

C O N T E N I D O

.....

- I .- CLIMATOLOGIA AGRARIA
- II .- EL GRANIZO Y LOS SISTEMAS DE DEFENSA
- III .- DEFENSA ANTIGRANIZO: Mecanismos de formación y principios de prevención.

Tarazona



Pedro-Anto. LORENZO ANDIA

Ingeniero Técnico Agrícola.-

España, que cuenta con una Agricultura de gran importancia, en el apartado económico es uno de los países más azotado por uno de los fenómenos meteorológicos más temidos por el agricultor: el granizo

De la formación del granizo y de las nubes en las cuales tiene lugar su formación es de lo que nos vamos a ocupar en esta conferencia.

El tipo de nubes que dan lugar a precipitación en forma de granizo son los cumulonimbos; pero antes de ver este tipo de nubes conviene saber cómo se comporta el agua en las nubes.

Como todos sabemos, uno de los componentes de la atmósfera es el vapor de agua; un número muy elevado de moléculas de agua se agrupan formando una pequeña gota y del conjunto elevadísimo de pequeñas gotas se hacen unas masas visibles que son las nubes.

El diámetro de esas gotitas oscila entre 4 y 200 micras, habiéndose comprobado que el número de gotas por cm^3 oscila entre 70 y 200

El punto de congelación del agua es de cero grados, temperatura a la cual debería pasar a forma sólida, lo que generalmente no ocurre en las masas nubosas; iniciándose la congelación alrededor de los -10°C y terminándose el proceso sobre los -35°C .

Estos pequeños cristales de hielo debido a los choques que tienen lugar en las corrientes ascendentes y descendentes existentes en el interior de la masa nubosa van aumentando de tamaño y por lo tanto de peso, lo que trae consigo el aumento de la velocidad de caída, llegando así, en zonas de la nube en las que la corrientes ascendentes son superiores a la mencionada velocidad de caída, lo que impulsa a los trocitos de hielo a niveles superiores; este movimiento de ascenso y descenso puede repetirse varias veces y si el contenido de agua es suficiente, en un pequeño periodo de tiempo pueden formarse granizos de un tamaño considerable.

En cuanto al aspecto alternativo de capas lechosas y transparentes que presentan los trocitos de granizo se debe a las corrientes ascendentes y descendentes.

Estructura de la tormenta

La nube típica de la tormenta es el cumulonimbos (Cb), en cuya formación se distinguen tres fases, de las que tenemos detallados esquemas gracias a H.R. Byers y R.R. Braham, los cuales, entre los años 1945 y 1950 llevaron a cabo un programa denominado "Thunderstorm Project" de U.S. Weather Bureau.

1ª) Una primera fase o de formación y desarrollo.

El aire en el interior de la nube está más caliente que en el exterior por lo que solamente existen corrientes ascendentes (fig. 1), con lo que la nube va creciendo enormemente, adquiriendo la cima el típico aspecto de coliflor, habiendo pasado de la forma de un

cumulus a la de cumulusnimbus-calvees.

Al ir aumentando el tamaño y peso de las gotas de lluvia o de los trocitos de hielo, la corriente ascendente no puede con ellos, terminándose esta primera fase de desarrollo.

2ª) Fase o estado de madurez

Se inician corrientes descendentes, arrastrando chubascos de agua y granizo, al mismo tiempo que impulsan ráfagas violentas antes de la tormenta.

Dentro de las nubes existen ascendencias y descendencias (fig. 2), produciéndose remolinos y turbulencias, especialmente donde prevalecen las descendencias y junto al suelo; al mismo tiempo se van acumulando cargas eléctricas de signo contrario en distintas zonas de la nube, dando lugar a los fenómenos eléctricos, típicos de la tormenta, como son los relámpagos y rayos.

3ª Fase de disipación

En esta fase predominan ya las corrientes descendentes (fig. 3) hasta que desaparecen las ascendentes. Se va formando en la cima una masa de aspecto filamentooso en forma de yunque, del cual toma su nombre (cumulusnimbus incus); la nube se va desgastando en mansa lluvia, quedando finalmente el penacho de cirrus del yunque.

El proceso que sigue una nube de tormenta viene a durar algo menos de una hora.

Anteriormente se ha considerado una tormenta aislada, cosa que no es frecuente, ya que las tormentas se presentan en grupos de células, cada una de las cuales se encuentra en distinto estado de su ciclo.

En la fig. 4 tenemos un grupo tomado del proyecto de Byers el cual nos presenta varias células en distintos estados de desarrollo; mientras unas están en la fase de formación, otras lo están en la de disipación y otras en la de madurez.

Tipos de tormentas

- 1) Tormentas de origen frontal
- 2) Tormentas de masa de aire.

Las tormentas de origen frontal pueden ser a su vez originadas por un frente frío o por uno cálido, siendo las más frecuentes las primeras.

Las tormentas de frente frío se producen al paso de un frente frío, siendo éste la zona de separación de dos masas de aire muy diferenciadas, la anterior cálida e inestable y fría la posterior (fig. 5)

El aire frío que viene moviéndose rápidamente empuja a la masa cálida penetrando en forma de cuña forzando la elevación del aire cálido húmedo y menos denso formando nubes de desarrollo a lo largo del frente.

Las tormentas de frente cálido se producen dentro de la masa cálida cuando ésta es inestable (fig.6).

Tormentas de masa de aire.- Son producidas por un calentamiento de las masas de aire próximas al suelo cuando esta tiene un determinado grado de humedad, al ser menos densa que las capas superiores, se inicia el ascenso de la misma, expandiéndose, enfriándose y condensándose en gotitas de agua que forman la nube tormentosa.

Pueden presentarse aisladas y agrupadas sin que se haya demostrado que existen lugares más adecuados que otros para su formación.

Es en este tipo de nubes donde la lucha antigranizo se hace más eficaz.

Entre las tormentas de masa de aire se pueden diferenciar:

- a) Tormentas por mezcla turbulenta
- b) Tormentas convectivas
- c) Tormentas orográficas
- d) Tormentas en alta mar

Todas ellas basadas en el proceso anteriormente mencionado.

Principios en los que se basa la defensa contra el granizo

Se ha visto anteriormente que la causa de la formación de granizo de considerable tamaño son las gotas subenfriadas.

La forma de evitar que las gotas de agua subenfriadas vayan adquiriendo mayor tamaño es disminuir el número de gotitas de agua subenfriadas. Para ello se introducen núcleos de cristalización en la nube para que las mencionadas gotitas pasen directamente a la fase sólida y aunque no se pueden eliminar la formación de granizo, sí se puede conseguir que su tamaño sea mucho menor, disminuyendo por lo tanto los daños.

Los núcleos de cristalización que se han utilizado han sido el sulfuro de cobre, óxidos de cesio y cinc y por supuesto el yoduro de plata, siendo éste el más eficaz y por lo tanto el más usado.

Y finalmente y solamente a título de introducción de la exposición que les hará el Sr. Ruiz sobre la forma en que se lleva a cabo la defensa contra el granizo adelantare que dicha defensa trata de sembrar el mayor número de gérmenes de cristalización dentro de la nube tormentosa; que la sustancia eficaz es el yoduro de plata y que en España se aprovechan las corrientes ascendentes para la siembra de la nube.

BIBLIOGRAFIA

- Servicio de defensa anti granizo.- Boletín Informativo. Alfonso Ascano Liria
- Meteorología aplicada a la aviación.- Ledesma- Baleriola.

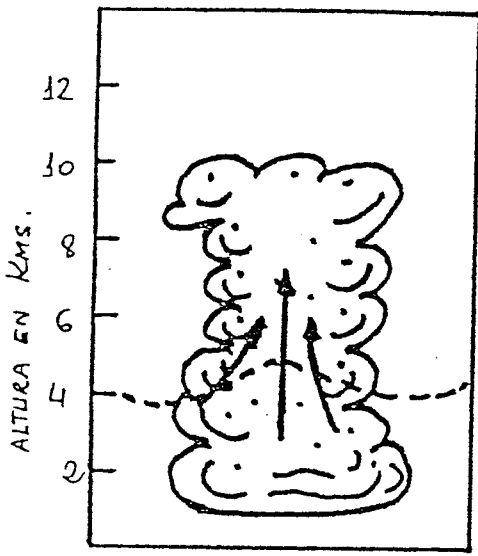


Fig. 1

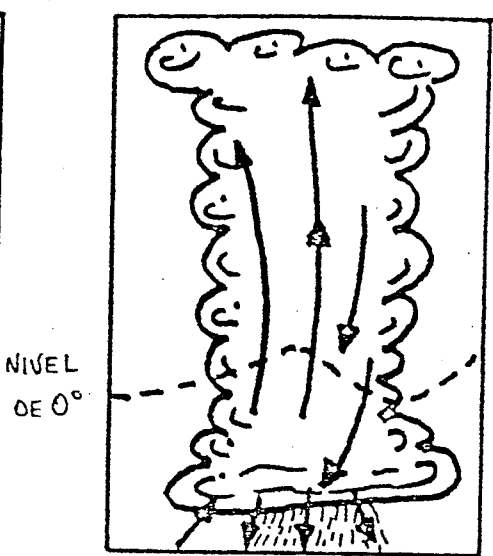


Fig 2



Fig. 3

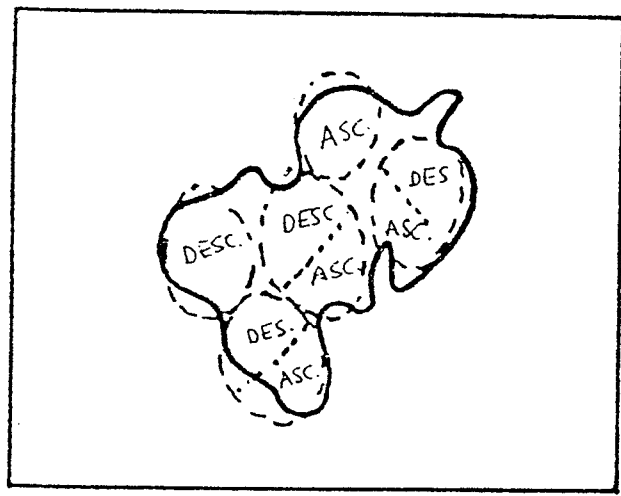


FIG 4

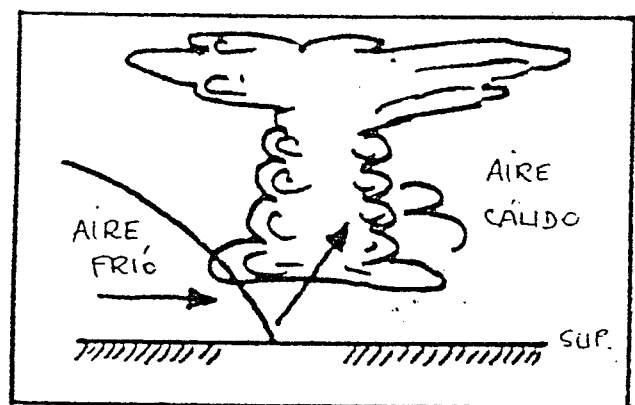


FIG. 5

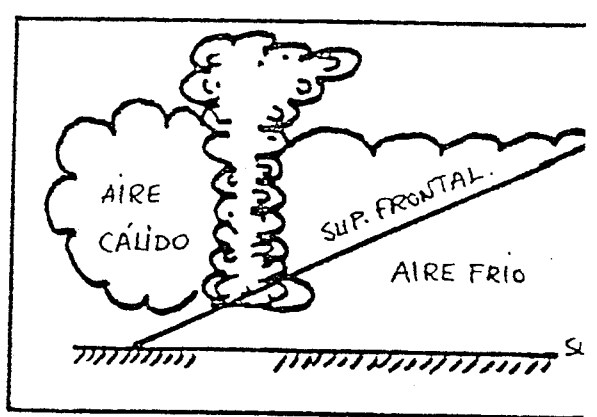


FIG. 6

El granizo es tan antiguo como la vida del hombre, mejor podíamos decir, anterior a él pues, si el granizo se forma en el seno del aire atmosférico, esté ya existía.

La primera granizada conocida data del año 1440 a. de J. C. (aproximadamente). La narración se encuentra en el segundo libro del Pentateuco, el Exodo. La lucha de los Faraones con Moises y la alianza de Yavé con el pueblo elegido fueron la causa de las plagas que asolaron Egipto en los 430 años que el pueblo de Israel estuvo en el imperio faraónico.

La séptima plaga fue el castigo del granizo. Y dijo Yavé a Moises: «extiende tu mano hacia el cielo para que venga el granizo en toda la tierra de Egipto, sobre los hombres, sobre las bestias y sobre toda la hierba del campo en el país de Egipto». Tronó y granizó y asoló gran parte de las cosechas. Esta calamidad sucedía, quizás, en el reinado del faraón Amenophis II o en el de Toutmes III.

Numerosos casos asombrosos se guardan entre los miles de páginas que hablan del granizo. Algunos de estos acontecimientos se consideran como ejemplos mundiales. Entre ellos podemos citar el pedrisco de mayo de 1888 en Modarab (India) en donde murieron 250 personas a consecuencia, más que por el impacto del granizo, por la congelación de las personas que quedaron atrapadas en la espesa capa de hielo.

En cuanto a tamaño de piedras, puede referirse la tormenta de BIZERTA (Túnez), en octubre de 1898, en la que, según se refiere, había granizos de hasta 1 kg de peso.

En España se hizo famosa la del 9 de junio de 1899, en Madrid, en donde quedó en las calles, una

capa de 50 cm. de espesor de granizos del orden de los 200 gr. de peso.

La casuística del granizo es interminable y no haríamos más que prolongar estas páginas que en modo alguno pretenden hacer esta recopilación de calamidades.

EVOLUCION DE LOS SISTEMAS DE DEFENSA.

Mientras el hombre fue nómada posiblemente no pensó nunca en defenderse del pedrisco. Los primeros intentos surgirían cuando el hombre se hizo sedentario. En el Neolítico, unos 4.000 años a. de J. C., el hombre transformó su modo de vida; cambió la caza y la recolección espontánea por la ganadería y la agricultura. Experimentaría los destrozos en los cultivos e iniciaría la defensa mediante las armas que disponía. Posiblemente el primer sistema de defensa consistiera en el lanzamiento de piedras contra las nubes, las más primitiva de las armas.

A las piedras seguirían las lanzas, con cabezas de sílex primero y de hierro después. Más tarde se emplearon las flechas, como lo demuestra un grabado (fig.1) de mediados del siglo XVI, en el que unos arqueros disparan contra las nubes, tratando de despejar la tormenta. Este sistema fue empleado por los godos y por los indios americanos.

El volteo de campanas fue otro procedimiento, en la creencia de que el ruido ahuyentaba la tormenta como se hace huir a un perro o se intimida a un adversario. Ante la tormenta las campanas se bandeaban, y en ese menester murió más de una persona por descarga del rayo. En la iglesia de San Pedro de Reus existe una campana, la San Jaime, que en su derredor, en latín, guarda la inscripción: «alejo el pedrisco y la nube amenazadora».



Fig. 1. — Defensa del granizo mediante flechas.

Independientemente de las flechas y orígenes de la pólvora, o productos análogos anteriores a su invención, es a mediados del siglo XIV y principios del XV cuando se implantan las armas de fuego y centenares de arcabuces y mosquetones hacen disparos contra las nubes. Se abandona el toque de campana y se sustituye el ruido metálico por el estruendo de la explosión.

Desde la campana se ha iniciado un cambio en la táctica, se desecha el lanzamiento de objetos arrojados y se sustituye por las ondas sonoras, intensificándose cada vez más su potencia. Surgió después el cañón, más tarde el cohete, que explotaba a algunos cientos de metros por encima de la tierra, hasta que esta técnica cohetera va perfeccionándose y alcanza alturas superiores.

El llamado «cañón granífugo o gradínfugo» (fig.2) fue una técnica muy extendida en diversas partes de Europa. Consistía en un auténtico mortero, de tiro vertical, cuyo cañón, en forma troncocónica invertida, enviaba a la nube la onda expansiva de una carga de pólvora. Una variedad de éste era el que funcionaba mediante acetileno y producía un aro de fuego en forma de «toro» que ascendía, arremolinándose, hacia la base de la nube.

Un procedimiento muy efímero en duración, fue la formación de hogueras, mantenidas con paja, que se distribuían irregularmente. No parece tuviera muchos adeptos y se abandonó rápidamente.

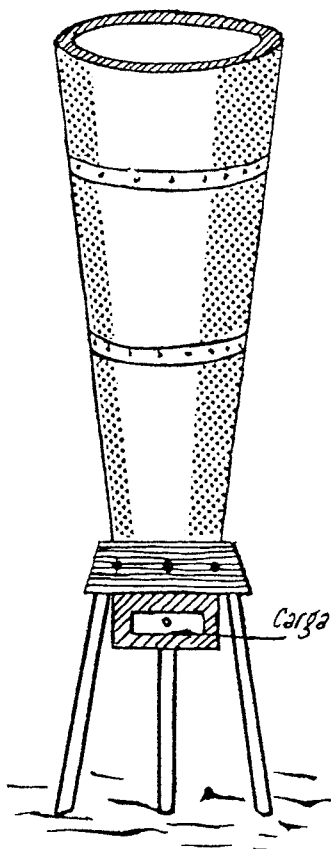


Fig. 2. —Cañón granífugo

Pero todos estos sistemas inútiles y de ineficacia comprobada, fueron motivo de no pocas discusiones y conflictos que en ocasiones, como sucedió en Alemania en 1750, en el reinado de Maria Teresa, obligaron a la publicación de órdenes prohibitivas del uso del cañón antigranizo.

En 1908, en España, la Junta Agronómica prohibía el empleo de cañones grandínifugos y cohetes por considerarlos, no sólo inoperantes, sino además perjudiciales para la agricultura pues, como puede leerse en el informe, «si ahuyenta los nublados, disminuye la precipitación y, en consecuencia, produce la sequía».

Pocos años después de que Franklin demostrara la naturaleza eléctrica de los rayos y en consecuencia, la existencia de electricidad en la nube tormentosa surgió la teoría de que la formación del granizo era debida, precisamente, a esas cargas eléctricas. Con estos principios las defensas del granizo se hicieron mediante unos sistemas de pararrayos llamados granífugos o simplemente «paragranizos» que datan de 1776. Hubo una gran variedad y los más elementales consistían en estacas de madera afilada, con la punta hacia el cielo, y unidas a tierra con una soga de paja.

Más tarde Arago sugirió la implantación de globos cautivos, con puntas metálicas que, mediante el cable de sujeción, descargaba la electricidad al suelo.

Ya a finales del siglo XIX se inventaron los llamados «niágaras eléctricas» que consistían en pararrayos de unos 50 m. de altura con ramificaciones arborescentes dispuestas a distancias de 10 km. formando barreras de protección.

Y, antes de meternos en las técnicas que podríamos llamar modernas vamos a hacer otra revisión retrospectiva, superpuesta a todos los acontecimientos que hemos referido, pero basados en la hechicería, brujería y superstición.

En el libro III de los «Ocho Libros de Cuestiones Naturales» de L. Anneus Séneca ya se refiere que en Cléone había unas personas encargadas de predecir las granizadas, se llamaban «chalazophylakes». Cuando éstos pronosticaban la tormenta las gentes inmolaban, según sus posibilidades, una gallina o un cordero ya que, las nubes al ver la sangre en el campo se marchaban hacia otro lado. Si alguien no tenía que inmolarse pinchaba en su propio dedo. El descuido de los chalazophylakes era motivo para entregarlos a la justicia.

La influencia de la brujas es general, especialmente en la Edad Media. En Asturias creían que las brujas cabalgaban sobre las nubes y eran quienes arrojaban las piedras, incluso había quien afirmaba haber visto a alguna, descender con un zurrón en la espalda en donde guardaba los granizos.

Por el contrario los brujos eran quienes cuidaban y protegían los campos por lo que, en muchos pueblos, se les ponía una garita en el campanario de la iglesia, o en algún lugar público, para su cobijo.

En Galicia colocaban en la ventana frente al nublado, un bollo sobre una servilleta, con los cubiertos cruzados. En el norte de Cataluña disparaban a las nubes cera, pólvora bendita y granos de trigo. En otros pueblos extendían sobre cada uno de los campos una cuartilla con una oración escrita.

Y no son raros los dichos y oraciones relativos al granizo y tormentas:

«Santa Barbara bendita,
que en el cielo estas escrita
con papel y agua bendita,
si eres agua ven acá,
si eres piedra tente allá».

En la ribera del Cinca, cuando hay tormenta dicen:

«San Bartolomé se levantó,
pies y manos se lavó.
con Cristo se encontró.
Dónde vas Bartolomé?
A los cielos con usted.
Vuélvete Bartolomé
que en la casa
donde seas nombrado
no caerá centella ni rayo,
ni morirá mujer de sobrepardo».

Y en el Rosellón se reza:

«La piedad divina os hizo
dulcísimos protectores
de todos los labradores
contra la piedra y el granizo
pues por vosotros deshizo
rayos, vientos y nublados,
guardad los campos de piedra
Abdón y Senen Sagrados».

Muchas de estas gentes con sus oraciones confían en el milagro, pero en un milagro de hechicero, falto de fe en Dios.

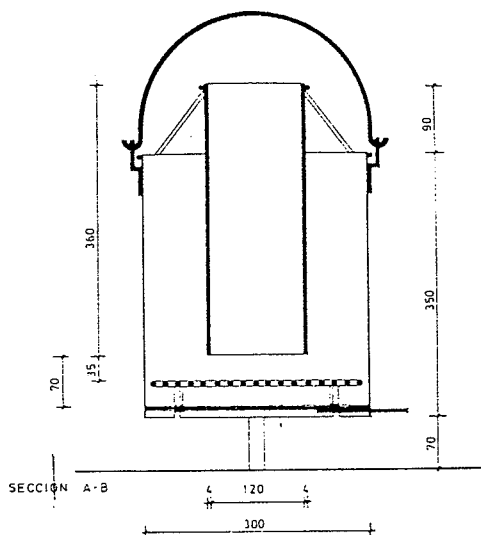


Fig. 3. — Generador de carbón

Hacia finales de la década de los cuarenta, en 1947, Langmuir-Schaefer y Vonnegut de la «General Electric» descubren que con una milésima de milígramo de ioduro de plata es posible hacer que las microgotitas de agua a muy baja temperatura (a unos -25°C) contenidas en un m^3 de nube se transforme, en algunos segundos, en cristallitos de hielo.

Este hallazgo señala el procedimiento de actuar sobre las nubes, con una base científica y evitar, como veremos más adelante, la formación de gruesos granizos. Esto coincidió también con un estudio americano sobre la estructura de las tormentas que reveló nuevos conocimientos en los procesos de formación y evolución de las masas nubosas.

Comenzaron así los sistemas de defensa uniendo las técnicas de antaño con los nuevos avances. Y se fabricaron cohetes con cabeza explosiva cargada con ioduro de plata u otros productos más económicos reinstaurándose la técnica cohetera en la lucha contra el granizo.

Otros procedimientos tratan de crear en la atmósfera un abundante número de núcleos glaciógenos, antes de que la nube se haya formado, sembrando desde el suelo, cristales de ioduro de plata que se elevan arrastrados por las corrientes ascendentes de la atmósfera. En este hecho están basados los sistemas de generadores de núcleos a partir de carbón impregnado en ioduro (fig. 3) o los generadores acetónicos (fig. 4). Este último sistema se utiliza en diversas partes del mundo y actualmente está generalizado en España.

En otros sistemas se actúa cuando la nube está en una etapa determinada de su evolución, como sucede en el caso del bombardeo, desde tierra, de una nube mediante certeros disparos, utilizando piezas de artillería de carácter antiaéreo de gran precisión (fig. 5). Para ello es necesario disponer de un servicio de información meteorológica y de de-

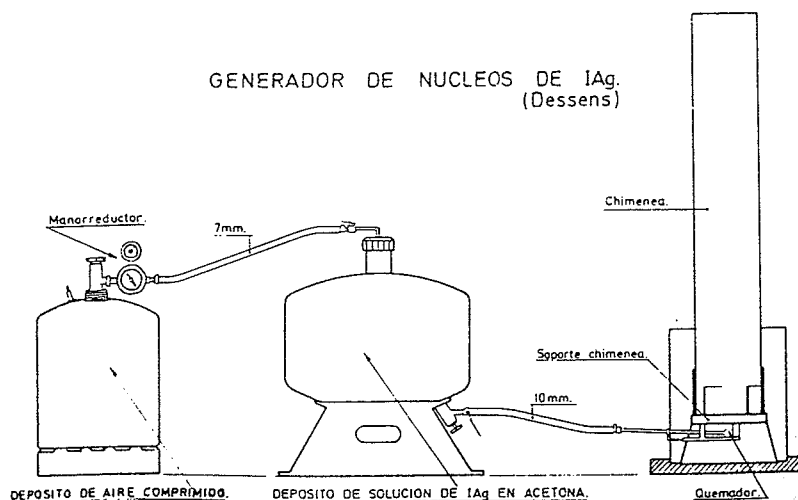


Fig. 4. — Generador acetónico

tección y seguimiento de radar, así como una eficaz red de comunicaciones y suficientes bases artilleras, en lugares estratégicamente situadas.

Otros, siembran las nubes mediante operaciones aéreas utilizando aviones especiales equipados con proyectiles «aire-nube». Es necesario disponer de personal adiestrado y campos de asentamiento, los suficientemente próximos, para que la autonomía del avión permita no sólo la realización de la operación, sino también el retorno a su base. El equipo de seguimiento de radar es muy importante tanto en este caso como en el anterior y en el siguiente.

Hay otro procedimiento actual con una auténtica y perfecta planificación de operación aero-terrestre. El puesto de mando recibe la información del radar y da la orden tanto a los aviones como a los equipos móviles de superficie de ir a atacar exactamente en los puntos vulnerables de la nube, en su propio corazón, en donde se originará, momentos más tarde, el granizo demoledor. Los aviones bombardean con proyectiles, bien directamente o con difusores en paracaídas, el interior de la nube. Mientras, los equipos terrestres, mediante cohetes o generadores, siembran justamente debajo de la chimenea de la nube en donde las corrientes ascendentes son más activas.

Finalmente, referiremos el sistema de mallas de nylon (fig. 6). Estas mallas, mediante armados de hierro se extienden a modo de tejado sobre las plantaciones. Teóricamente el granizo cae y se acumula en el suelo entre las hileras de la plantación sin dañar el cultivo. En la práctica, las primeras rachas de viento, precursoras de la tormenta, hacen vibrar las mallas, rompiéndolas y dejando los cultivos desprotegidos e incluso parcialmente dañados por el arrastre de las propias mallas, incrementando las pérdidas de la granizada con las de la instalación.

Todos estos sistemas tienen sus ventajas y sus inconvenientes. Los promotores de ellos aseguran ser todos eficaces y, ciertamente lo son, pero no en su totalidad. Mediante cualquiera de estos sistemas se disminuyen los efectos del granizo, evitando parte de los daños pero, no nos engañemos, los sistemas, hasta el momento no son absolutamente eficaces en cuanto a la total desaparición del granizo. El más adecuado será aquel que nos dé una mayor eficacia con el menor gasto. Pero para obtener esta relación es preciso hacer un análisis estadístico, con datos de varios años.

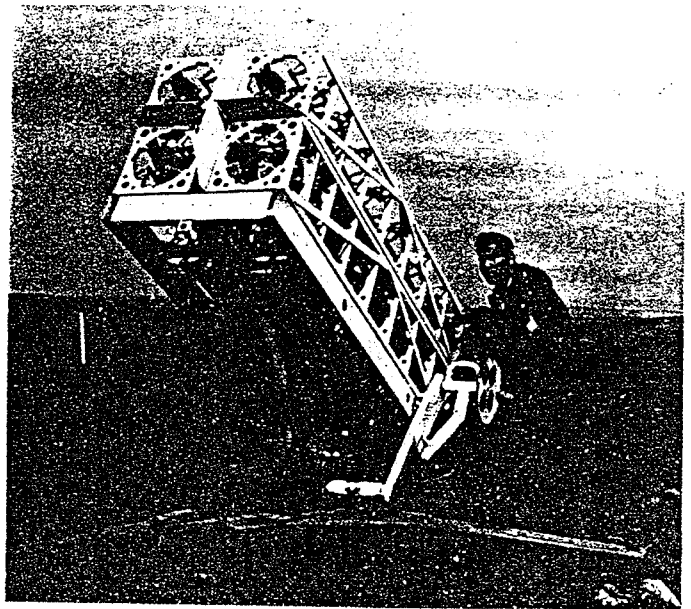


Fig. 5. — Lanzamiento de un cohete tierra-nube.

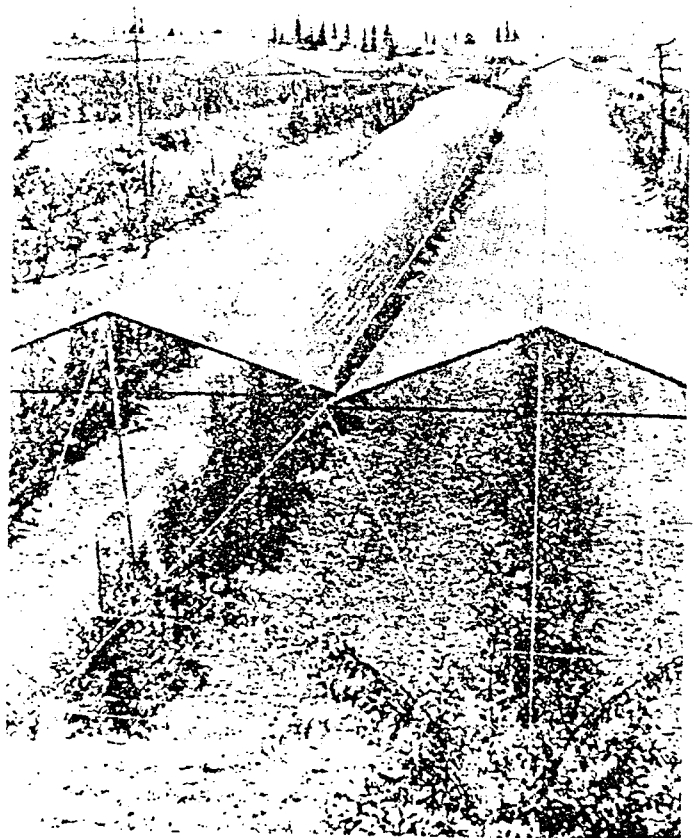


Fig. 6. — Mallas de nylon.

EL AGUA EN LA NUBE

Antes de ver cómo se desarrolla una campaña anti-granizo es conveniente recordar y conocer algo del comportamiento del agua en la nube.

En la atmósfera existe siempre, en mayor o menor grado, vapor de agua, es decir, hay miles de millones de moléculas de agua, precisamente en ese estado molecular invisible. Por distintos procesos, que no vienen al caso, miles de estas moléculas se agrupan para formar una microgota, haciéndose entonces visible en su conjunto, constituyendo así las formas nubosas que vemos flotar en la atmósfera.

En cada cm^3 de nube pueden contarse entre 70 y 200 gotitas de un diámetro medio de 40μ . Hay de muchos tamaños; las muy pequeñas de 4μ y las muy grandes de 200μ . Podemos calcular que un metro cúbico de nube tiene entre 0,3 y 5 gramos de agua líquida, siendo este valor muy variable en los distintos niveles y localizaciones de las grandes masas cumuliformes.

Un cúmulo en fase de desarrollo que tuviera una base de 1 Km^2 y un espesor de 2.000 metros vendría a contener un peso superior a las 1.000 toneladas de agua. Si pensamos en un cumulonimbo ya desarrollado de 6 u 8 mil metros de espesor y que cubriera una superficie de algunos Km^2 calcularíamos un peso en agua del orden de las 50.000 a 300.000 toneladas.

Las microgotitas de las nubes presentan una resistencia a la congelación. Todos sabemos que el agua pasa al estado sólido en cuanto alcanza los 0°C . Pues bien, esto no sucede así en una masa nubosa. Esas gotitas permanecen en su totalidad en estado líquido hasta los -8°C y puede decirse que es a partir de los -15°C cuando empiezan a aparecer algunos cristales de hielo. Cuando alcanzan

unos 9.000 metros de altura, con temperaturas de -35°C , todas las gotitas se han transformado en cristales de hielo. Estamos suponiendo que estos cristales, no excesivamente grandes, se mantienen en equilibrio dado que su velocidad de caída, que podría estimarse en 1 cm./seg. , puede contrarrestarse con los movimientos verticales del aire.

Ahora bien, supongamos que un cristal de hielo inicia su descenso, entonces se encuentra con otros cristales de hielo y con gotitas de agua subenfriada con los que choca, congelándose inmediatamente y aumentando su tamaño. A este proceso se llama «coalescencia». Esto nos sugiere la idea de cómo se forma el granizo. Pero antes de continuar hemos de decir que hoy, efectivamente, se sabe mucho más de la formación del granizo de lo que se sabía antaño, pero no puede darse una unidad de doctrina, una teoría completa y acorde, que nos explique todos los efectos físicos que se producen en el interior de un cumulonimbo, incluyendo la formación de las grandes piedras de granizo del tamaño, como ya hemos visto, hasta de 1 kg. de peso.

Hemos de pensar también que para que se forme un granizo de unos 3 cm. de diámetro se necesitan alrededor de diez mil millones de gotitas subenfriadas y que éstas, en el interior de la nube, ocupan un espacio de unos 100 m^3 .

Dentro de las distintas teorías que existen acerca de la formación del granizo, quizás la más verosímil sea la de Frank H. Ludlam (fig. 7). Supongamos que en la parte superior de la nube se forma una aglomeración de cristales o una gotita más gruesa que se ha congelado y que, al aumentar su peso, inicia el descenso. En su trayecto se encontrará otros cristales y otras gotitas que se unirán por coalescencia, aumentando así su diámetro y, en consecuencia, su peso. Debido precisamente a ese incremento de peso aumenta la velocidad de caída. Pero

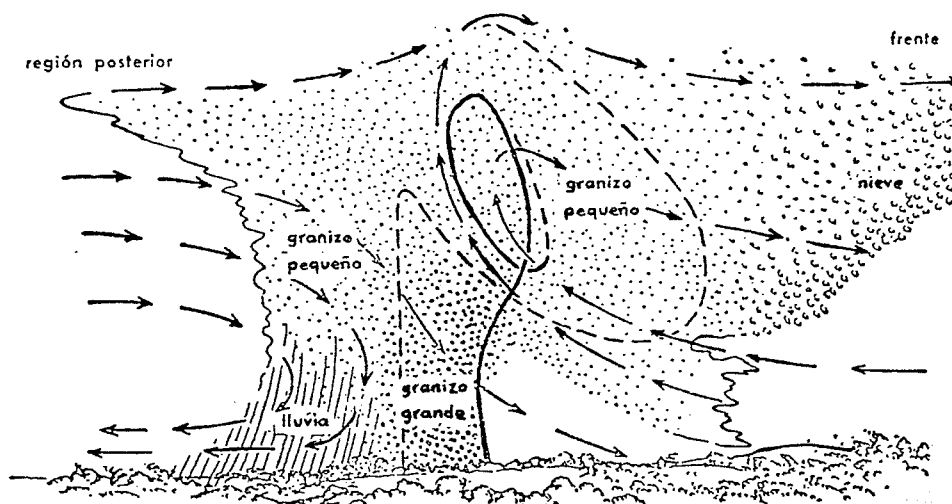


Fig. 7.—Modelo de tormenta propuesto por Ludlam.

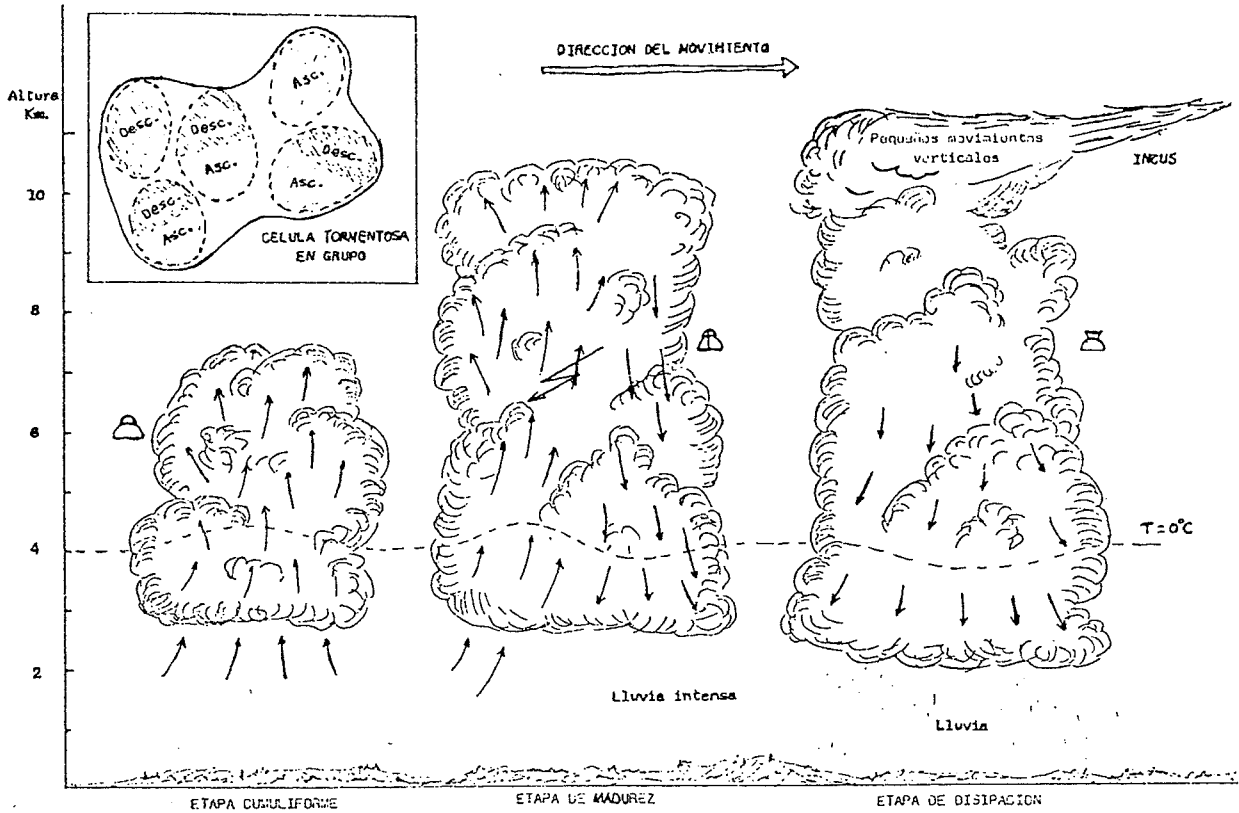


Fig. 8. — Fases de una tormenta y célula tormentosa en grupo.

llega un momento en que estas aglomeraciones llegan a una zona de la nube en la que existen corrientes ascendentes más importantes las cuales arrastran a esta piedra hasta niveles superiores. A lo largo de la trayectoria el propio flujo las va desplazando hacia las márgenes del tubo de corriente hasta que, de nuevo, quedan en una zona en la que la velocidad de caída es superior a la velocidad de las corrientes ascendentes y, en consecuencia, se inicia un nuevo recorrido descendente, repitiéndose varias veces, acumulando cada vez más agua congelada y creciendo sin cesar hasta que la velocidad de caída supera la opuesta de ascenso del viento. Si el contenido de agua es suficiente, en el transcurso de unos treinta minutos pueden formarse ya granizos de cierta entidad.

Aun cuando esta teoría no está totalmente demostrada, los estudios realizados con radar demuestran la posibilidad de su certidumbre.

El aspecto alternativo de capas de hielo lechoso y transparente se explica por los ascensos y descensos, en función de la velocidad de congelación, teniendo en cuenta la influencia que en este aspecto tiene el calor latente de congelación. Para que un gramo de agua se congele ha de liberar 80 calorías. Si la acumulación de gotitas es muy rápida, impide que este calor pueda disiparse rápidamente y, en consecuencia, van congelándose lentamente formándose una capa de hielo transparente. Si la congelación es inmediata, atrapa entre los cristales microburbujas de aire que dan un aspecto lechoso a la capa del granizo.

LA NUBE DE TORMENTA

Hemos visto hasta ahora el detalle de cómo se forman las gotitas y el granizo. Pero la impresionante nube de tormenta, en su conjunto, merece una consideración, aunque sea breve.

Entre los años 1945 y 1950 promovido por H. R. Byers y R. R. Braham, de la Universidad de Chicago, se llevó a cabo un ambicioso programa denominado «Thunderstorm Project». Diversos aviones, especialmente preparados para esta investigación, cruzaron numerosas zonas de tormentas midiendo múltiples parámetros, lo que permitió llegar a determinadas conclusiones.

Existe una primera etapa de formación y desarrollo (fig. 8) en la cual todas las corrientes de aire son ascendentes. La nube va creciendo desmesuradamente pasando de una fase de cúmulus a la de cumulonimbus-calvus, etapa ésta de madurez. La cima de la nube se presenta exuberante, con aspecto de coliflor. Dinámicamente se inician las corrientes descendentes que arrastran los chubascos de agua y granizo e impulsan, a nivel de suelo, las ráfagas violentas previas a la tormenta. Por diversos procesos, se van acumulando cargas eléctricas de signos contrarios en distintas zonas de la nube pero que, simplificando, podríamos situar las positivas en la cima y las negativas en la base, desarrollándose los fenómenos eléctricos, relámpagos y rayos, propios de una tormenta, y los derivados fenómenos acústicos, los truenos. La tormenta está en la culminación de su actividad.

Paulatinamente la cima crece en forma filamentosa y va aplastándose presentando, al final, una zona superior a modo de yunque, del que ha recibido su nombre. Es la etapa de disipación. La nube es un cumulonimbus-incus. Van cesando las corrientes verticales, va desapareciendo la virulencia interna que se refleja en las formas externas de la nube. Va desgastándose en mansa lluvia y las descargas eléctricas se perciben cada vez más débiles.

Si se hace el balance energético de una tormenta, considerando la energía cinética de las masas de aire, la liberación de energía calorífica por licuación y solidificación y la energía eléctrica en las descargas internas y descargas a tierra se obtiene un valor tan importante que podemos compararlo con el de más de cien bombas atómicas de las que se lanzaron en Nagasaki. Afortunadamente la energía de nuestra tormenta está distribuida sobre una gran extensión en el espacio y los efectos no son, ni con mucho, aquellos tan desastrosos que padecieron las tristemente célebres ciudades japonesas.

Hemos visto como nace y muere una nube; este proceso viene a durar algo menos de una hora, considerándose vieja una tormenta de más de una hora y media. Pero otra de las conclusiones del Thunderstorm Project fue que, por regla general, una tormenta está constituida por distintas células (fig. 8) que se hallan en fases diferentes de desarrollo. Mientras unas están en la etapa de madurez, otras lo están en la de formación y otras en la de disipación, ayudando estas últimas a la alimentación y regeneración de las anteriores. De ahí que una tormenta pueda seguirse, como veremos más tarde, durante algunas horas, en la pantalla de radar.

CLASES DE TORMENTAS

En nuestra zona podemos considerar, básicamente, dos tipos de tormentas: las de frente frío y las de masa de aire llamadas también tormentas de calor.

Un frente frío es la zona de separación, o de fricción, entre dos masas atmosféricas bien diferenciadas. La anterior cálida y la posterior, fría. La masa fría, más veloz y densa que la cálida, penetra en forma de cuña en los estratos junto al suelo, forzando la elevación del aire cálido y húmedo y favoreciendo la formación de nubes de desarrollo que pueden ser de considerable potencia en función de la actividad del sistema frontal. La defensa antigranizo, en este caso, se hace más difícil ya que las masas nubosas son importadas, irrumpen en la zona de siembra ya formadas y, en numerosas ocasiones, en la fase de madurez, cuando los movimientos verticales son descendentes. No obstante en su avance pueden incorporar parte de la siembra y mitigar, en algún modo, los daños.

Pero las más corrientes son las de masa de aire o tormentas de calor. El aire cálido y húmedo de junto al suelo disminuye su densidad y, como un gran globo infantil, asciende en la atmósfera expandiéndose, enfriándose y condensándose en gotitas de agua formando la gran nube tormentosa. Estas nubes son de formación caótica. Unas crecen aquí y otras allá y, a juzgar por las observaciones realizadas hasta ahora por el radar, no parece tengan lugares privilegiados para su formación. La ladera de una montaña favorecerá la ascensión del aire cálido. Son nubes lugareñas que se trasladan a zonas próximas gobernadas por los vientos dominantes en altura. Sobre este tipo de nubes la acción de una defensa es mucho más eficaz.

LA DEFENSA CONTRA EL GRANIZO

Los objetivos actuales no son los de suprimir el granizo, sino el de disminuir su diámetro de modo que el granizo sea muy menudo para evitar el daño.

Hemos visto que los culpables del «engorde» del granizo son las gotitas de agua subenfriada. La solución inmediata es eliminar esa alimentación, disminuir el número de gotitas de agua subenfriada. Y ¿cómo? Lo hemos indicado ya anteriormente. Los microcristales de ioduro de plata, posiblemente por la semejanza que tiene su estructura cristalina con la del hielo, actúan como gérmenes de cristalización de las gotitas de agua subenfriadas de tal modo que éstas pasan a la fase sólida cristalina.

Si se siembra una nube con miles de millones de cristalitos de ioduro de plata, al ser alcanzados por las gotitas de agua subenfriada, cristalizarán disminuyendo la posibilidad de la formación de granizos grandes cuando se fundan por coalescencia. No se evitará totalmente la formación del granizo porque ni la aportación de núcleos glaciógenos es tan numerosa como la de gotitas subenfriadas de la nube, ni cabe esperar que todas capten un microcristal para su solidificación. Ahora bien, se habrá disminuido, en gran medida, el volumen de agua subenfriada a la par que aumentan los núcleos sobre los cuales puede iniciarse la formación de un granizo. Se consigue así un gran número de granizos, pero mucho más pequeños.

Se han ensayado y se utilizan otras sustancias, como sulfuro de cobre y óxidos de cerio y zinc para sustituir al ioduro pero parece que éste, hasta el momento, es el más eficaz.

Una vez vista la solución se ha de pensar el modo de fabricar esos microcristales (cuanto más pequeños mejor) y situarlos en la nube.

Surgen aquí muchas discusiones, proyectos y métodos, los cuales, como ya hemos indicado anteriormente, están todos en una fase experimental y

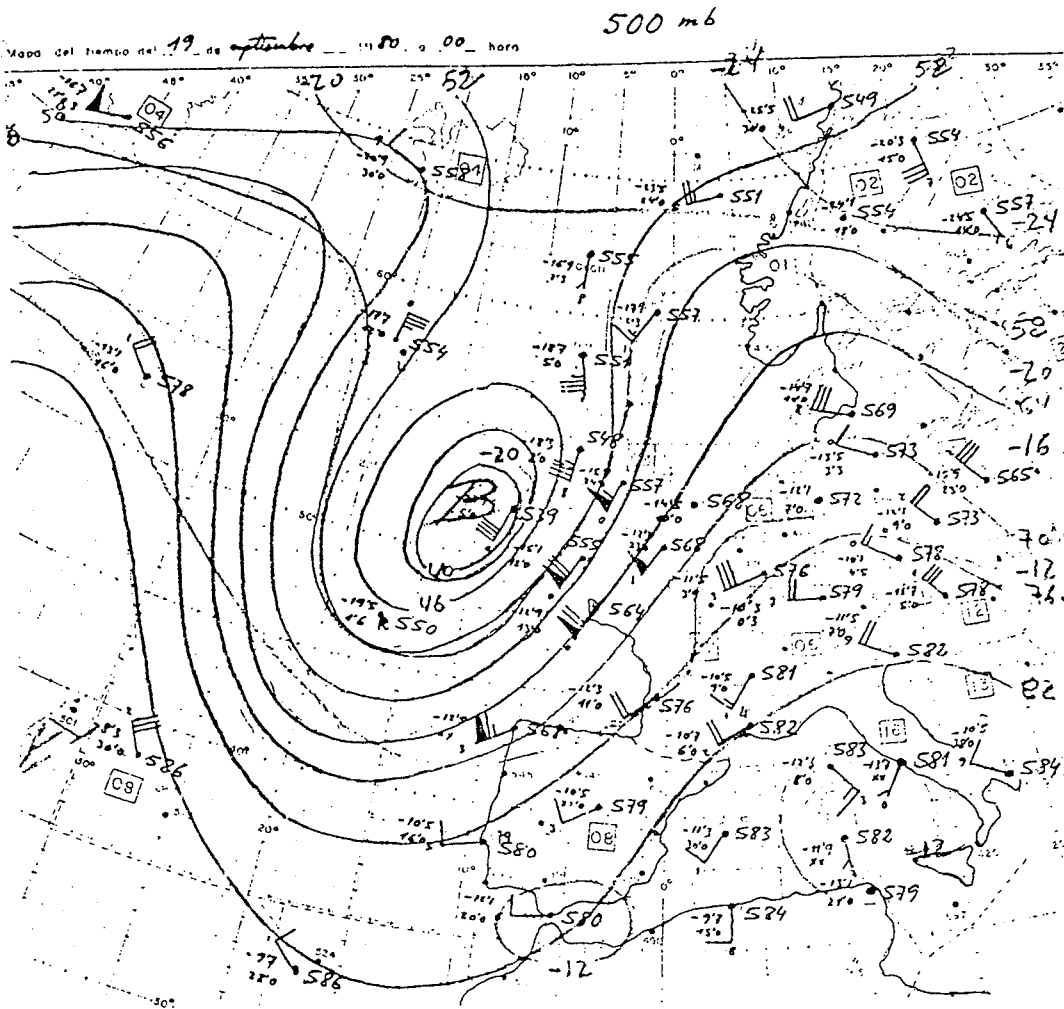


Fig. 9. — Topografía de 500 mb a las 00 Z del 19.9.1980

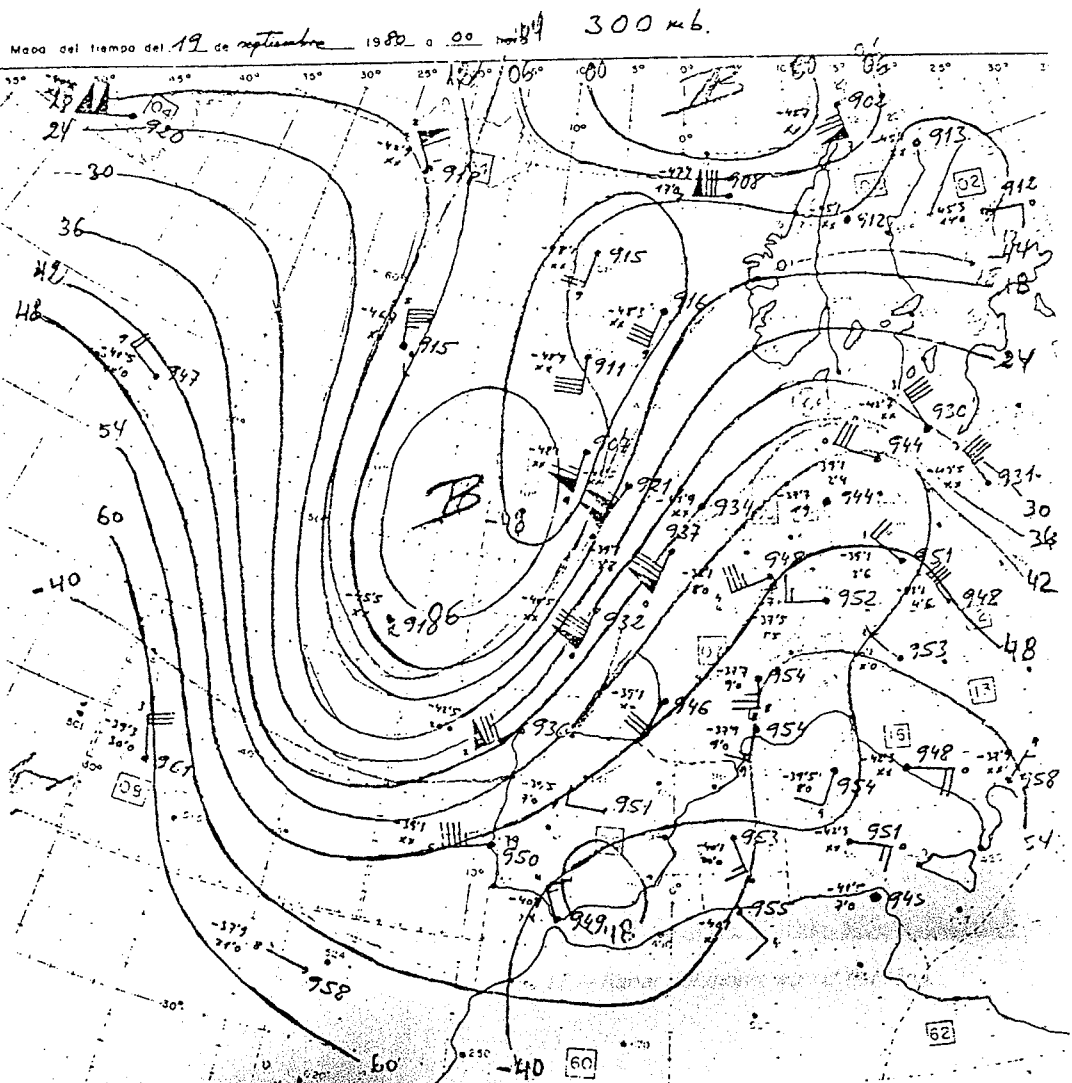


Fig. 10. — Topografía de 300 mb, a las 00 Z del 19.9.1980

ninguno de ellos ha demostrado hasta ahora su total eficacia.

El sistema más divulgado en España es, actualmente, la siembra de nubes desde el suelo aprovechando las corrientes ascendentes de la atmósfera que participarán en la formación de la nube.

Los quemadores y generadores acetónicos (fig. 4) producen una nube, apenas perceptible, de millones de microcristales de yoduro que se elevan a los niveles superiores con el aire recalentado en el suelo. Es una siembra general en la zona de defensa que prepara la atmósfera para que, la posible nube que allí se forme, encuentre los núcleos glaciógenos precisos para evitar los grandes granizos.

UN DIA DE CAMPAÑA

La defensa mediante siembra desde el suelo exige un pronóstico meteorológico del riesgo, o no riesgo, de formación de núcleos tormentosos. Para realizar este pronóstico se inician los trabajos en las primeras horas de la madrugada en que los teletipos del Instituto Nacional de Meteorología comienzan a dar la información de todos los observatorios sinópticos de Europa y Atlántico Norte, así como los partes TEMP procedentes de las estaciones de radiosondeos.

Estos miles de datos se transcriben en mapas apropiados, llevando alrededor de cada punto de estación, en forma simbólica y abreviada, los datos transmitidos. Con ellos se trazarán las isolíneas correspondientes al mapa de superficie y las topográficas de 850 mb (unos 1.500 metros), 700 mb (unos 3.000 metros), 500 mb (unos 5.500 metros) y 300 mb (unos 9.000 metros), (fig. 9 y 10).

Simultáneamente se desarrollan los sondeos termodinámicos que rodean la zona de predicción y que, en nuestro caso, son los de Nimes, Burdeos, La Coruña, Madrid y Palma. Se analiza la estabilidad o inestabilidad de la atmósfera, el contenido de humedad en las distintas capas, la temperatura que debe alcanzarse para que pueda producirse la elevación de las masas de aire y, en consecuencia, la formación de cúmulos, la altura de la tropopausa, etc., etc.

Sería muy interesante disponer de un sondeo que facilitara los datos de temperatura y humedad en los primeros 3.000 metros de junto al suelo de la zona central de la de predicción puesto que permitiría reconstruir el sondeo de una región peculiar, dentro de la cuenca del Ebro, ya de por sí muy modificada en sus características meteorológicas en los estratos bajos, a consecuencia de los sistemas orográficos que la circundan.

Este conjunto de mapas y diagramas se estudia y analiza cuidadosamente teniendo en cuenta las

evoluciones previstas de la situación actual facilitada, mediante facsímil, por los Centros de Predicción en donde se dispone de ordenadores apropiados para la elaboración de mapas previstos. Se realiza así un análisis de la situación y un pronóstico para ese día.

Superpuesto a todo lo anterior se estudian índices objetivos de predicción que, basados en datos meteorológicos, permitan algún día dar ese pronóstico con criterio totalmente objetivo. Se han ensayado diversos índices como los de Showalter, Fabus-Miller, Witting, Galway, etc., sin que hasta el momento se hayan obtenido conclusiones satisfactorias. No obstante parece ser se está en un camino certero, aunque queda todavía bastante por perfeccionar y comprobar.

Los radaristas informan de la observación primera del día y de lo observado el día anterior. Se comunica el aviso correspondiente a las emisoras de radio que cubren las distintas zonas de predicción, para su difusión, repetida, a través de sus antenas.

El encargado del generador cumple el cometido de iniciar la siembra. Las Cámaras confeccionan una tarjeta de los meteoros que han observado ese día en el término municipal y, al día siguiente, se cursan por correo al centro de Informática para que los procese.

EL RADAR

Los organismos responsables de las distintas campañas mantienen dos radares meteorológicos OMERA propiedad del Ministerio de Agricultura, instalados uno en el monte de El Perdón (fig. 11), al SW de Pamplona, a una altitud de 1.000 metros y otro en las proximidades del vértice San Caprasio, en la sierra de Alcubierre, en el límite de las provincias de Huesca y Zaragoza.

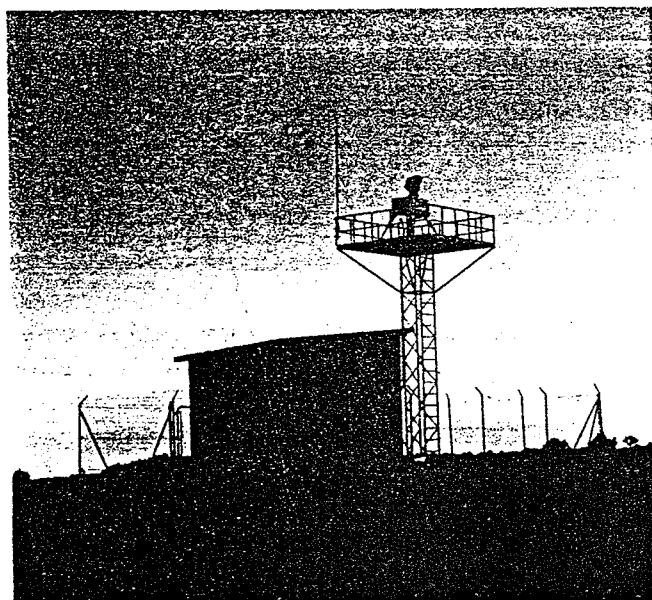


Fig. 11. — Radar del monte de «El Perdón».

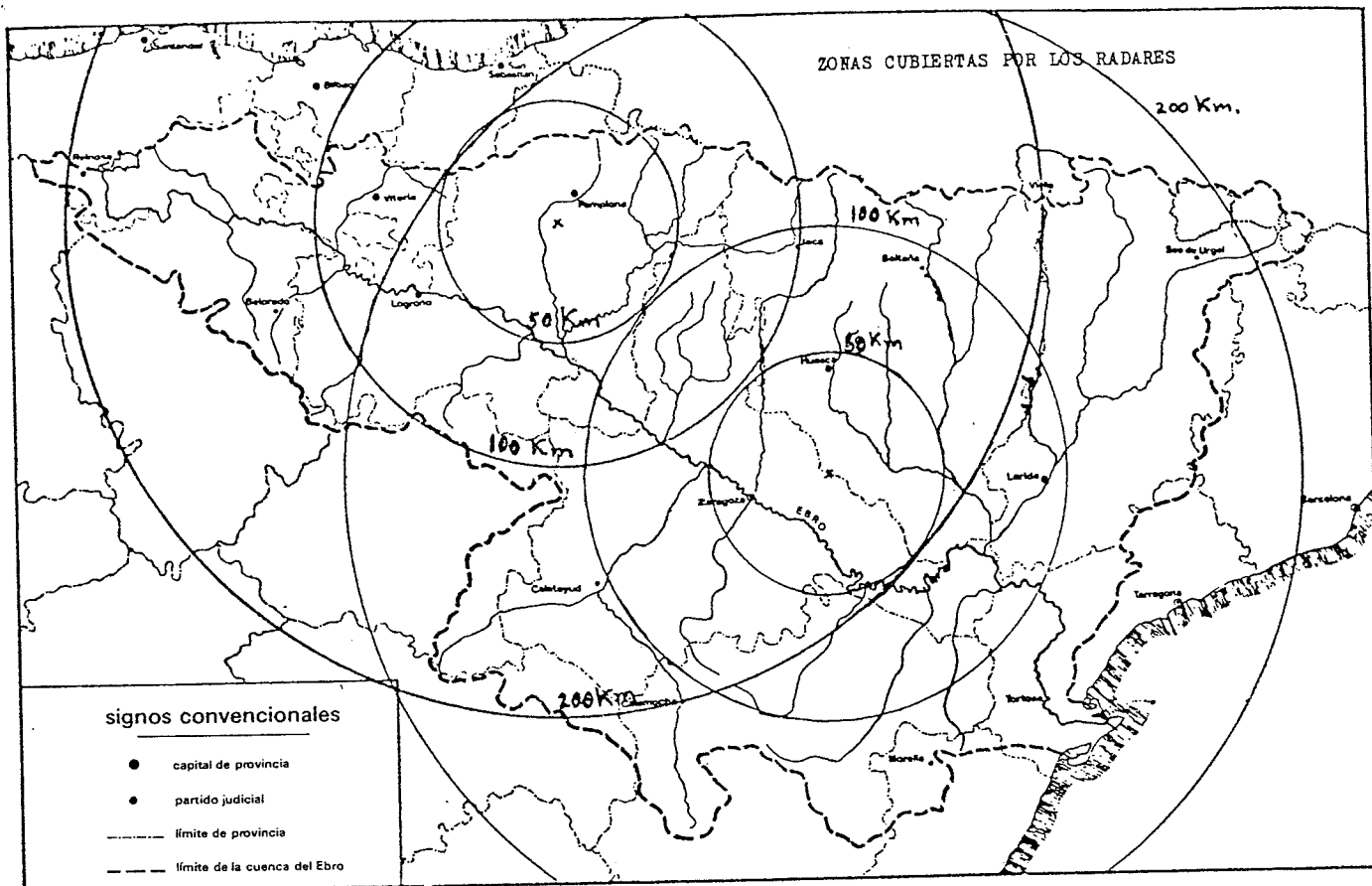


Fig. 12. — Zonas de alcance de los radares.

Estos radares pueden actuar en tres tipos de escala, según el alcance que se desee obtener: 50, 100 ó 200 Km. En la figura 12 podemos ver un mapa en el que se han señalado los distintos límites de alcance. Entre ambos radares cubren prácticamente la totalidad de la cuenca del Ebro quedando la zona central del valle, cubierta por ambos.

La misión encomendada actualmente a estas instalaciones es la de detección y seguimiento de núcleos tormentosos e información para estudios posteriores y no, como se ha dicho en numerosas ocasiones, la de predicción. Además facilita diariamente a la oficina meteorológica un resumen de la actividad del día anterior. Actualmente la comunicación por radio entre radares y oficina meteorológica permite conocer las evoluciones y novedades a lo largo del día.

A partir de las 09 Z se inician las observaciones sistemáticas de los radares. Tanto uno como otro, con ritmo horario, cifran los núcleos tormentosos visibles en la pantalla del radar y efectúan una fotografía de la misma (fig. 13). Posteriormente esta información se transcribe a los mapas y puede estudiarse la evolución de las masas nubosas que, junto con la información de los puestos de observación en el suelo, permiten reproducir los sucesos acontecidos y relacionarlos con los mapas meteorológicos.

El radar en el sistema de defensa mediante generadores desde el suelo, es una herramienta para estudios de situaciones y trayectorias, pero no incide directamente en el pronóstico del riesgo. Por regla general en las observaciones de primeras horas de la mañana el radar no detecta actividad, salvo en alguna situación meteorológica de manifiesta virulencia.

El radarista, a la vista de la pantalla, acota los límites de un núcleo dando las distancias a las que se encuentran los límites más próximo y más lejano y los ángulos de los extremos marginales. Mediante el movimiento vertical de la antena determina el ángulo con que ve la cima de la nube y con una simple fórmula se calcula la altura de la masa nubosa.

El radarista permanece en el puesto de observación mientras persiste la actividad tormentosa visible en pantalla o, como sucede en ocasiones, en las que la actividad se prolonga excesivamente, hasta que el agotamiento humano le obliga a abandonar el trabajo.

Hemos de hacer notar la dureza del trabajo de estas personas que abandonadas en un monte soportan todos los días de campaña, durante largas horas, el agobio del calor en una sencilla casilla, o la actividad de la tormenta, en toda su virulencia, porque han quedado rodeados por la parte inferior de un cumulonimbus que avanza.

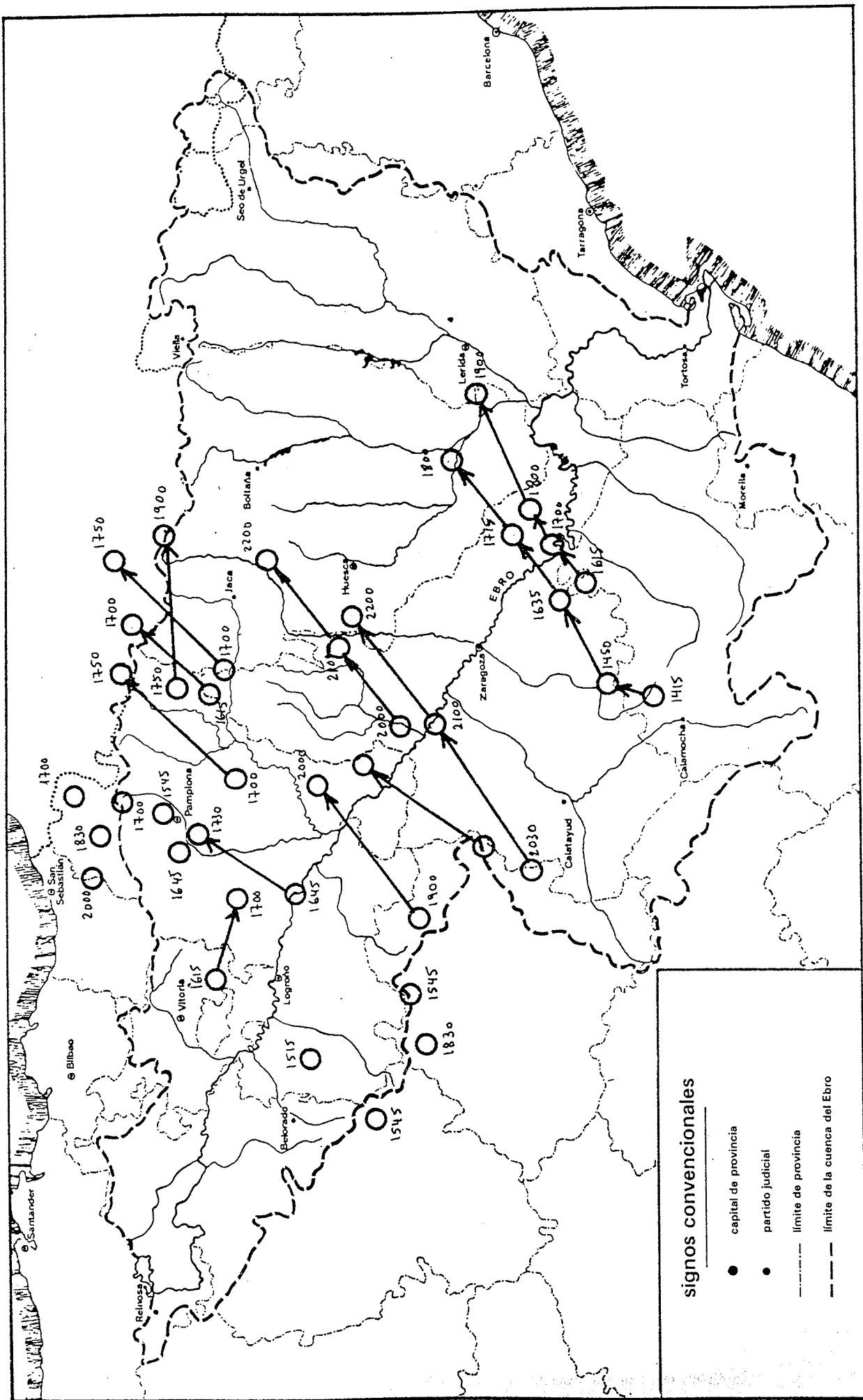


Fig. 14. — Esquema de las trayectorias nubosas correspondientes al 16.8.1977

Toda esta información, aparentemente perfecta, queda mitigada por las limitaciones técnicas del propio aparato. Así, es casi seguro, que cuando una potente masa nubosa rodea el radar, se ve incapacitado para escudriñar aquello que puede existir más allá de los límites de la masa nubosa. Esta deficiencia puede subsanarse, en algunas zonas, por la superposición de las áreas cubiertas. Las tormentas nocturnas también quedan fuera de todo registro por estar el radar inoperativo.

LA CAMPAÑA HA TERMINADO

Hasta ahora hemos visto el ritmo de uno y otro día de los que constituyen la campaña. Cuando ésta termina quedan cientos de mapas del tiempo elaborados, centenares de observaciones realizadas, miles de informes procedentes de las Cámaras, relaciones de peritación de daños y otra numerosa información que, aparentemente despreciable, es de gran importancia.

Se inicia ahora el trabajo retrospectivo de la campaña, ordenando y clasificando los partes de tierra y transcribiéndolos a otros mapas; esquematizando sobre un mapa las observaciones de radar (fig. 14) y analizando de nuevo las situaciones meteorológicas con los sucesos acaecidos. Estudiando por qué se dio «riesgo» y no hubo actividad tormen-

tosa y por qué se dio «no riesgo» y sí la hubo. En pocas palabras se inicia la fase de crítica y autocrítica constructiva para que los pronósticos meteorológicos sean más certeros. Igualmente se analizan los índices de pronóstico en estudio, tratando de modificar los parámetros que intervienen, delimitando así las condiciones que en su día constituirán las reglas para el logro del fin que se persigue.

LAS ZONAS DE DEFENSA EN LA CUENCA DEL EBRO

El problema del granizo en estas tierras del Ebro ha preocupado desde antaño debido a que son eminentemente agrícolas. Quizás la red de defensa más antigua sea la establecida por los arroceros del Delta del Ebro, seguidos por los agricultores de Lérida y por algún «francotirador» en La Rioja. Estos sistemas estaban basados todos en el disparo de cohetes, unos solamente con carga explosiva y otros con una cabeza cargada de ácido clorosulfónico que se dispersaba en la explosión al llegar el cohete a su cota máxima.

Pero la defensa organizada como tal surge en 1969 en las zonas de Navarra, La Rioja y Rioja Alavesa, emulando las campañas experimentales que se realizaban en las zonas de Requena-Utiel mediante la siembra, desde el suelo, de núcleos

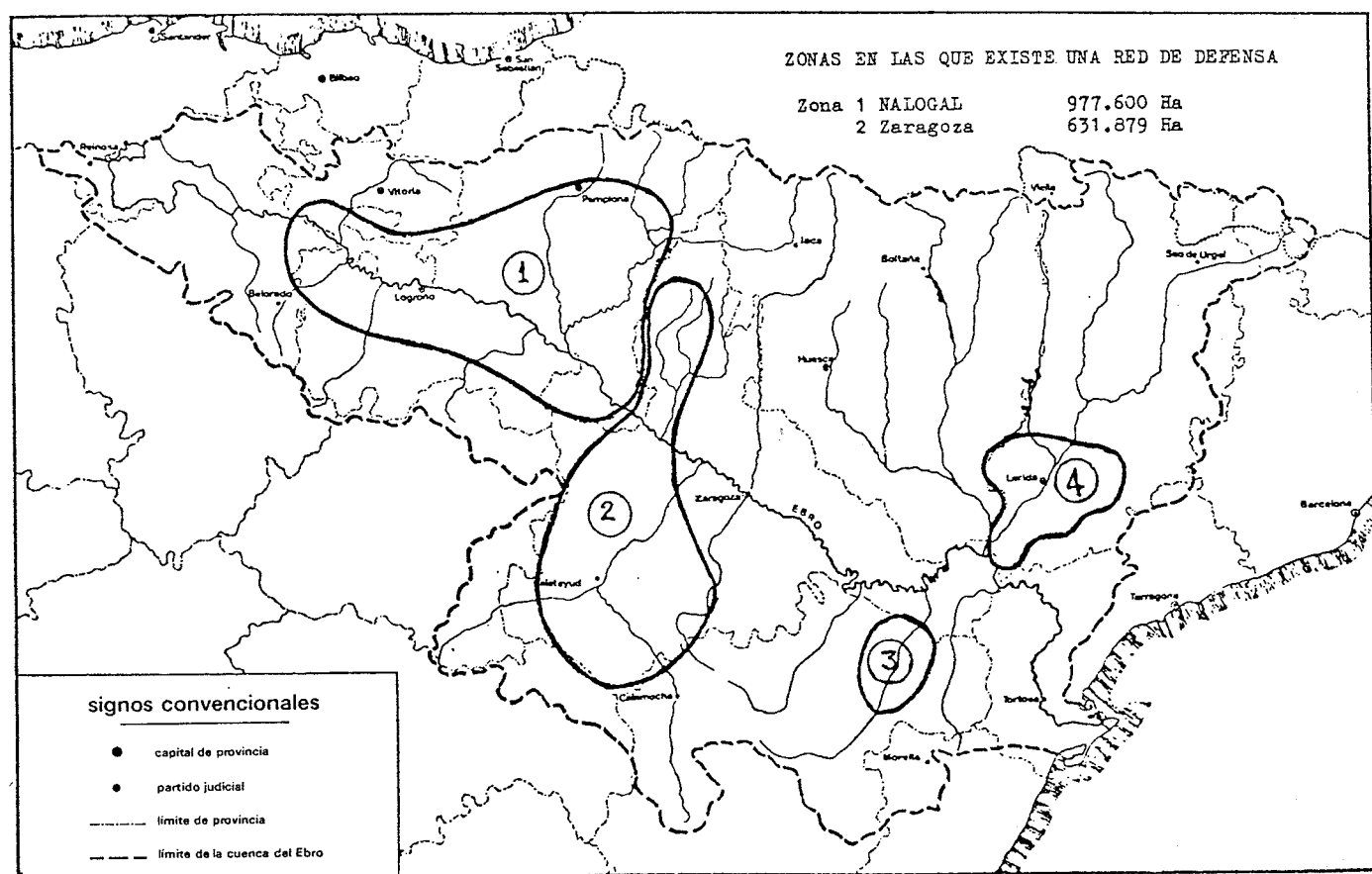


Fig. 15.—Distribución de las zonas de protección en el valle del Ebro.

glaciógenos de ioduro de plata empleando los quemadores de carbón activo (fig. 3). Es así como surge una amplia zona protegida de 977.600 Has. Años más tarde, en 1974, se cambió el sistema de siembra sustituyendo los quemadores por los generadores acetónicos (fig. 4) tipo Dessens, después que éste realizara una misión técnica, como experto de la OCDE, sobre la lucha contra el granizo en el valle del Ebro.

Siguió una zona experimental apoyada por el Ministerio de Agricultura en las tierras de la Laguna de Gallocanta y Calamocha, de las provincias de Zaragoza y Teruel. Estas áreas protegidas fueron incrementándose progresivamente y actualmente cubren una superficie de 631.880 Has. a lo largo del Jalón, extendiéndose hasta la comarca de las Cinco Villas y el campo de Cariñena (fig. 15).

En 1976 se establecen dos nuevas zonas utilizando generadores acetónicos de ioduro de plata: la zona de Lérida, de 250.000 Has. que cubre las tierras de la llanada del Urgel y otra zona denominada Bajo Aragón que protege 93.000 Has. de las tierras del Guadalupe, en la Provincia de Teruel, en el entorno de Alcañiz.

Finalmente en 1978 se incorporó una nueva zona, la de La Litera, en la provincia de Huesca, al noroeste de la zona protegida de Lérida, rebasándose los dos millones de hectáreas protegidas en toda la cuenca del Ebro.

CONSIDERACIONES FINALES

Sería una presunción por nuestra parte emitir un juicio de la eficacia o no eficacia del sistema de siembra mediante generadores acetónicos de ioduro de plata.

En julio de 1980 se reunía en Clermont-Ferrand (Francia) la Tercera Conferencia de la Organización Meteorológica Mundial sobre la Modificación Artificial del Tiempo. En un simposio, dentro de esta conferencia, se trató de la Eliminación del Granizo. Expertos de numerosos países, estudiaron y analizaron los planteamientos y los resultados de los sistemas de defensa presentados por Bulgaria, Canada, Estados Unidos, Francia, Suiza y Rusia. Bajo un punto de vista de rigor estadístico de las conclusiones sólo se consideró aceptable el proyecto «Grossversuch IV» internacional de Suiza (basado en métodos de la URSS) y, a pesar de ello, no se pronunciaron todavía por considerar que los resultados no

son significativos. Con esta exposición queremos justificar cuanto decíamos al principio.

Pero es más, mientras en otras naciones se dispone de medios técnicos muy avanzados, laboratorios especializados y numerosos expertos (en Bulgaria trabajan 1.400 personas, a jornada completa, en la eliminación del granizo), en España, no disponemos ni de medios técnicos ni humanos para competir con las investigaciones de otros países y estamos todavía muy lejos para ponernos al nivel medio del conjunto.

Por ello debemos, en principio, aprovechar las experiencias ya realizadas, adaptar sistemas ensayados en otros lugares con resultados comprobados más o menos aceptables, siempre y cuando las instalaciones y procedimientos estén al alcance de los medios económicos disponibles. Estimamos que éste es el criterio que hasta ahora se ha seguido, adaptando un sistema de defensa que, sin ser el mejor, porque todavía no lo hay, es el más apropiado hasta el momento. Pero no existe un conformismo, todo lo contrario, es vivo el deseo de encontrar otro sistema que satisfaga con plenitud los anhelos del agricultor dentro de la armonía que debe existir entre costo y beneficio.

I N D I C E

=====

- I.- INTRODUCCION
- II.- METEOROLOGIA DE LAS NUBES DE GRANIZO
 - El agua en la nube
 - Fases de la evolución del cumulo-nimbus
 - clases de tormentas
 - fundamento meteorológico de la lucha
- III.- SITUACION DEL VALLE DEL EBRO
 - Condiciones topográficas
 - Condiciones meteorológicas
- IV.- HISTORIA DE LA DEFENSA ANTIGRANIZO
- V.- METODOS DE DEFENSA
 - Directos
 - Indirectos
 - Aeronaves
 - Cohetes y artillería
 - Generadores de suelo
- VI.- DEFENSA ANTIGRANIZO EN ESPAÑA

I.- INTRODUCCION

Importancia del fenómeno

El granizo es un fenómeno tan antiguo como la propia atmósfera, aunque sin duda comenzó a ser un problema importante cuando el hombre dejó de ser nómada y se hizo sedentario, dedicándose a la ganadería y agricultura.

La primera referencia sobre una granizada data de 1440 a. d.J.C. (aproximadamente), se narra en el libro del Exodo con motivo de la lucha de los Faraones con Moises y las plagas que asolaron Egipto; el granizo fue la séptima.

En los países avanzados no suelen mencionarse daños personales causados por el pedrisco, tales como los que tuvieron lugar en Francia, en el año 1977 en un campamento de vacaciones, pero en lugares como la India, se da el caso de que una fuerte tormenta produzca centenares de muertes debidas al pedrisco. Concretamente en Modarab (India) en 1888 murieron 250 personas por esta causa, tanto por los impactos como por la congelación que sufrieron al quedar atrapados en la capa de hielo.

En Octubre de 1898 en Bizerta (Tunez) se localizaron granizos de hasta 1 Kg. de peso y en España se hizo famosa la granizada del día 9 de Junio de 1899 en Madrid, que cubrió las calles con 50 cms. de espesor de granizos del orden de los 200 g.

El anecdotario del granizo es interminable y podríamos emplear todo el tiempo de esta conferencia enumerando calamidades como las anteriores que aunque sin duda tienen su importancia, no son el tema que nos ocupa.

En nuestras latitudes el verdadero problema no son los daños personales, sino los provocados a los cultivos agrícolas. Por ejemplo, en el año 1983 en la zona de Alava, Rioja y Navarra se perdieron alrededor de 1.700 millones de pesetas a causa de este fenómeno, situándose la cifra media de pérdidas de los últimos años próxima a los 500 millones.

II.- METEOROLOGIA DE LAS NUBES DE GRANIZO

El agua en la nube

En el aire atmosférico existe siempre, en mayor o menor grado, vapor de agua. Cuando la superficie terrestre es calentada por el sol, aumenta la temperatura de las capas de aire próximas al suelo, al irradiar el calor. El aire caliente disminuye su densidad y asciende en forma de burbujas que se enfrían a medida que alcanzan cotas más altas, hasta llegar a una zona en la que se produce la condensación formando cumulos, siempre que la atmósfera es inestable.

El proceso físico de la condensación desprende el calor latente y acelera la corriente ascendente de la nube, creciendo cada vez más. Aparecen fuertes corrientes ascendentes que la alimentan alcanzando alturas de 6000 ó 7000 metros.

El agua en la nube está en forma de microgotas de un diámetro que va desde 4 micras hasta 200 micras, normalmente se estima que pueden encontrarse de 70 a 200 gotitas/cm³.

Cuando la nube ha llegado a su crecimiento máximo, supongamos 10.000 metros, el agua se encuentra en tres estados distintos:

1.- Hasta los -8°C todas las microgotas están en forma líquida.

2.- Desde -8°C hasta -35°C las microgotas presentan una resistencia a la congelación y solamente a partir de los -15°C aparecen algunos cristallitos de hielo. En esta zona se dice que el agua está ^{super}subenfriada.

3.- A partir de los -35°C, que suele corresponder a los 9000 metros de altura, todas las microgotas están en forma de cristales de hielo.

Supongamos que un cristal de hielo inicia su descenso, entonces se encuentra con otros cristales de hielo y con gotitas de agua subenfriada con los que choca, congelándose inmediatamente y aumentando su tamaño. Debido a esta coalescencia podemos hacernos una idea de cómo se forma el granizo.

Actualmente se conoce mucho más acerca de la formación del granizo, pero todavía no puede darse una teoría completa que nos explique todos los efectos físicos que se producen en el interior de un cumulo-nimbo.

Dentro de las distintas teorías que existen acerca de la formación, quizás la más verosímil sea la de Frank H. Ludlam, que voy a explicar a continuación:

Supongamos que en la parte superior de la nube se forma una aglomeración de cristales, que debido a su peso, inicia el descenso. En el trayecto se encontrará con otras gotitas y cristales, a las que se unirá por coalescencia aumentando su tamaño, con lo cual incrementará la velocidad de caída. Llegará un momento en que estas aglomeraciones llegan a una zona de la nube en la que existen corrientes ascendentes más importantes, que arrastran a esta piedra hasta niveles superiores. A lo largo de la trayectoria, el flujo la va desplazando hacia las márgenes del tubo de corriente hasta que de nuevo queda en una zona en la que la velocidad de caída es mayor que la de las corrientes ascendentes, repitiéndose de nuevo el descenso y así sucesivamente, hasta que el volumen del aglomerado es lo suficientemente grande para que la velocidad de caída supere a la de las corrientes ascendentes y caiga por su propio peso.

Fases de la evolución del cumulonimbo

Entre los años 1945 y 1950 H. Byers y R. Braham de la Universidad de Chicago realizaron un proyecto llamado "Thunderstorm Project" con el fin de conocer la evolución de las tormentas, que permitió llegar a determinadas conclusiones.

Se observó que la evolución de una tormenta está dividida en tres fases perfectamente diferenciables:

1.- Fase de formación y desarrollo "Cumulus congestus"

Todas las corrientes de aire son ascendentes, la nube va creciendo desmesuradamente pasando de una fase de "cumulus" a la de cumulonimbus calvus.

2.- Fase de madurez "cumulonimbus calvus"

Llega un momento en que la nube no crece más y la cima se presenta exuberante, con aspecto de coliflor.

Dinamicamente comienzan las corrientes descendentes que arrastran los chubascos de agua y granizo e impulsan a nivel de suelo las ráfagas violentas previas a la tormenta.

Por diversos procesos se acumulan cargas eléctricas de signos contrarios en distintas zonas de la nube, situándose las positivas en la cima y las negativas en la base, desarrollándose los fenómenos eléctricos, relámpagos y rayos y como consecuencia los truenos. En este momento la tormenta está en la culminación de su actividad.

3.- Fase de disipación "cumulonimbus incus"

Paulatinamente la cima crece en forma filamentosa y va aplastándose presentando al final una zona superior a modo de yunque. Van cesando las corrientes ascendentes y desapareciendo la virulencia interna. La nube se desgasta en forma de lluvia y las descargas eléctricas son cada vez menores, hasta que desaparece.

Si hacemos el balance energético de una tormenta, considerando:

La energía cinética de las masas de aire

La energía calorífica liberada por licuación y solidificación.

La energía eléctrica de las descargas internas y externas

obtenemos un valor comparable al de cien bombas atómicas de las que se lanzaron en Nagasaki.

Todo el proceso descrito anteriormente viene a durar algo menos de una hora, considerando vieja una tormenta de más de una hora y media de duración.

Otra de las conclusiones de "Thunderstorm Projeet" fue que, una tormenta está constituida por diversas células que se hallan en diferentes fases de desarrollo. Esta es la causa por la cual puede seguirse la evolución de algunas masas nubosas durante varias horas en la pantalla del radar.

Clases de tormentas

En nuestra zona podemos considerar basicamente dos tipos de tormenta:

1.- Tormentas de Frente frío

Están provocadas por la fricción entre dos masas atmosféricas distintas: la anterior cálida y la posterior fría. La masa fría más veloz y densa que la cálida penetra en forma de cuña forzando la elevación del aire cálido y húmedo y favoreciendo la formación de nubes de desarrollo vertical.

2.- Tormentas convectivas o de masas de aire caliente

Se forman como he explicado al comienzo de este apartado. El aire cálido y húmedo que está junto al suelo disminuye su densidad y asciende en la atmósfera expandiéndose, enfriándose y condensándose en gotitas de agua formando una nube tormentosa.

Estas nubes son de formación caótica favoreciendo la ascensión del aire la topografía del lugar.

FUNDAMENTO DE LA LUCHA ANTIGRANIZO

Los objetivos actuales no son los de suprimir el granizo sino el de disminuir su diámetro de modo que el granizo sea muy menudo para evitar el daño.

Hemos visto que los culpables del "engorde" del granizo son las gotitas de agua subenfriada. La solución inmediata es eliminar esa alimentación, disminuir el número de gotitas de agua subenfriada. Y ¿cómo?. Lo hemos indicado ya anteriormente. Los microcristales de ioduro de plata, posiblemente por la semejanza que tiene su estructura cristalina con la del hielo, actúan como gérmenes de cristalización de las gotitas de agua subenfriadas de tal modo que éstas pasan a la fase sólida cristalina.

Si se siembra una nube con miles de millones de cristallitos de ioduro de plata, al ser alcanzados por las gotitas de agua subenfriada, cristalizarán disminuyendo la posibilidad de la formación de granizos grandes, cuando se fundan por coalescencia. No se evitará totalmente la formación del granizo porque ni la aportación de núcleos glaciógenos es tan numerosa como la de gotitas subenfriadas de la nube, ni cabe esperar que todas capten un microcristal para su solidificación. Ahora bien, se habrá disminuido, en gran medida, el volumen de agua subenfriada a la par que aumentan los núcleos sobre los cuales puede iniciarse la formación de un granizo. Se consigue así un gran número de granizos, pero mucho más pequeños.

III. SITUACION DEL VALLE DEL EBRO

Condiciones topográficas

Las regiones con más incidencia del granizo, están próximas a cadenas montañosas importantes:

- Sud-oeste de Francia al Nor-este de los Pirineos
- Región de Mendoza (Argentina) al Este de los Andes
- La zona de EE.UU. y Canadá al Este de las montañas Rocosas, principalmente Colorado y Alberta.
- Región de Kericho (Kenya)
- Región del Norte de la Cadena del Cáucaso (URSS), especialmente Georgia, que tiene una situación muy semejante al Valle del Ebro. Al Sur están las montañas de Armenia y al Norte el Cáucaso, formando un istmo de 400 Kms de anchura con el Mar Negro al Oeste y el Caspio al Este. Su latitud es de 43º, igual que en nuestro valle, produciéndose frecuentemente vientos rápidos en altura.

Las condiciones topográficas del Valle del Ebro son ideales para la formación del granizo:

- La Cordillera Ibérica, que bordea al Valle al Sur-oeste, agrava las situaciones por frente frío, provocando movimientos verticales de masas de aire en altura.
- La entrada de brisas cálidas y húmedas desde el mar Mediterráneo hacia el interior del Valle (efecto istmo), agrava las situaciones por convección.

Estos dos efectos son más notables en el centro del istmo, siendo más frecuente el granizo en la zona comprendida entre Logroño y Zaragoza. En esta zona se observa claramente el muro de la cordillera al Sur-oeste, pasando la altitud de más de 2000 m. a menos de 500 m. en pocos Kms.

Como tercera causa, puede influir que los vientos del SW en altitud corten sucesivamente la cordillera Ibérica y la Pirenaica, actuando los dos efectos conjuntamente, aumentando de esta forma los desplazamientos verticales de masas de aire sobre el centro del Valle.

Condiciones meteorológicas

Durante los meses de verano, las temperaturas medias de máximas, a nivel de suelo, en el Valle del Ebro, son superiores a los 29º, lo que hace que sean frecuentes las tormentas de calor. Estas tormentas pueden formarse en el Valle, pero lo más corriente es que aparezcan en la Cordillera Ibérica y se desplacen posteriormente en dirección SW-NE, arrastradas por los vientos a 700-500 mbs. El gran sobrecalentamiento del suelo hace que el mantenimiento de estas tormentas sea eficaz y pueden seguir creciendo durante su trayectoria.

Por otra parte, es importante la penetración de gotas de aire frío por el W-NW de la península Ibérica que además son difíciles de preveer por la falta de radiosondeos en Zaragoza.

IV.- HISTORIA DE LA DEFENSA ANTIGRANIZO

Seguramente que la lucha contra el granizo comenzó cuando el hombre experimentó los destrozos que el fenómeno producía en los cultivos y sin duda alguna, el primer método de defensa fue el empleo de las armas que tenía en ese momento posiblemente el lanzamiento de piedras contra las nubes.

A partir de entonces y hasta nuestros días, el granizo ha seguido siendo uno de los grandes problemas de la agricultura, y científicos, técnicos y agricultores no han dejado de pensar en el método ideal que permitiera controlar la caída de este meteoro. Muchos han sido los sistemas propuestos y casi todos los rechazados por su probada ineficacia, hasta que en la segunda mitad del siglo XX se ha estudiado la lucha desde el punto de vista científico.

En este apartado voy a describir cronológicamente las tendencias que se han sucedido a lo largo de la historia, hasta llegar al descubrimiento del fundamento actual.

- Los godos y los indios americanos emplearon el mismo sistema, según lo demuestran diversas ilustraciones, lanzando flechas contra las nubes con el fin de alejar la tormenta.

- A mediados del siglo XIV y principios del XV, al inventarse las armas de fuego, centenares de arcabuces y mosquetones hacían disparos contra las nubes amenazadoras.

- Posteriormente hay un cambio en la defensa, abandonándose al uso de objetos arrojadizos, para pasar al empleo de las ondas sonoras. Se utilizó el volteo de campanas, como lo demuestran numerosas inscripciones y grabados en los campanarios españoles. Por ejemplo, en la iglesia de San Pedro de Reus, hay una inscripción en una campana que dice: "Alejo el pedrisco y la nube amenazadora".

- Después de demostrar la naturaleza eléctrica de los rayos y la existencia de electricidad en las nubes de tormenta, surgió la idea de que la formación del granizo era debida, precisamente a las cargas eléctricas. Como consecuencia de esta teoría surgieron diferentes sistemas de lucha:

. los pararrayos granífugos o paragránizos, que datan de 1776 y eran simples estacas de madera afiladas con la punta hacia arriba y unidas a tierra con una soga de paja.

. los globos cautivos, con puntas metálicas que descargaban la electricidad al suelo por medio del cable de sujeción.

. los niagaras eléctricos que consistían en pararrayos de 50 m. de altura con ramificaciones arborescentes y se situaban a 10 km. de distancia formando barreras de protección.

- En 1896 A. Stiger ensayó un cañón antigranizo en Styria (Austria) empleando una chimenea de locomotora montada sobre un mortero de 3 cm. El artefacto producía un gran estruendo al ser disparado, acompañado de una nube de fuego y humo de forma toroide, que ascendía en el aire generando un sonido musical.

- Después de la segunda Guerra Mundial, el general francés F.L. Ruby desarrolló un cohete, pequeño y de bajo coste con carga explosiva, capaz de alcanzar una altura limitada que permitía al propio agricultor disparar contra las nubes, cuando el aspecto de ellas le parecía amenazante.

- En 1947 Langmuir- Schaefer y Vonnegut de la General Electric Company (Nueva York), después de realizar diversas experiencias sobre el estado del agua en las nubes a temperaturas negativas, descubrieron que con una milésima de miligramo de AgI es posible hacer que las microgotas de agua contenidas en un metro cúbico de nube a -25°C se conviertan en segundos en cristalitos de hielo.

A partir de este descubrimiento se comenzó la actuación sobre las nubes de una forma científica, pretendiendo evitar la formación de granizos gruesos mediante la formación de un número muy elevado de granizos más pequeños. Esto coincidió con un estudio americano sobre la estructura de las tormentas que reveló nuevos conocimientos en los procesos de formación y evolución de las masas nubosas.

En las últimas décadas, todos los sistemas con base científica, empleados para luchar contra el granizo, tienen como factor común el empleo de sustancias generadoras de núcleos glaciógenos, principalmente el AgI, basándose en las experiencias de Langmuir, Schaefer y Vonnegut.

V.- METODOS DE DEFENSA

Actualmente los métodos de defensa antigranizo podemos dividirlos en dos grupos, atendiendo a su forma de actuación:

- Métodos Directos, actúan sobre la nube o granizos
- Métodos Indirectos, los que no actúan sobre el proceso físico de las nubes.

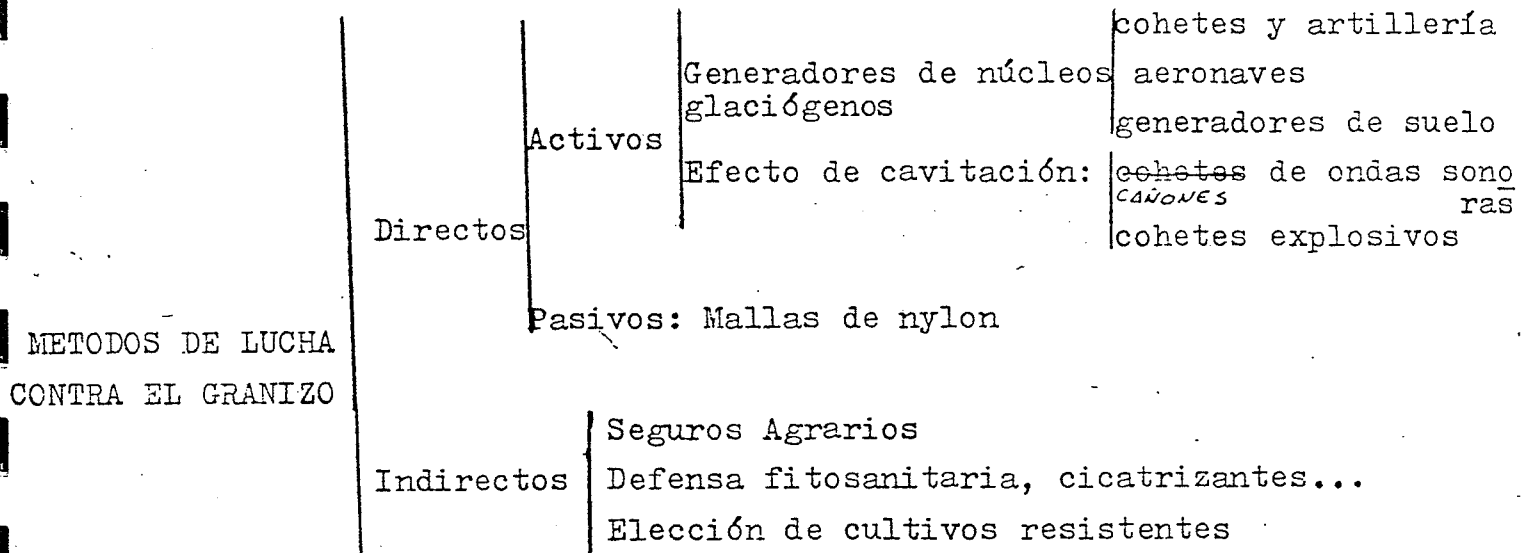
A su vez los métodos directos pueden dividirse en otros dos subgrupos:

- Métodos activos, los que intentan modificar de alguna manera la formación del granizo.
- Métodos pasivos, los que protegen a las plantas del impacto.

Todavía pueden dividirse en otros dos apartados los métodos activos:

- Los que emplean sustancias generadores de núcleos glaciógenos, fundamentalmente AgI.
- Los que se basan en el principio de cavitación (rotura de los granizos).

El esquema final de los métodos actuales queda así:



De todos los métodos enumerados en el esquema, los basados en el efecto de cavitación, son de ineficacia comprobada, ya que sería necesario una energía a nivel de megatones para poder modificar la estructura dura de los granizos en la nube.

AERONAVES

Este sistema se ha desarrollado fundamentalmente en los EE.UU. y se ha extendido posteriormente por países de América del Sur, Africa y Europa.

En España se realizó una campaña experimental en Albacete, durante los años 1978-1983, diseñada por el Ministerio de Agricultura y ejecutada por la empresa americana Colorado International Corporation, desembocando en resultados altamente favorables (según Romero et Al. 84-85).

Durante 1984 y 1985 la Excm. Diputación de Aragón realizó una campaña de defensa en la provincia de Zaragoza empleando el mismo sistema que en Albacete.

El método consta de tres unidades de trabajo:

- 1.- Unidad de análisis
- 2.- Unidad de seguimiento
- 3.- Unidad de lucha

Unidad de análisis

Se divide en dos secciones:

Sección 1- Análisis meteorológico: Se basa en los datos de radiosonda en el momento de la experiencia en el estudio de la nube por medio de un radar meteorológico de = 8-10 cm.

Sección 2- Análisis de cálculo: Se realiza mediante un ordenador en el que se han introducido las fórmulas y modelos matemáticos necesarios para obtener a partir de los datos fácilmente medibles (presión, temperatura, altitud, velocidad del viento) los parámetros necesarios para efectuar la lucha (n° de núcleos/ m^3 , situación de los núcleos tormentosos, velocidad de vuelo del avión, frecuencia de disparos, ruta a seguir en la siembra)

Unidad de seguimiento

Está formada por un pupitre con pantalla que permite las siguientes funciones:

- introducción de preguntas de forma digital
- visualización de cualquier sección de la nube
- dibujo de las funciones características
- reproducción automática sobre papel mediante el Plotter.

Unidad de lucha

Está formado por aeronaves, equipadas especialmente para situar el AgI en la nube.

Son aviones reactores del tipo LEARJET, en el mejor caso, con 52 cohetes de AgI instalados en el fusilaje.

Cada cohete se consume completamente y produce 50 g. de AgI con un rendimiento 10^4 núcleos/g. a -10°C .

En cada avión hay una emisora VHF para mantener la comunicación con el control de tierra.

Condiciones del avión.

Los reactores empleados, debido a la rapidez de actuación que se les exige, deben reunir las siguientes características

- Velocidad de ascensión suficiente para reaccionar ante cualquier situación de riesgo.
- Capacidad de elevación para alcanzar las altitudes requeridas.
- Equipos antihielo para descongelar el avión
- Fuertes estructuras para resistir la turbulencia experimentada en la penetración de las nubes.
- Tamaño pequeño para facilitar las maniobras.

Localización del AgI en la nube

El problema que planteábamos al comienzo de este capítulo en los términos, cómo, cuándo y dónde debía situarse el producto activo para conseguir el resultado deseado, en este sistema se resuelve así:

COMO: Se siembran masas nubosas concretas, localizadas anteriormente por un potente radar. Se lleva el AgI del suelo a la nube, por medio del avión y se lanza mediante cohetes, aunque también existen reactores que llevan instalados generadores.

CUANDO: El momento oportuno para realizar la siembra es el de crecimiento de la nube, hay que actuar antes de la formación del granizo.

DONDE: Este sistema se basa en que cada cumulo-nimbo está rodeado en su base por pequeños cumulos a través de los cuales suben las corrientes ascendentes que aseguran el crecimiento de la nube. El AgI se sitúa en estos nuevos desarrollos para que aprovechando las corrientes, suban a la zona subenfriada.

Necesidades de l sistema

- Equipos sofisticados para determinar y localizar las nubes: sondeo, Radar, ordenador, ploter y para realizar la siembra: aviones.

- Personal altamente cualificado: Radaristas, Pilotos
- Disponibilidad de aeropuertos cercanos
- Autorización para realizar vuelos en el espacio aéreo en el momento oportuno.

Todo esto implica un coste económico elevado.

COHETES Y ARTILLERIA

Este método se ha desarrollado fundamentalmente en la URSS y se ha extendido por los países de su órbita política.

La unidad de lucha es el "destacamento" que está formado por los siguientes grupos:

- Grupo de intervención
- Grupo de radiolocalización
- Grupo de comunicación
- Grupo de control
- Grupo de abastecimiento
- Puntos de intervención

Cada destacamento defiende aproximadamente unos 1000 Km² y está equipado con radar, instalación de artillería y/o cohetes y transporte automovilístico.

Los destacamentos están agrupados en servicios y estos son coordinados por el Comité Estatal de Hidrometeorología y Control de Ambiente Natural.

Radar empleado:

El radar empleado es el M.R.L;5. que está equipado con dos canales independientes de distinta longitud de onda 3,2 y 10 cm. y pueden ser fijos o itinerantes, instalados sobre vehículos especiales.

Las prestaciones más importantes son:

- Detección y localización de los lugares de origen del granizo, medición de coordenadas.
- Determinación de los lugares de origen de las tormentas en un radio de 300 kms.
- Selección de los ecos radáricos de los objetos meteorológicos en el fondo de las reflexiones perturbadoras debidas a objetos locales y medición de la potencia.
- Determinación de la extensión vertical y horizontal de las nubes y de los límites superior e inferior, así como de la trayectoria

- 10 -

Metodos empleados para influir en la nube

1.- Método artillero

La sustancia reactiva se introduce directamente en la zona de génesis y crecimiento del granizo.

Para utilizar este método es necesario:

- Detectar a tiempo el lugar donde comienza el crecimiento del granizo.
- Introducir el proyectil exactamente en ese lugar para provocar una sobresiembra de núcleos.

Los proyectiles empleados son el "elbrus-2" con 80 g. de AgI o de PbI_2 y el "elbrus-4" con 20 g. de AgI o PbI_2 , al estallar se desintegran sin formar metralla.

Características del Elbrus-4:

- peso 12.25 Kg.
- V_o 850 m/s.
- Rdito. 10^{13} - 10^{14} núcleos a $-10^\circ C$.
- Cañón antiaereo de \varnothing 10 mm.
- Radio de eficacia 14 Kms.
- Altura máxima 11.3 kms.

2.- Método de cohetes

Se hace un trazado de la sustancia reactiva, mediante el humo del cohete, por la zona subenfriada de la nube.

Para utilizar este método es necesario detectar las zonas de granizo (no el lugar de génesis) zona de máxima reflexión y se procesa todo el volumen de la nube.

Los cohetes empleados son el "oblaco" que es recuperable y el "alazán", no recuperable.

Características del oblako:

- Pesp: 35 Kg.
- tamaño: \varnothing 125 mm. longitud 2.11 m.
- altura máxima elevación: 8.6 Km.
- alcance máximo de vuelo: 12 Kms.
- longitud de trazado de humo activo: 8 Kms.
- sustancia reactiva: 5 Kg.
- Rendimiento a -10°C : 10^{16} núcleos
- Velocidad de descenso con paracaídas: 5-8 m/s.

Características del alazan:

Hay dos tipos que se distinguen por el radio de acción: "A - 2M" y "A -2M-ICT". Son más pequeños que el oblako.

- tamaño: \varnothing 82.5 mm. long. 0.84 y 1.45 m.
- peso: 4.6 y 8.6
- altura máxima de elevación: 8.2 y 4.6 Kms.
- alcance máximo: 10 y 6.3 Kms.
- Rendimiento a -10°C : 7.7×10^{15} núcleos.
- Se autodestruyen por una explosión, la V_0 es

mayor que en el oblako y la sustancia activa se lanza con mayor uniformidad.

- La rampa de lanzamiento permite lanzar los dos tipos de Alazan de un solo tiro con un intervalo de 2 seg. y lanzar sin reapuntar 12 cohetes en un sector de 40° cenitales y de 40° - 85° acimutales.

- Una rampa defiende aproximadamente 200 Km^2

- Como aerosol formador de núcleos se emplea una mezcla pirotécnica con AgI.

3.- Método mixto o combinado

Con proyectiles se introduce una sustancia higroscópica en la zona templada de la nube y una sustancia cristalizadora en la zona subenfriada.

Necesidades del sistema:

- equipos sofisticados Radar
- rampas de lanzamiento
- cañones antiaéreos
- proyectiles y cohetes

- Personal cualificado
- necesidad de que no exista tráfico aéreo en la zona, debido al riesgo de los proyectiles.

Este es un sistema muy difícil de aplicar fuera de los países del Este por la peligrosidad a la que se somete el tráfico aérea.

GENERADORES DE SUELO

Esta técnica se emplea en varios países y su uso está generalizado en España y Francia.

De los diversos tipos de generadores que se han empleado, los dos utilizados en España han sido:

- quemador de carbón activado con AgI
- generador acetónico de AgI.

Quemadores de carbón activado con AgI.-

Están formados por dos tubos concéntricos entre los cuales se quema carbón vegetal hasta poner al rojo el tubo interior, en el que se introduce carbón de coque impregnado de AgI en solución al 2%. Se alcanza una temperatura de 980°C que produce la sublimación del AgI.

Generadores acetónicos de AgI.-

Constan de tres partes: Alimentación por aire comprimido
depósito de solución
quemador

El aire comprimido se almacena en una botella similar a la del butano provista de una válvula para el llenado y otra con un manorreductor que permite regular la presión de alimentación del depósito de solución.

El depósito de solución es de acero inoxidable y forma cilíndrica de 50 litros de capacidad, provisto de un orificio de llenado en la parte superior, otro de entrada del aire comprimido y otro de salida de la solución.

El quemador consta de una chimenea cilíndrica con cinco ranuras para la entrada de aire, un trípode, un dado de sujeción y la cámara de combustión a donde llega la solución de AgI por medio de una lanza que lleva instalado un pulverizador.

Funcionamiento:

- Se llena el generador con 45 litros de solución
- Se llena la bombona con aire hasta una presión de 8 Kg/cm².
- Se abre la válvula hasta que el manómetro llegue a 0.8 Kg/cm².
- Se deja pasar el diluido hasta el quemador y se enciende .

El consumo es de 0.9 Litros/hora y se emplea una solución de 11.6 g/l.

El rendimiento a -21°C es de 7×10^{14} núcleos/g., es decir 7×10^{15} núcleos/hora y generador.

La zona defendida por cada generador es de 50 Km² aproximadamente.

Localización del AgI en la nube.-

Las tres preguntas claves de la siembra de AgI se resuelven de la siguiente forma:

COMO: Se siembra cada día que existe riesgo, independientemente de si se localizan o no masas nubosas.

El AgI se lleva del suelo a la nube, por medio de las corrientes ascendentes que existen en los días de verano, ascienden a una velocidad aproximada de 20 m/s.

Los generadores están dispuestos de forma reticular sobre la zona que se quiere defender, aumentando la densidad en las zonas de máxima probabilidad de nacimiento de tormentas.

CUANDO: Se siembra durante el período de máximo riesgo de formación de tormentas, que suele coincidir con el intervalo que va desde las 13 horas a las 19.30 horas.

DONDE: Los generadores se ponen en funcionamiento en toda la zona de defensa a la vez, varias horas antes del riesgo máximo de aparición de nubes. De esta forma se consigue que el AgI se sitúe en toda la capa baja de la atmósfera para que todas las masas nubosas que nazcan o crucen la zona se alimenten de aire sembrado con núcleos activos de AgI.

Necesidades del sistema:

Necesita una buena predicción, ya que solamente actúa cuando se pronostica Riesgo de tormenta con granizo.

Necesita una amplia red de encargados de generador

No es necesario personal escesivamente cualificado.

Es el más económico de los sistemas actuales y uno de los más extendidos.

VI.-LUCHA ANTIGRANIZO EN ESPAÑA

En 1950 se iniciaron ensayos de lucha a base de cohetes explosivos en los arrozales del Delta del Ebro y controlados por la Federación Nacional Arroceras; estos cohetes llevaban carga explosiva de 500 grs. de T.N.T. y utilizaban como materia activa ácido clorosulfónico.

Simultaneamente se inició la defensa en los arrozales de la Albufera de Valencia creandose igualmente la Agrupación de Hermandades de la Ribera del Jucar para la defensa antigranizo y con una extensión de 50.000 Has.

En 1959 y bajo el patrocinio del Servicio de Extensión Agraria de Requena se inició la defensa en la zona de Requena Utiel a base de quemadores empleando carbón activado con AgI. Realmente, las experiencias en esta zona se empezaron a controlar de forma sistemática a partir de 1962 y alcanzaron las 350.000 Has. en 1970.

A partir de la creación dentro del Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica de un Servicio de Lucha Preventiva concretamente el Negociado de Fisiopatías, el Ministerio de Agricultura se encarga de la realización de estudios enfocados hacia la lucha antigranizo entre otros y a través de dicho Negociado de Fisiopatías promueve la creación de asociaciones para la defensa antigranizo, subvencionando económicamente y asesorando en las tareas a realizar.

Así en el año 1969 se crea la Agrupación de las provincias de Alava, La Rioja y Navarra; en 1970 se creó la defensa de la laguna de Gallocanta en las provincias de Zaragoza y Teruel y ese mismo año, una zona piloto entre las provincias de Alicante, Castellón, Cuenca, Albacete, Murcia y Valencia. En la Mancha se inician las experiencias en el año 1974.

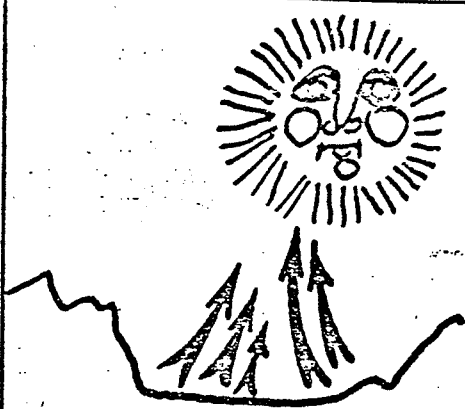
En el periodo de 1978-1983 se llevó a cabo una experiencia con aviones en Albacete.

Durante los años 1984-1985 se realizó una campaña semejante en Zaragoza.

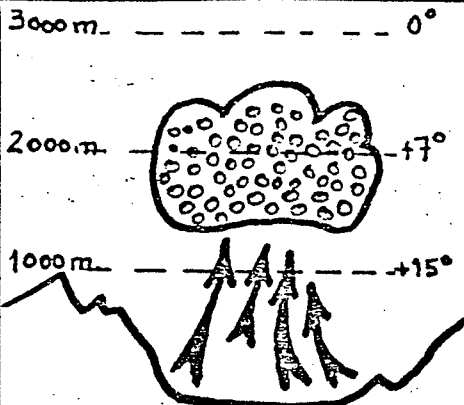
En la actualidad se realiza lucha antigranizo con generadores en las siguientes zonas o provincias:

- 1.- Alava, La Rioja y Navarra
- 2.- Lérida
- 3.- Zaragoza, como complemento de la lucha aérea.
- 4.- Alcañiz
- 5.- Gallocanta
- 6.- C.E.A.L., que comprende parte de las provincias de Castellón, Valencia, Murcia, Alicante, Albacete y Cuenca.
- 7.- Requena-Utiel
- 8.- Guadalentín
- 9.- Desta del Ebro
- 10.- Cuenca, Toledo y Ciudad Real
- 11.- Madrid

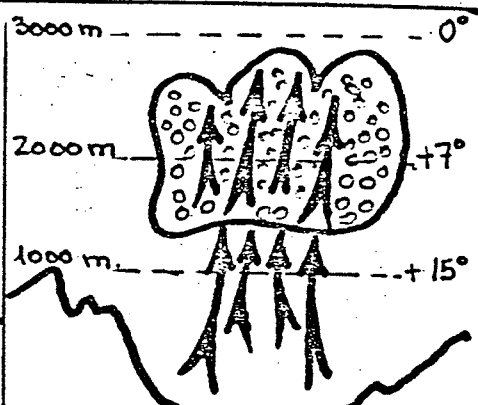
El Ministerio de Agricultura, a través del Negociado de Fisiopatías, colabora en estas zonas con la instalación de tres radares instalados en el monte El Perdón en Navarra, en el monte San Caprasio en Zaragoza y el tercero en Silla, Valencia.



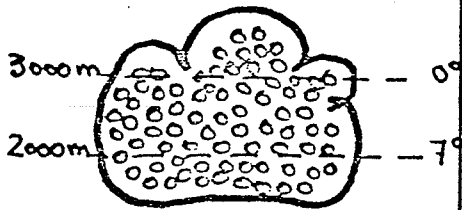
CALENTAMIENTO DE UNA ZONA ABRIGADA
MOTO. ASCENDENTE DEL AIRE CALIENTE



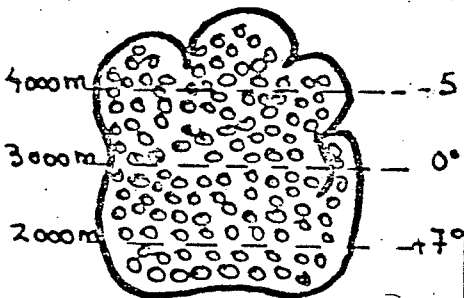
AL ASCENDER HAY UN ENFRIAMIENTO
EL VAPOR DE AGUA SE CONDENSA
EN GOTITAS DE NUBE



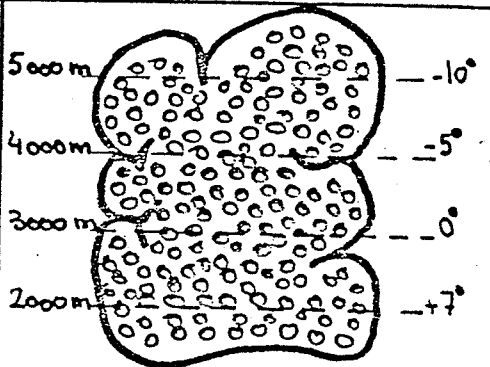
LA CONDENSACION PRODUCE
CALOR Y ACELERA EL MOTO.
ASCENDENTE DE LA NUBE



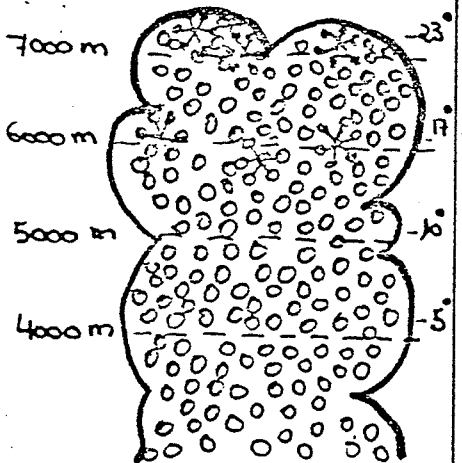
LA TEMPERATURA SIGUE
DISMINUYENDO CON LA ALTURA
AL LLEGAR A 0°C NO APARECEN
CRISTALES DE HIELO



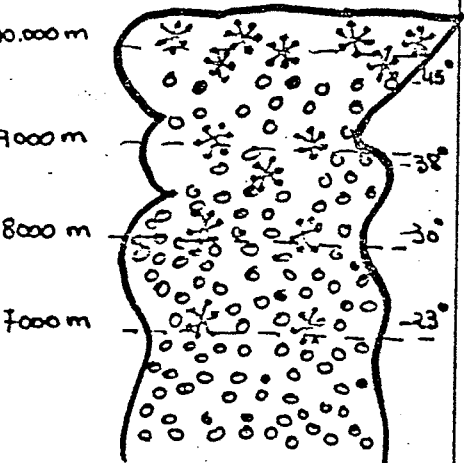
INCLUSO A -5 y -10°C LAS
GOTITAS SIGUEN LIQUIDAS



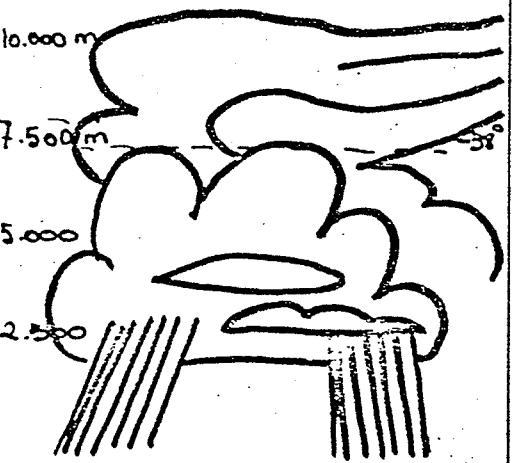
ESTE ESTADO SE LLAMA DE
SUPERENFRIAMIENTO O DE
SUBFUSION Y ES EL CAUSANTE
DEL GRANIZO.



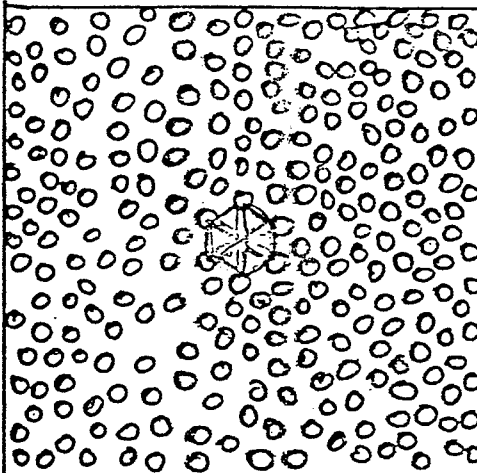
A -15°C APARECEN LOS
PRIMEROS CRISTALES DE HIELO



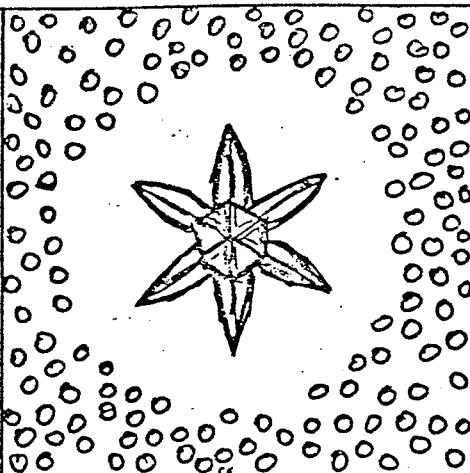
EL N° DE CRISTALES AUMENTA
HASTA QUE A LOS -40°C, TODAS
LAS GOTITAS SE HAN CONGELADO



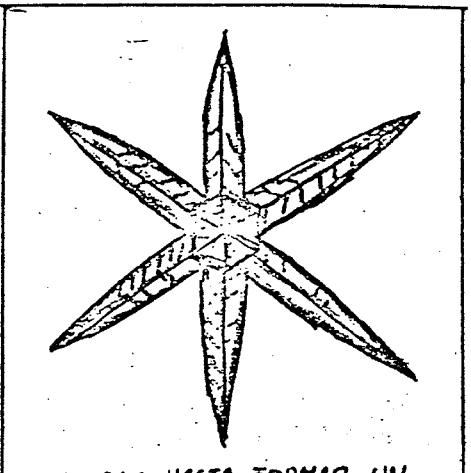
ESTE TIPO DE CUMULOS EN LOS
QUE APARECEN CRISTALES DE HIELO
SE LLAMAN CUMULONIMBOS



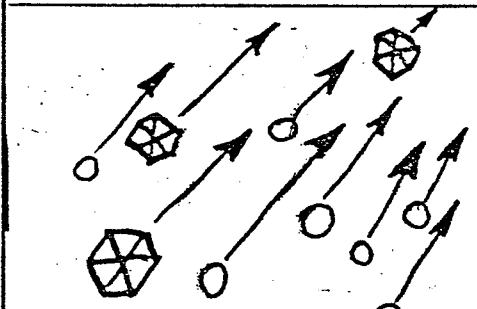
LOS CRISTALES QUE SE FORMAN A LOS -15°C SON DEBIDOS A UNAS PARTICULAS LLAMADAS NUCLEOS GLACIOGENOS



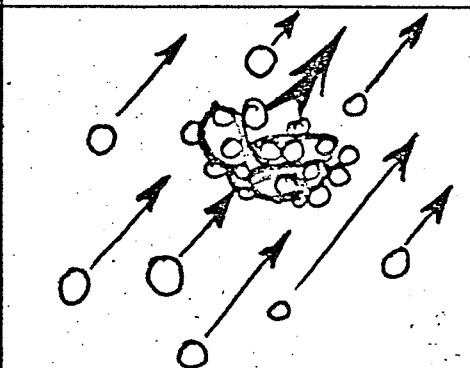
CUANDO APARE UN CRISTAL, LAS GOTITAS QUE LO RODEAN SE EVAPORAN ACUMULANDOSE SOBRE EL.



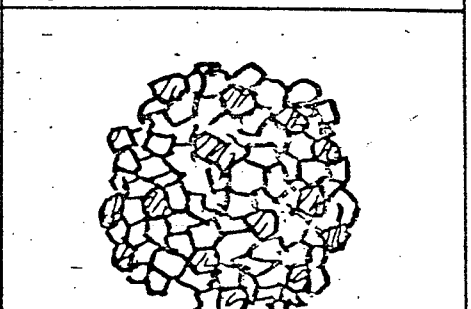
- ENGORDA HASTA FORMAR UN COPO DE NIEVE.
HAY TRANSFERENCIA DE AGUA DE LAS GOTAS AL CRISTAL POR MEDIO DEL VAPOR DE AGUA.



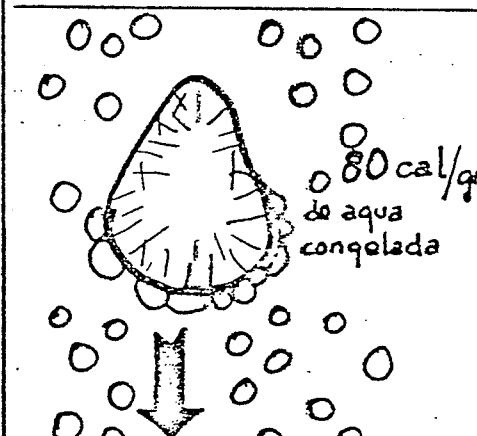
LAS GOTITAS Y LOS CRISTALES PEQUEÑOS, SON ARRASTRADOS POR LAS CORRIENTES ASCENDENTE. LOS CRISTALES GROSOS Y LOS COPOS DE NIEVE SON MAS SENSIBLES A LA GRAVEDAD Y AL SER ARRASTRADOS POR LAS



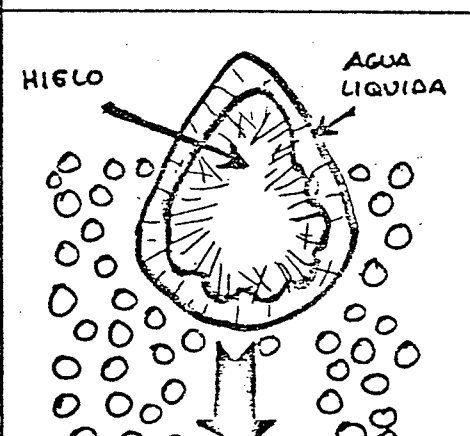
CORRIENTES ASCENDENTES SON ADELANTADOS POR LAS GOTITAS Y CRISTALITOS. ASI SE PROVOCAN CONTINUOS CHOQUES ENTRE CRISTALES Y GOTITAS.



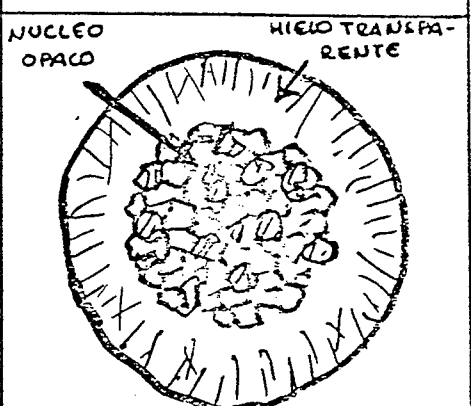
SI LAS GOTITAS SUPERENFRIADAS NO SON MUY NUMEROSAS SE CONGELAN AL CHOCAR CONTRA EL CRISTAL O EL COPO, FORMANDO UN BLOQUE GRANULOSO LLAMADO NIEVE RODADA, GRANITO DE HIELO OPACO Y BLANCO



LA CONGELACION DE LAS GOTAS PRODUCE CALOR. SI LA CAPTACION DE GOTITAS ES RAPIDA EL GRANITO SE CALIENTA EN LA SUPERFICIE A 0°C .

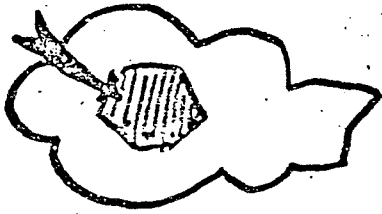


ESTA RODEADO DE UNA CAPA DE AGUA QUE SE CONGELARA PROGRESIVAMENTE, FORMANDO HIELO TRANSPARENTE.



CORTE DE UN GRANITO EN LAS ZONAS DONDE HAY MUCHA AGUA SUPERENFRIADA, EL GRANITO SE RECUBRE DE UNA CAPA DE HIELO TRANSPARENTE DENSA Y DURA.

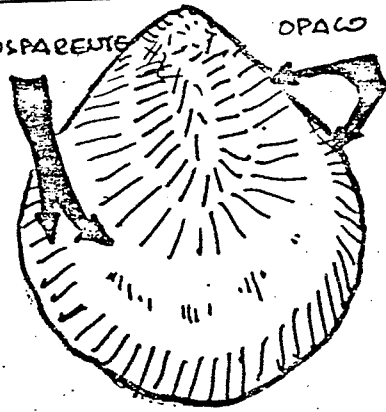
OPACO



4 cm.

LA CONGELACION PROGRESIVA DE UNA CAPA DE AGUA, PERMITE A LOS GRANITOS UNIRSE ENTRE ELLOS, ADOPTANDO FORMAS BICORNES.

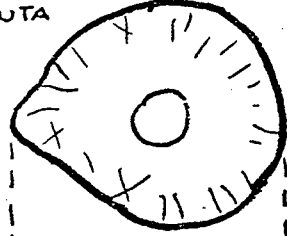
TRANSPARENTE OPACO



3 cm.

LAS CAPAS DE HIELO OPACO Y TRANSPARENTES Y LAS FORMAS PERMITEN RECONSTRUIR LA HISTORIA DE CADA GRANITO

PLANTA

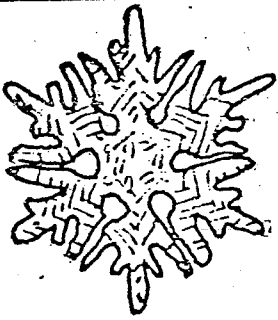


PERFIL

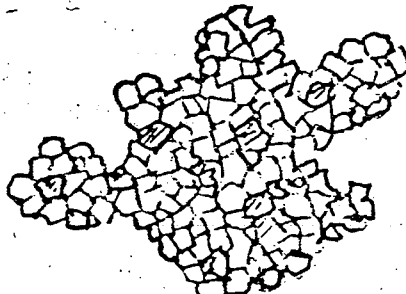


1 cm.

CONCRETANDO, LAS DISTINTAS FORMACIONES DE HIELO, DEPENDEN DE LA PROPORCION RELATIVA DE AGUA SUPERENFRIADA Y DE CRISTALES DE HIELO A -15°C.

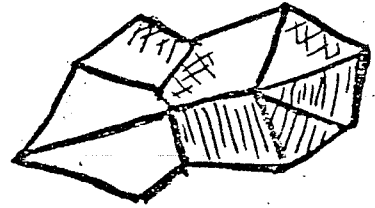


SI EL N° DE NUCLEOS GLACIOGENOS / H³ DE AIRE ES GRANDE SE FORMAN COPOS DE NIEVE



1 cm.

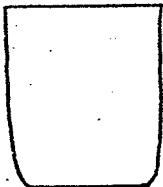
SI HAY MENOS NUCLEOS, LA PROPORCION DE AGUA SUPERENFRIADA ES MAYOR Y SE FORMAN GRANITOS BLANDOS DE NIEVE RODADA



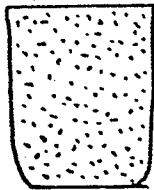
4 cm

SI LOS NUCLEOS SON MUY ESCASOS, LA PROPORCION DE AGUA SUPERENFRIADA ES MUY GRANDE Y SE FORMAN GRANITOS DE HIELO DURO.

EN 1 L. DE AIRE



-21°



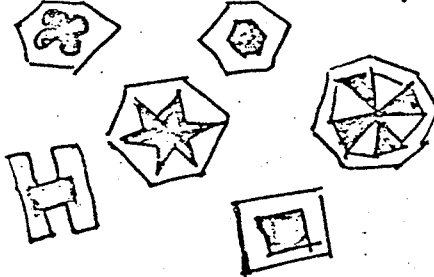
DIA - A
0 NUCLEOS
GLACIOGENOS

DIA - B
120 NUCLEOS
GLACIOGENOS

LA LUCHA CONTRA EL GRANITO ACTUAL SE BASA EN DOS DESCUBRIMIENTOS:

1º EL N° DE NUCLEOS DEL AIRE VARIA ENORMEMENTE DE UN DIA A OTRO

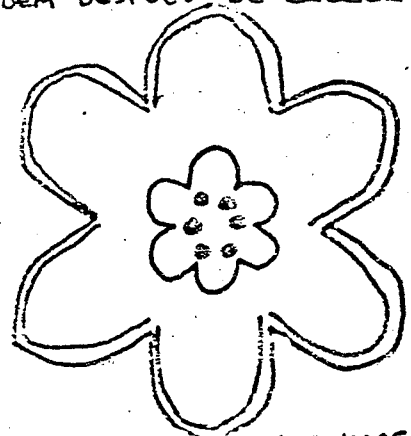
CRISTALES PRODUCIDOS POR AgI



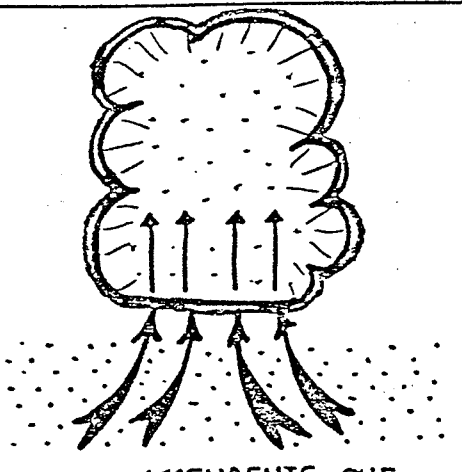
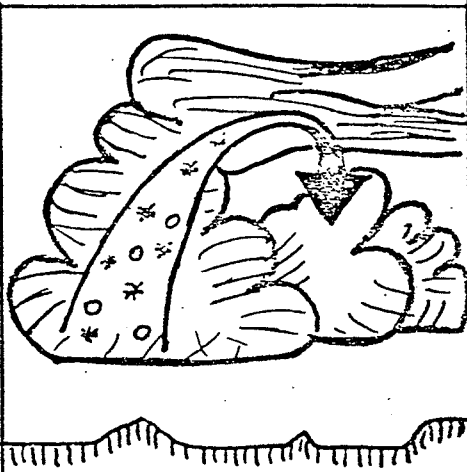
2º PUEDEN FABRICARSE NUCLEOS GLACIOGENOS ARTIFICIALES MAS EFECTIVOS QUE LOS NATURALES

CON 1 mgr. de AgI SE OBTIENEN DECENAS DE MILES DE NUCLEOS

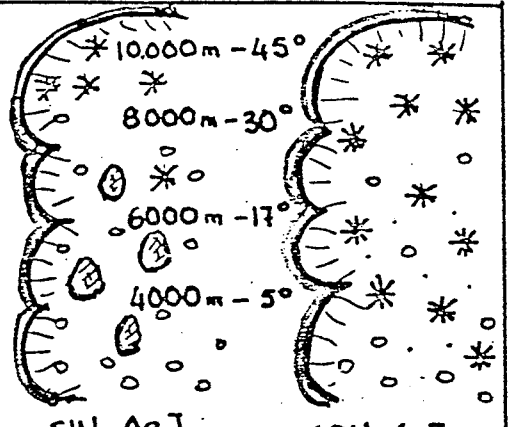
IDEM DESPUES DE CRECER



CADA NUCLEO DE AgI HACE APARECER UN CRISTAL DE HIELO EN TODA NUBE QUE TENGA UNA T° POR DEBAJO DE -4°C



EL AIRE ASCENDENTE QUE
AUMENTA EL CUMULO LLEVA
EL AqI HACIA LO ALTO.



SIN AqI CON AqI
UNA VEZ INTRODUCIDO EN LA
ZONA SUPERENFRIADA IMPEDIRIA
LA FORMACION DE GRANIZOS DURES

CUMULUS

C. CALVUS

C. INCUS

5m.

11

10

9

8

7

6

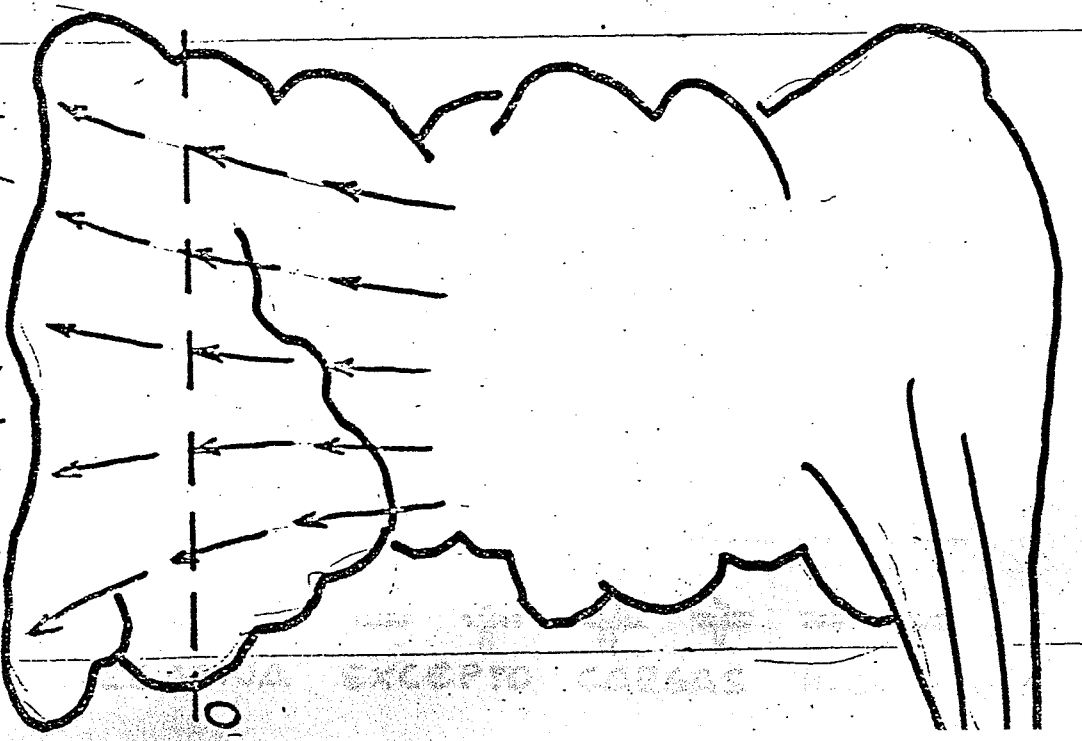
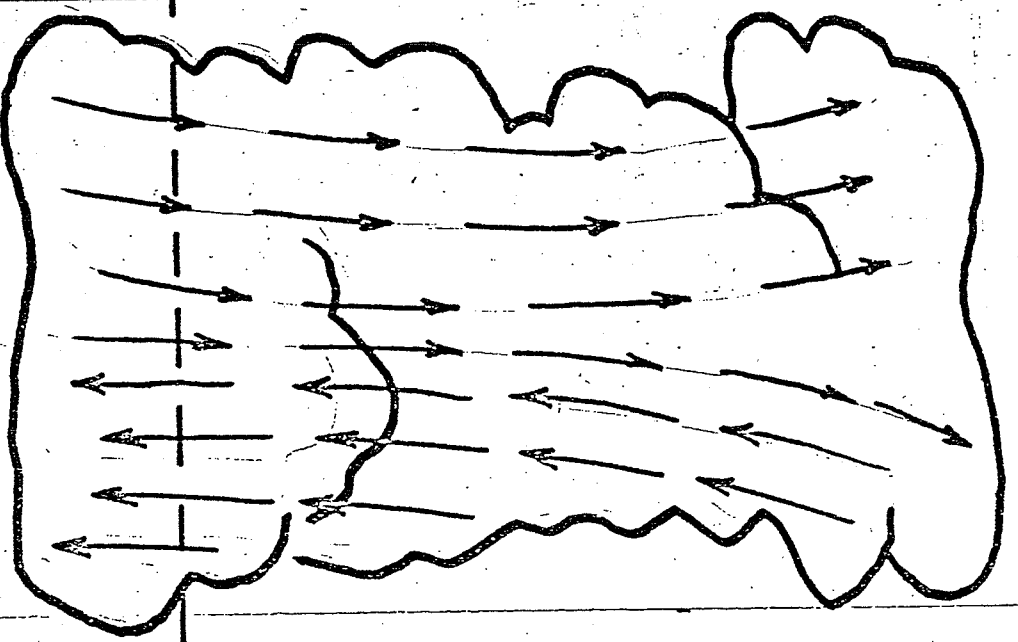
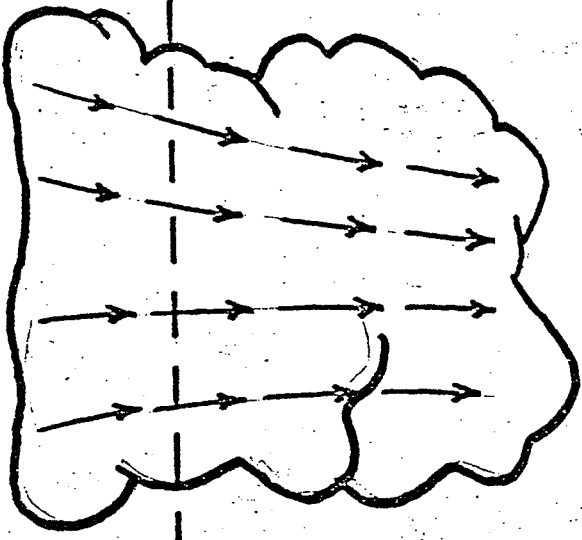
5

4

3

2

1



FORMACION

MADUREZ

DISIPACION

IONOSFERA (POSITIVO)

1.
100
200
300
600
300



CRISTALES DE HIELO

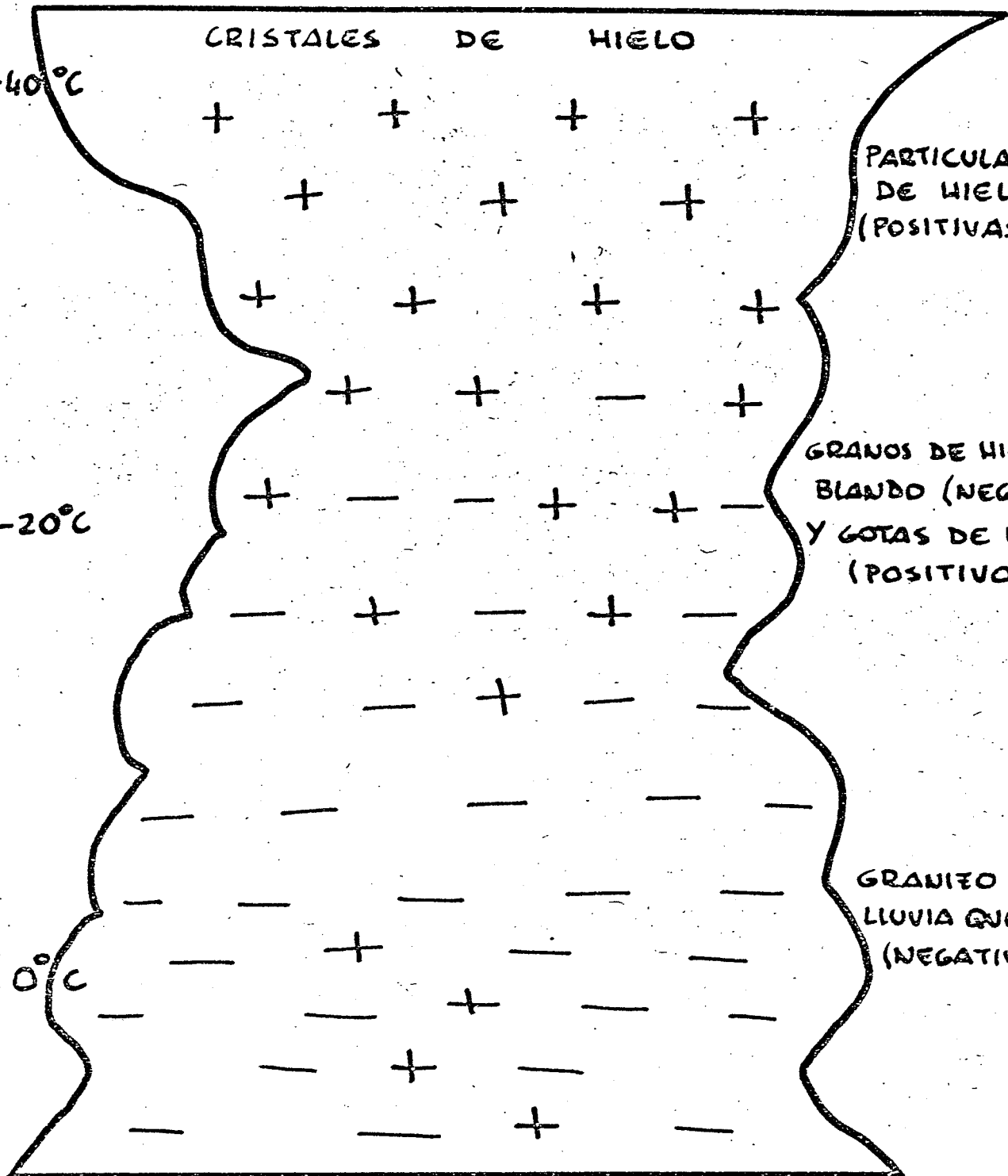
PARTICULAS DE HIELO (POSITIVAS)

GRANOS DE HIELO BLANDO (NEGATIVOS Y GOTAS DE LLUVIA (POSITIVOS)

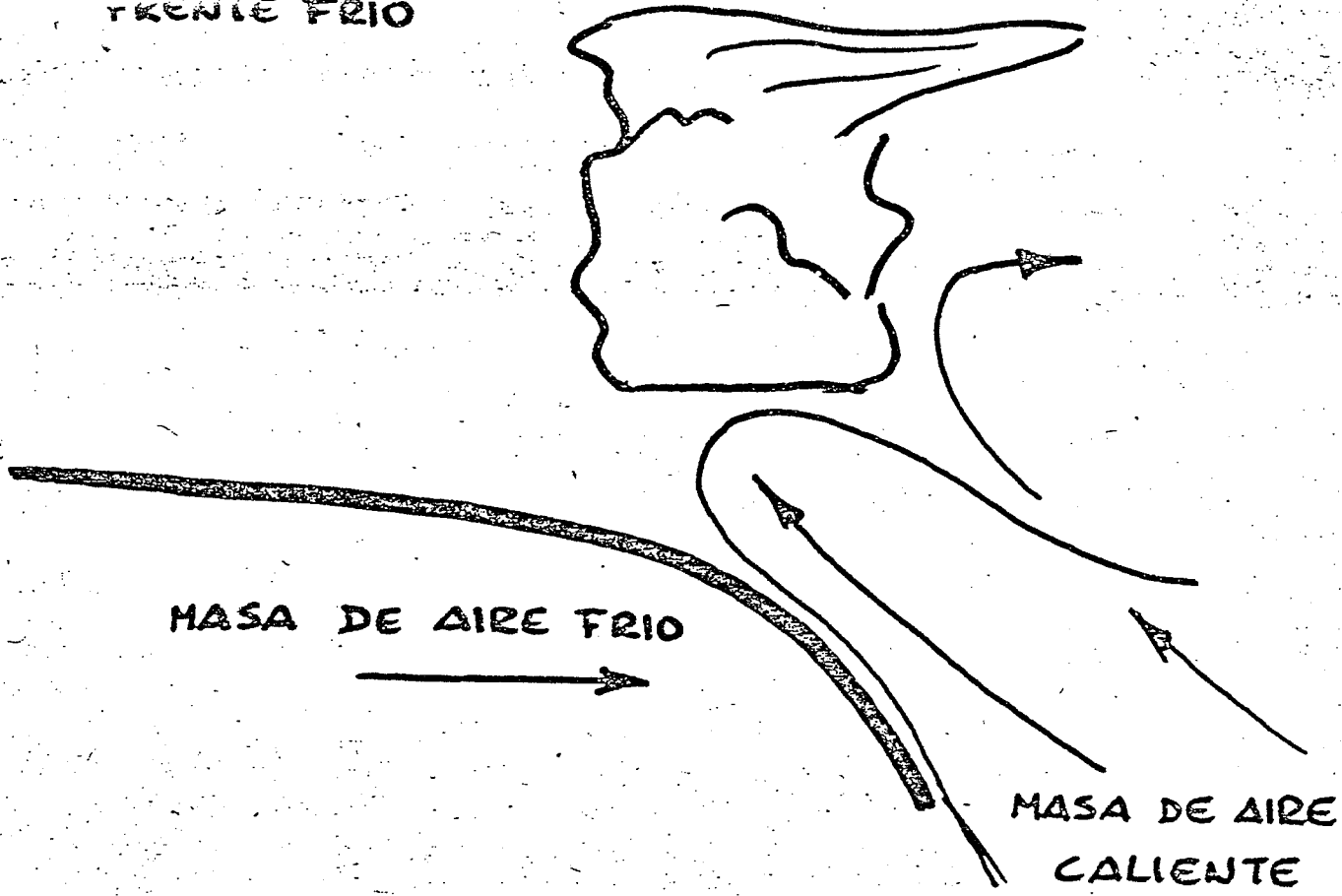
GRANIZO O LLUVIA QUE CAE (NEGATIVO)

PEQUEÑA ZONA POSITIVA (ORIGEN INCIERTO)

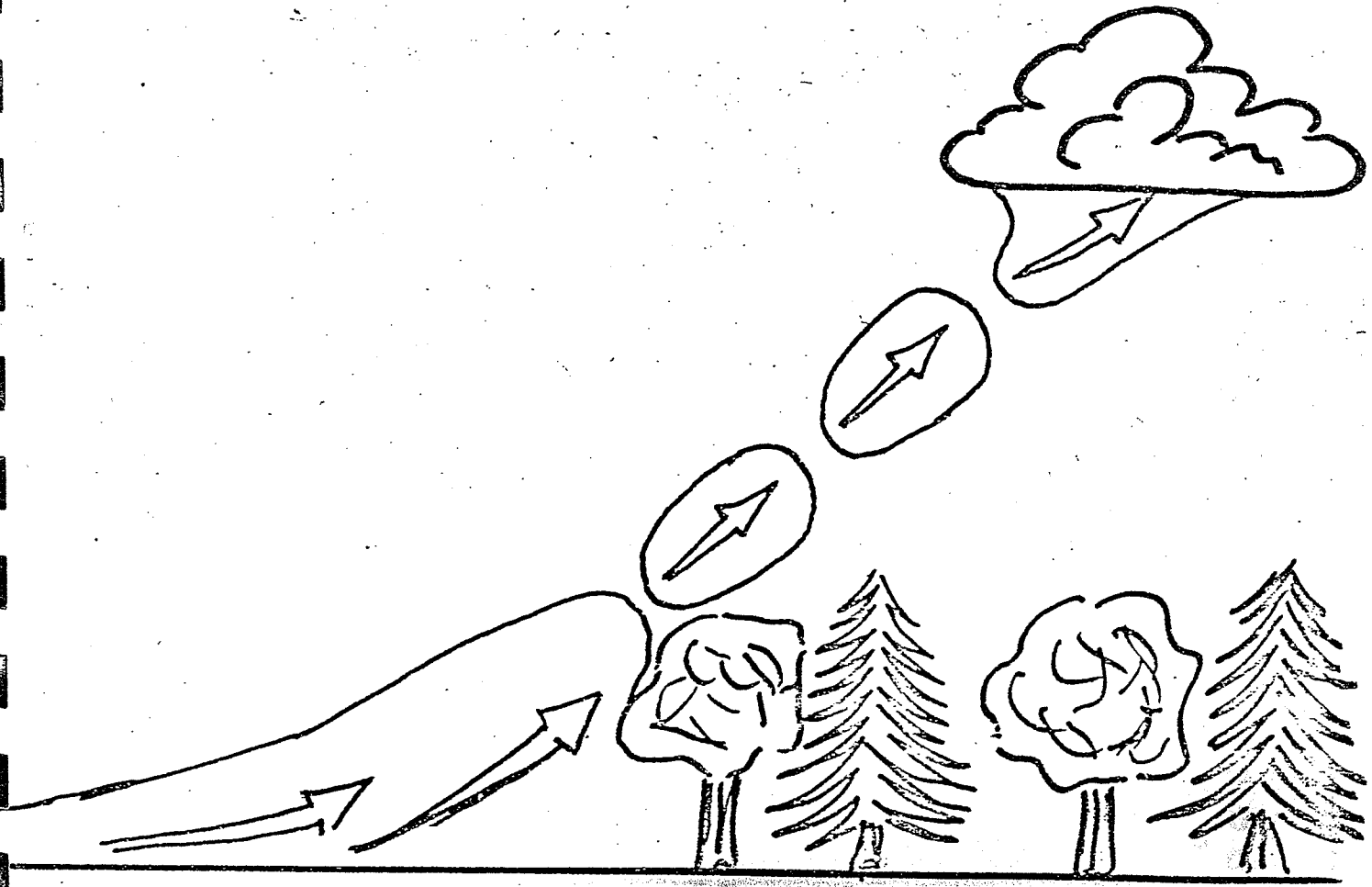
== + + == == == + + + == ==
SUPERFICIE NEGATIVA EXCEPTO CARGAS INDUCIDAS



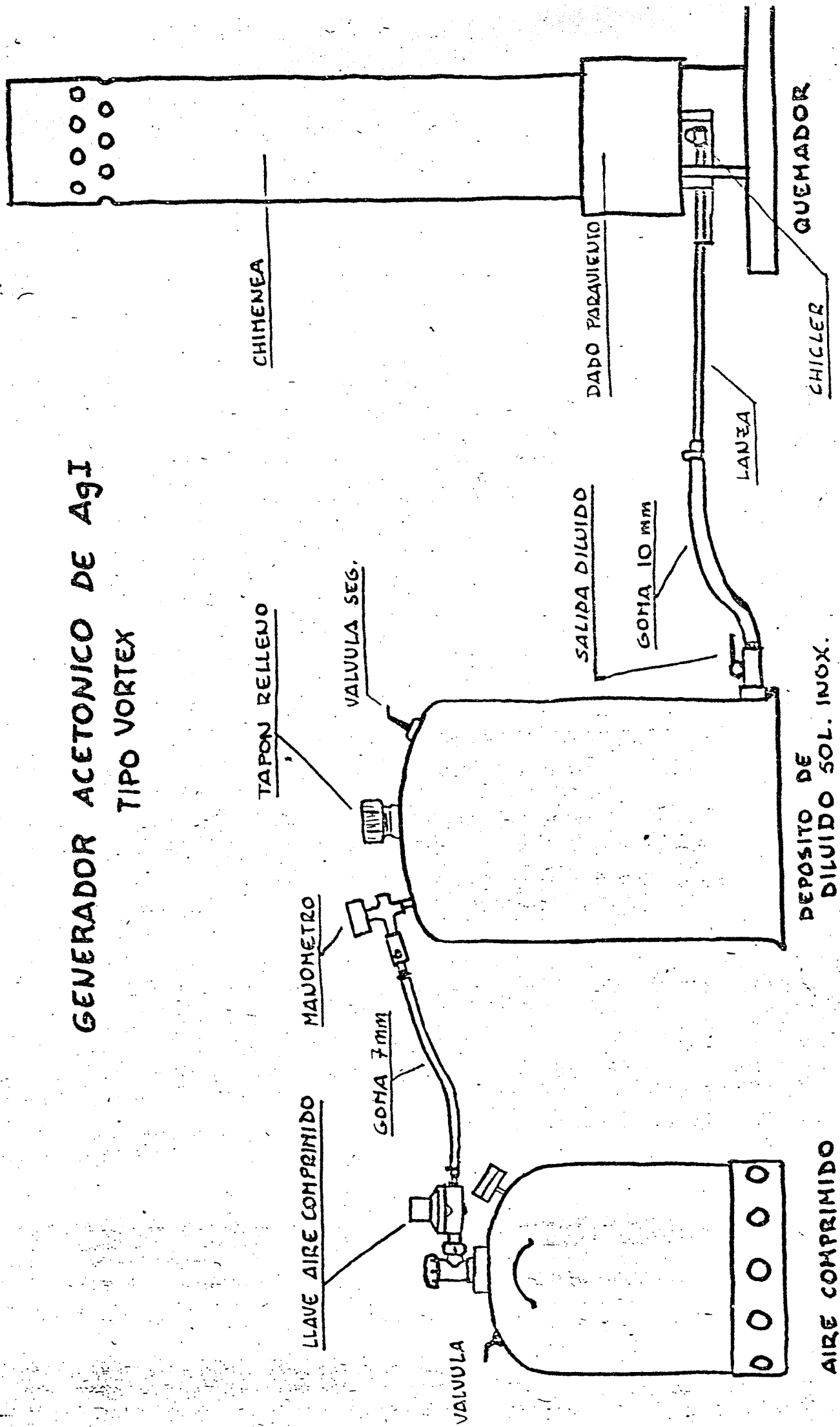
FRENTE FRIO



TORRENTAS DE MASAS DE AIRE CALIENTE



GENERADOR ACETONICO DE AGI TIPO VORTEX



AIRE COMPRIMIDO

DEPOSITO DE DILUIDO SOL. INOX.