos mismos puntos a lo largo de varios días se determinará si el foco se esta expandiendo o por efecto de la aireación, se esta reduciendo.

También hay que tener en cuenta que si el silo no esta totalmente lleno, puede haber sensores fuera de la masa de granos. Están en el aire entre el grano y el techo. Estos sensores, en un

día de sol en verano a la tarde, pueden indicar 60 o 70 °C, y a la noche indicar 20 o 25 °C, o si llueve y refresca menos aun. Hay que recordar esta posibilidad para evitar falsas alarmas.

Una buena práctica es hacer las lecturas por la mañana bien temprano, o a la noche.

Salvo casos de focos con tendencia a descontrolarse, no es necesario hacer mas de una lectura por día. Máximo dos. Las variaciones de temperatura en los granos son lentas, y hacer muchas lecturas nos llenara de datos repetidos.

Las lecturas deben hacerse con la aireación detenida, 15 a 30 minutos después de detenida la aireación. Durante la aireación se crean canales de aire. Si hay sensores que quedan en estos canales, medirán la temperatura del aire circulante y no la real temperatura del grano.

Hay sistemas que muestran los valores de temperatura con decimal de grado. Esto no tiene ninguna utilidad practica, ya que aun con aireación detenida, las pequeñas corrientes de aire convectivas dentro del silo producirán variaciones de temperatura de décimas de grado. Si el sistema de lectura muestra esto, solo agregará cifras inútiles que solo harán perder tiempo comparando números irrelevantes.

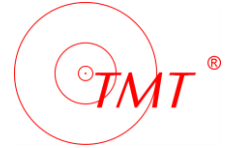
Lo importante es la variación a lo largo de varios días y no la exactitud del sistema de lectura. Por ejemplo: el hecho de que un sistema tenga un error constante (sistemático) de +/- 1°C o algo mas en todas las lecturas no causará ningún problema significativo. Recordemos que los sensores toman lecturas puntuales de temperatura. Nada pueden decir de la temperatura de los granos mas alejados, los cuales pueden tener diferencias de temperatura, quizás mayores.

Puede ocurrir también que los sensores que están en el aire tengan diferente temperatura, mayor los que están del lado del sol y menor los que están hacia el sur; mayor los que están cerca del techo y menor los que están mas abajo.

En los sistemas de lectura computarizados se busca eliminar la lectura de los puntos fuera de la masa. Se eliminan aquellos que tienen una apreciable diferencia de temperatura entre dos lecturas una a la tarde y otra durante la madrugada. Esta circunstancia hace que



ELETEK SRL

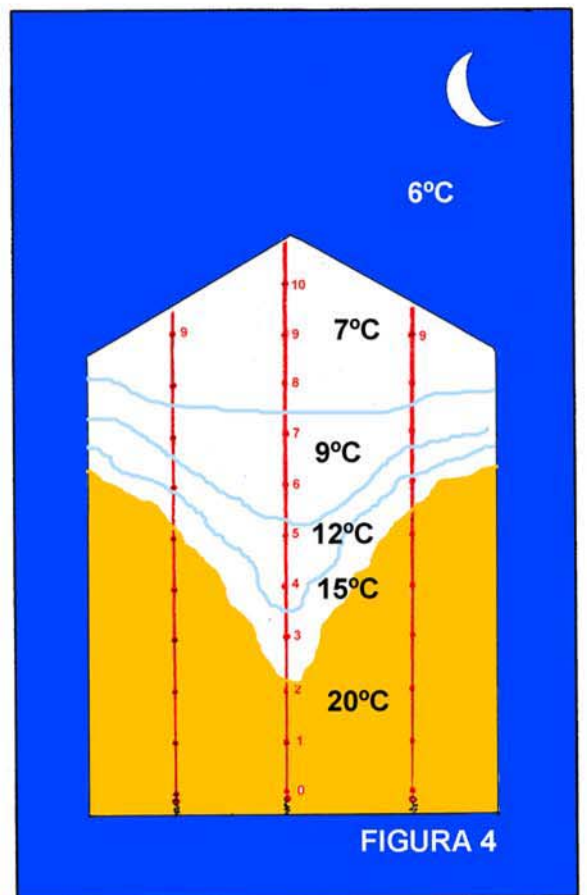
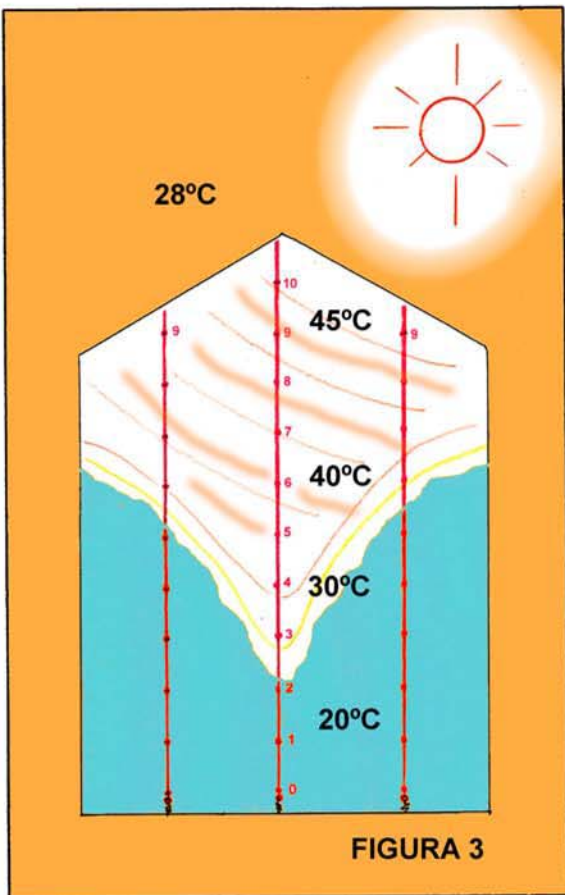
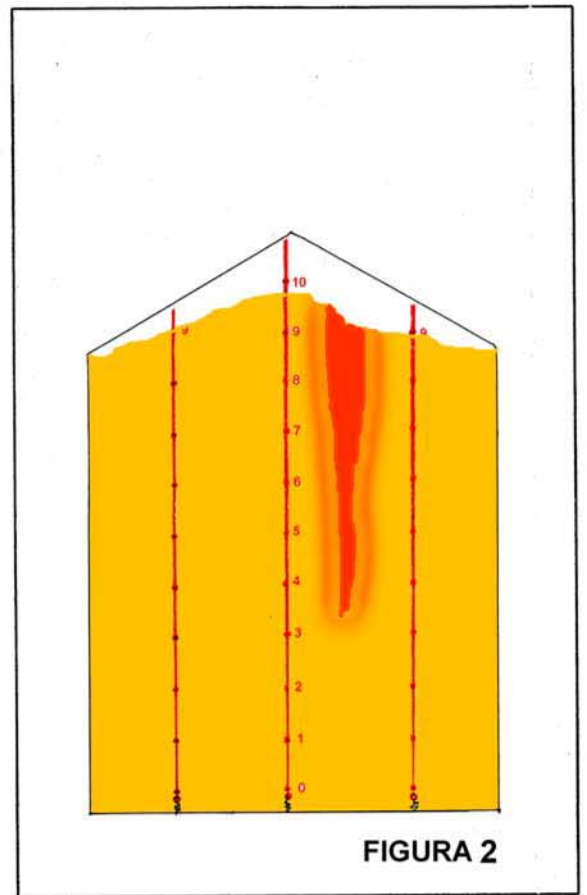
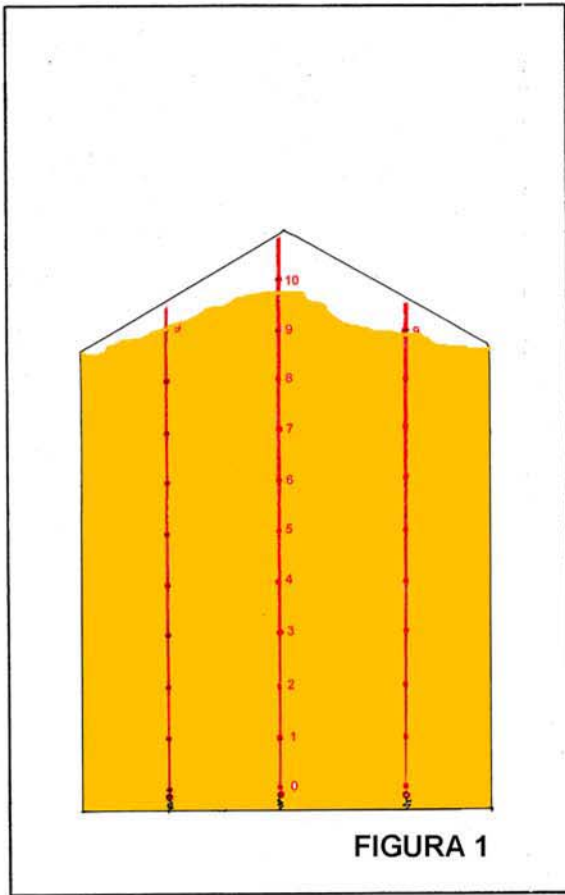


también pueda determinarse el nivel aproximado de llenado del silo.

En días nublados, o lluviosos y si la Planta tiene mucha rotación con llenados y vaciados parciales constantes, el método es inaplicable y los informes no son consistentes.

RESUMEN:

- Un sistema de termometría es indispensable para un **eficiente** manejo de un acopio.
- Es fundamental interpretar y evaluar correctamente la información obtenida. Un sistema centralizado automático es una gran ayuda en este sentido, pero no reemplaza al criterio humano.
- Es muy importante un montaje prolijo y robusto del sistema y su **mantenimiento** para evitar fallas reiteradas.
- La cantidad y distribución de sensores debe ser estudiada para cumplir con los resultados buscados en cada caso.
- Seguir las recomendaciones descritas en los párrafos anteriores.
- Se deben hacer verificaciones periódicas del estado del sistema (mínimo una vez al año).
- Se deben poder hacer verificaciones normalizadas para cumplir con las Normas ISO (una vez al año).



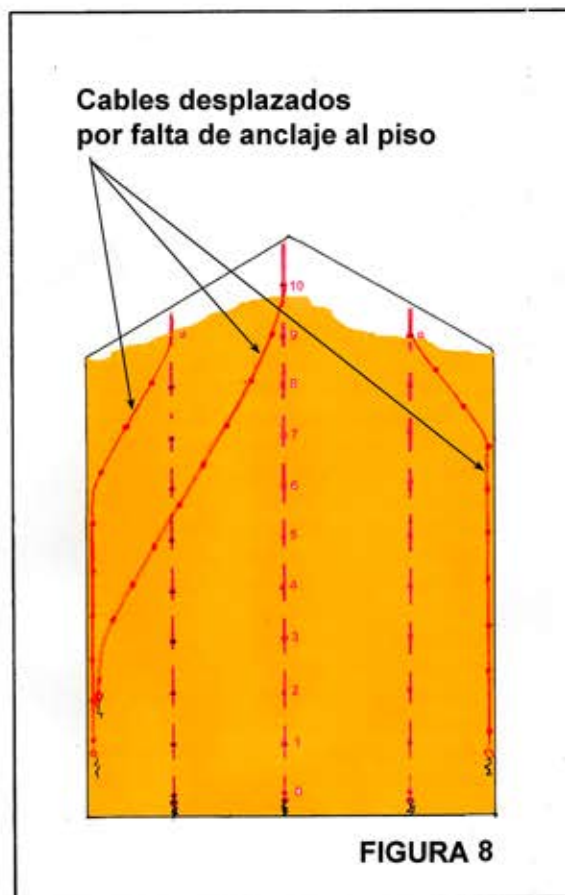
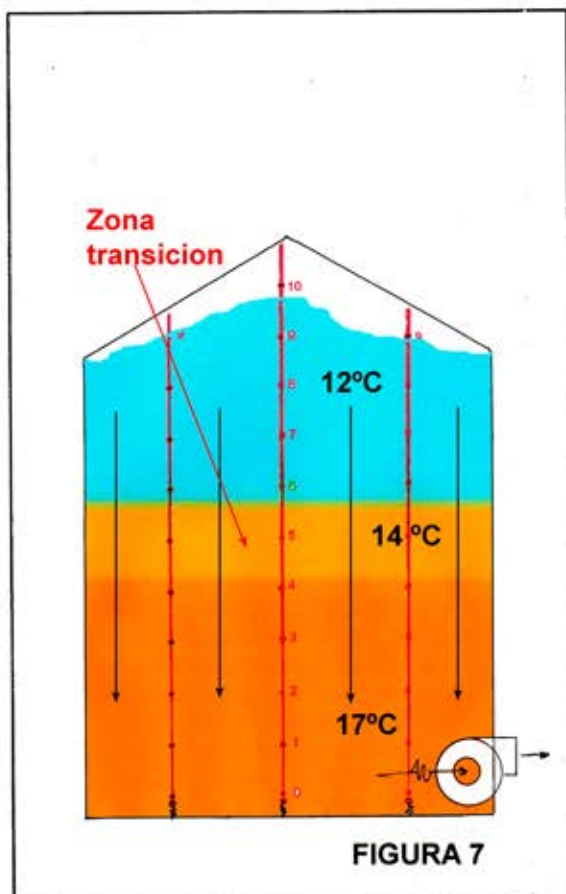
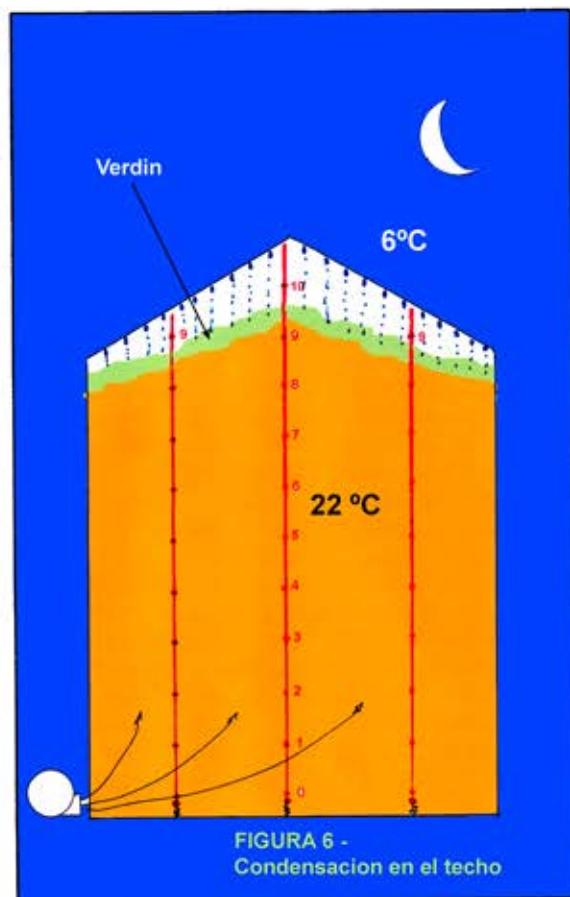
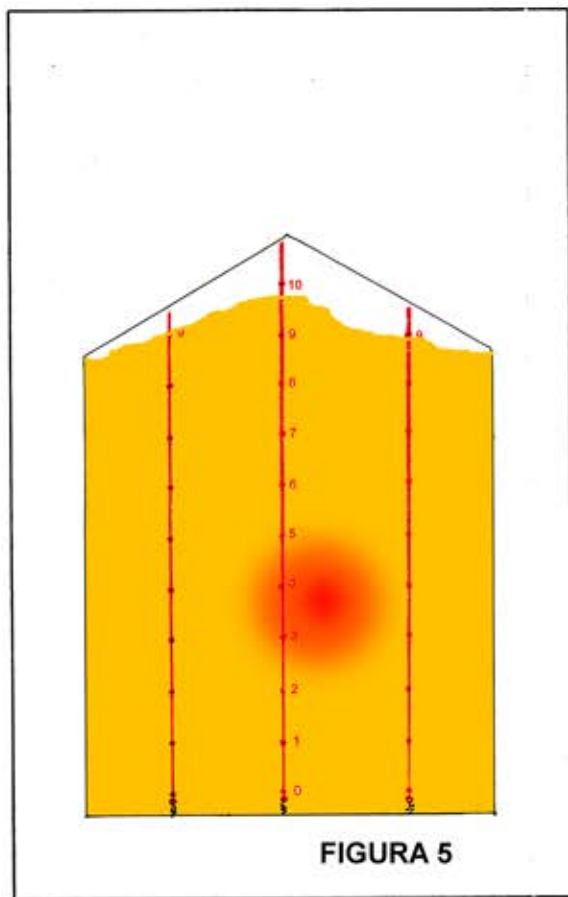


Figura 1:	Sólo con cables en situación normal. Se indica la numeración de los niveles.
Figura 2:	Foco de temperatura vertical generalmente producido por entrada de agua.
Figura 3:	Igual que figura 2, pero con temperatura ambiente elevada.
Figura 4:	Sólo con vaciado parcial. Diferencia de temperaturas entre sensores fuera de masa y sensores dentro de la mercadería, temperatura ambiente baja.
Figura 5:	Foco de temperatura más común. Si la cantidad de cables con sensores es suficiente, la sobreelevación de temperatura será detectada con el tiempo suficiente para tomar medidas de enfriamiento. (Aireación reforzada, transile, rotación, etc.)
Figura 6:	En el caso de aireación hacia arriba, si el silo no cuenta con extractores superiores, en caso de temperatura ambiente baja, puede producirse condensación en el techo, que luego mojará la capa superior de mercadería produciendo su deterioro.
Figura 7:	Avance del frente frío con aireación hacia abajo.
Figura 8:	Los cables que no queden atados al piso, antes del llenado, se irán contra las paredes del silo, pasando a medir la temperatura de la chapa en lugar de la temperatura de la mercadería.

TIPOS DE VAINAS

Material	Ventajas	Desventajas
Nylon (M.R. de Dupont)	Excelente resistencia a la abrasión.	Higroscópico. Igualado en rendimiento por otros plásticos más modernos.
Polipropileno Cables marca TMT-Eletek	Excelente resistencia a la abrasión. Bajo coeficiente de fricción = baja tracción sobre los techos.	Tecnología de fabricación del cable más complicada.
PVC Policloruro de vinilo	Tecnología de fabricación simple. Menor costo.	Moderada resistencia a la abrasión. Coeficiente de fricción algo elevado.
Polietileno	Bajo coeficiente de fricción = baja tracción sobre los techos. Tecnología de fabricación simple. Menor costo.	Desgaste rápido de la vaina.
Poliuretano	Gran resistencia a la abrasión.	Muy blando y "gomoso". No apto para esta aplicación.

TIPOS DE SENSORES

Tipo de sensor	Ventajas	Desventajas
Termocupla	Tamaño casi nulo: cable fino (1). Gran resistencia a torsiones y estiramientos. Intercambiabilidad entre marcas.	Baja señal: equipo de lectura más complicado.
Termorresistencias	Alta señal: equipo de lectura simple.	Tamaño apreciable: cable más grueso (1). Frágil. Difícil intercambiabilidad entre marcas de diferente procedencia.
Termistores y otros semiconductores	Alta señal: equipo de lectura simple.	Tamaño apreciable: cable más grueso. (1) (2) Frágil. Diferencia de calibración entre un sensor y otro. Difícil intercambiabilidad entre marcas.