

CALIBRACION DEL CANAL IR-1 METEOSAT-1

CARLOS GEIJO GUERRERO
(Servicio de Satélites y Radares)

RESUMEN

Utilizar una imagen de satélite con fines cuantitativos requiere una calibración lo más exacta posible. Disponer de dos sensores en la misma o similar zona del espectro permite efectuar una calibración relativa entre ambos. En este artículo se presenta una forma de llevarla a cabo para los canales IR1 METEOSAT-4 y 4 del NOAA-10 así como los resultados obtenidos y una valoración de los mismos.

La calibración de un radiómetro de respuesta lineal se fundamenta en la ecuación

$$R = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L f d\lambda = M * (C - CO) \quad M \text{ en } W/m^2 \text{ sr cuenta}$$

donde f es la función respuesta del sensor, L la radiancia que llega hasta él, CO la cuenta de espacio o cuenta umbral y $\lambda_1 \lambda_2$ los extremos de la ventana.

Existen diferentes formas de determinar esa cantidad L . Podemos clasificarlos en dos grandes grupos, calibración relativa a otros sensores a bordo de satélites o aeronaves (ver por ejemplo N. Beriot, A. Scott, A. Chedin & P. Sitbon, 1982) o mediante cálculos de transferencia radiativa (por ejemplo, J. Schmetz, 1989). Todos los sensores tienen un sistema para calibración automática o calibración en vuelo, pero no todos, como en el caso de METEOSAT, permiten una calibración absoluta. El NOAA-10 sí tiene esta ventaja.

Antes de entrar de lleno en el tema que nos ocupa quizá sea conveniente recordar las características básicas de los radiómetros que vamos a comparar.

El AVHRR1 (Advanced Very High Resolution Radiometer) embarcado en el NOAA-10 tiene 4 bandas. El cuarto canal (B4) ve entre 10.5 y 11.5 micras. Su output se digitaliza para enviarlo a tierra en cuentas de 10 bits, esto es, su rango va de 0 a 1023.

El radiómetro METEOSAT tiene dos canales, IR1 e IR2, en la ventana atmosférica. El habitualmente operativo, IR1 es sensible a radiación de longitudes de onda entre 10.5 y 12.5 micras. Las cuentas toman valores de 0 a 255.

Salta a la vista que la banda IR1 es bastante más ancha que la B4. Para extender la medida de B4 de 10.5 a 12.5, la convertiremos en temperatura y haremos uso de la ley de Planck para la radiación térmica. Hay que decir que sería deseable prescindir de este paso intermedio, la temperatura no es una magnitud básica en teledetección. Sin embargo si contamos sólo con B4 no es posible. Sería diferente si, como ocurre con los satélites de la serie numerados impar (NOAA-11), la banda 85 no fuera una mera duplicación de la cuarta. En este caso podríamos escribir, teniendo presente que B5 ve entre 11.5 y 12.5 micras

$$R_{MET} = L_{NOAA} \int_{10.5}^{11.5} f_{MET} d\lambda + L_{NOAA} \int_{11.5}^{12.5} f_{MET} d\lambda = M_{NOAA}^4 (C_{MET}^4 - CO^4) * INT1 + M_{NOAA}^5 (C_{MET}^5 - CO^5) * INT2 = M_{MET} (C_{MET} - 5)$$

con $M_{NOAA}(i)$ en $W/m^2 \text{ sr cm}^{-1}$ cuenta y M_{MET} en $W/m^2 \text{ sr cuenta}$. INT1 e INT2 se calculan a partir de la función respuesta para el sensor METEOSAT.

Si sólo contamos con el dato B4 pondremos en su lugar

$$R_{MET} = \int_{10.5}^{12.5} BB(T_{NOAA}) f_{MET} d\lambda = M_{MET} (C_{MET} - 5) \quad (1)$$

Así pues mediante inspección visual de imágenes NOAA-10 y METEOSAT IR de una misma zona y próximas en el tiempo podemos identificar blancos y construir tablas de pares de valores, uno para el término de la izquierda de la ecuación y otro para el valor de C correspondiente. En este punto hay que hacer dos advertencias importantes:

En primer lugar ambos satélites miran el objetivo desde diferentes ángulos, esto es, a través de diferentes espesores ópticos. Para minimizar al máximo el efecto de esta incorrección se toman únicamente topos nubosos suficientemente altos. Para estos niveles y debido al hecho de que estamos en una ventana atmosférica es de esperar que los errores sean pequeños.

Por otra parte la resolución es diferente. Debido a esto hemos de asignar a cada valor de cuenta METEOSAT no un único valor NOAA 10, sino un promedio. En realidad tomaremos promedios en ambas imágenes correspondientes a una misma extensión. Para ello contamos con estimaciones de resolución para ambos sensores y del propio aspecto del tope nuboso elegido como blanco. Facilita la tarea tomar nubes de aspecto homogéneo y denso.

El gran inconveniente de este procedimiento radica en la dificultad de localizar con exactitud los pixels correspondientes en ambas imágenes. La ilustración 1 muestra con claridad lo que quiero decir. La línea de costa muestra pixels con las mismas coordenadas geográficas en las dos imágenes. Se aprecia que los puntos elegidos no tienen las mismas coordenadas en ambos casos, como consecuencia de las diferentes perspectivas y de las imprecisiones en el módulo de navegación (apréciese la diferencia entre costa y línea de costa). Nos vemos pues obligados a relegar al módulo de navegación a un papel orientativo y a tomar la decisión en base a consideraciones de brillo y forma que introducen una componente subjetiva.

El error originado por esta imprecisión puede estimarse del siguiente modo. En la figura 2 tenemos en la de arriba la zona METEOSAT elegida. El valor medio de cuenta de esa pequeña caja es de 27.3. Al ir a la imagen NOAA-10 podemos considerar una zona algo más grande dentro de la cual podemos considerar que está comprendida la zona METEOSAT. Los valores de temperatura leídos para cajas de extensión igual a la tomada en la imagen METEOSAT y que están dentro del rectángulo indicado en la figura son:

208.6	208.3	208.5	208.8
208.5	208.4	208.5	208.2
209.5	209.4	208.8	208.8
209.5	209.6	209.5	209.2
208.6	208.9	208.8	209.1
209.7	209.8	209.6	208.9

Con estos valores los valores hubieran podido oscilar entre $T=208.2$ a la que corresponde $R=1.8548 \text{ W/m}^2 \text{ sr}$ y $T=209.8$ con $R= 1.9428 \text{ W/m}^2 \text{ sr}$. Las pendientes de calibración irían desde $0.0831 \text{ w/m}^2 \text{ sr ct}$ hasta $0.0871 \text{ w/m}^2 \text{ sr ct}$, es decir, una variación de $0.004 \text{ w/m}^2 \text{ sr ct}$. Podríamos considerar éste como un error típico en una medida.

Hechas estas puntualizaciones vamos a ver los resultados obtenidos mediante ejecución del procedimiento descrito durante varios días. La tabla 1 muestra los valores determinados durante el mes de agosto del año en curso. La columna de la derecha recoge los valores del coeficiente MIEC para los mismos días y pertenecientes a los slots o tiempos más próximos:

DIA	SLOT	M ($\text{w/m}^2 \text{ sr c}$)	SLOT	M (MIEC) ($\text{w/m}^2 \text{ sr c}$)
90211	15	0.0744	16	0.07591
90211	38	0.0764	40	0.07565
90213	39	0.083	40	0.07566
90219	15	0.0808	40	0.07569
90233	15	0.0784	16	0.07659

tabla 1. Coeficientes de calibración (1)

Resulta chocante que el error obtenido para un conjunto de medidas resulte mayor que el estimado para una sola. Sin embargo esto es debido a que el ejemplo anterior pertenece a un caso de blanco muy homogéneo, normalmente las variaciones en temperatura son bastante mayores (topes más bajos y dispersos).

Debo decir en favor de estos resultados que el número de puntos es pequeño, por lo que la cancelación estadística de errores no es grande. Así el número de puntos para cada fila es de 4, 8, 5, 7 y 8 respectivamente. Esto es debido, en primer lugar, a insuficiencia de blancos altos y bien definidos y, en segundo lugar, a la naturaleza lenta y tediosa de la tarea. Es de esperar que si consideramos los 32 puntos de forma conjunta y comparamos el resultado con el valor medio de la columna derecha mejore la calidad. La idea de considerar el conjunto de las 5 imágenes tratadas como si fuera una sola no parece descabellada si nos fijamos que el coeficiente MIEC es muy estable. La tabla 2 nos da el resultado.

VALOR MEDIO M ($\text{w/m}^2 \text{ sr c}$)	VALOR MEDIO M (MIEC) ($\text{w/m}^2 \text{ sr c}$)
0.0785	0.0759

tabla 2. Valores medios del coeficiente de calibración

El error relativo es de un 3.4%, valor que podríamos tomar como cota inferior para el error en la estimación. Evidentemente el error en una determinación particular de M puede ser mayor, así

DIA	SLOT	ERROR	SIGNO (–; infraest. +; sobreest.)
90211	15	1.9%	
90211	38	0.9%	+
90213	39	9.7%	+
90219	15	6.7%	+
90233	15	2.3%	+

tabla 3. Errores

Hay que advertir que parece existir una tendencia a la sobrevaloración.

Con posterioridad al día 30 de septiembre se han obtenido los siguientes resultados. En este caso no ha sido posible contrastarlos por no estar todavía en nuestro poder el "quarterly issue" de calibración emitido por ESOC para estas fechas. Sin embargo los incluyo en este artículo porque en este periodo tuvieron lugar acontecimientos de interés para el asunto que nos ocupa, me refiero al inicio del eclipse de otoño y las fases de contaminación y descontaminación asociados con él. Además desde el día 30 de octubre a las 13 horas hasta el día 5 de noviembre a las 9:30 el METEOSAT-3 relevó al METEOSAT-4.

DIA	SLOT	M (w/m**2 sr c)
90274	13	0.0759
90276	15	0.08
90295	17	0.089
90298	15	0.0906
90299	14	0.0808
90301	36	0.0893
90302	15	0.0863
90303	26	Cambio a METEOSAT-3
90304	39	0.041
90308	40	0.041
90309	19	Cambio a METEOSAT-4
90310	39	0.0739
90311	15	0.0744
90312	18	0.0749
90317	14	0.0759

A partir del día 90295 (22 de octubre) se observan valores muy altos, es decir, una pérdida importante de sensibilidad y fluctuaciones importantes. Todo parece indicar que se trata de elementos de una secuencia típica en periodos de contaminación. Cuando el satélite entra en una fase de eclipse el vapor de agua que quedó atrapado durante el lanzamiento condensa, reduciendo de forma importante la sensibilidad. Para evitar que el radiómetro se sature para temperaturas demasiado bajas, es decir, que la cuenta máxima se alcance para temperaturas bajas, se procede a cambiar la amplificación o factor de ganancia del radiómetro de tal forma que el intervalo de 0 a 255 cubra el rango de temperaturas para el que fue pensado, en este caso de 170 a 320 K aproximadamente. El paso del valor 0.0906 el día 24 de octubre a las 7:30 a 0.0808 23 horas y media después bien pudiera corresponder a un tal cambio. Posteriormente, como es de esperar, se inicia una nueva pérdida de sensibilidad.

El cambio de sensor se detecta sin ningún género de dudas. El valor de 0.041 concuerda con el valor medio del METEOSAT-3.

Después del tiempo de descontaminación se retorna al valor característico del METEOSAT-4.

CONCLUSIONES

Se presenta aquí una discusión de una forma de calibración para el canal infrarrojo del METEOSAT en base al dato NOAA. Se trataba de evaluar la exactitud que cabe esperar del método, que queda fijada en un 4%. Sin embargo se advierte que en realizaciones particulares el error puede ser considerablemente más alto (10%).

NOTAS AÑADIDAS EN LA REDACCION DEFINITIVA

Durante el mes de Mayo de 1991 me fue entregada para su revisión final la copia del artículo. Como por estas fechas ya disponía de los datos referentes a los meses de Octubre y Noviembre del año 1990, consideré de interés presentarlos aquí junto con una pequeña discusión sobre los mismos.

DIA	SLOT	M (MIEC) (w/m**2 sr ct)	ERROR (-, infra; + sobre)
90274	16	0.07672	- 0,1%
90276	16	0.07719	+ 3,6%
90295	16	0.08143	+ 9,2%
90298	16	0.08194	+ 10,5%
90299	16	0.08172	- 1,1%
90301	40	0.08224	+ 8,5%
90302	16	0.08373	+ 3%

Durante estos días, previos a la operación de descontaminación, se aprecia la progresiva pérdida de sensibilidad a la que aludía antes, pero en contra de mis suposiciones no se llevó a cabo ningún cambio en el factor de ganancia.

DIA	SLOT	M (MIEC) (w/m**2 sr cT)	ERROR 1	ERROR 2
90304	40	0,04319	- 5,0%	- 2,7%
90308	40	0,04348	- 5,7%	- 2%
90310	40	0,07242	+ 2%	- 0,9%
90311	16	0,07327	+ 1,5%	- 1,6%
90312	16	0,07382	+ 1,4%	- 0,7%
90317	40	0,07487	+ 1,3%	- 1,8%

Los valores de la columna "ERROR 1" corresponden a cuenta de radiancia cero igual a 5. Sin embargo, estos valores eran para esas fechas de 6 para METEOSAT-3 y para METEOSAT-4, después de la operación de descontaminación se fijó en 4. Estos cambios no son habituales y esta es la razón de que pasaran desapercibidos. En un ejercicio de calibración se puede comprobar este valor leyendo el valor de cuenta que corresponde a pixels cuando el radiómetro mira al espacio exterior. Teniendo en cuenta esta corrección obtenemos los valores de la columna "ERROR 2".

Seguramente el usuario de METEOSAT esté interesado en traducir estos errores en la estimación del coeficiente a temperaturas. Digamos que hay dos aspectos. Por un lado, está la propia lectura sobre la recta de calibración que nos da radiancias y que naturalmente depende del valor de los parámetros que definen esta recta. Por otra parte, la conversión de esas radiancias a temperaturas se lleva a cabo mediante las tablas que resultan de calcular el valor de la radiancia del cuerpo negro a una determinada temperatura con la función respuesta del sensor.

$$R(T) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} BB(T, \lambda) f d\lambda$$

La incertidumbre en temperaturas puede estimarse según la expresión:

$$\Delta T = (\Delta M / \bar{M}) / (1/R \cdot DR/DT) - (\bar{M} \cdot \Delta CO) / (DR/DT)$$

El primer término es debido al cambio de valor en la pendiente (coeficiente de calibración) y el segundo al cambio de valor en la cuenta cero.

Los valores de $(1/R \cdot DR/DT)$ y (DR/DT) se calculan a partir de las tablas de calibración. Para IR-1 del METEOSAT-4 tenemos:

T	1/R DR/DT (k ⁻¹)	DR/DT (w/m ² sr k)
170	0,043	0,02
175	0,041	0,024
180	0,039	0,028
185	0,037	0,035
190	0,035	0,033
195	0,033	0,041
200	0,031	0,046
205	0,03	0,051
210	0,028	0,056
215	0,027	0,062
220	0,026	0,068
225	0,025	0,074
230	0,024	0,08
235	0,023	0,086
240	0,022	0,092
245	0,021	0,099
250	0,02	0,105
255	0,019	0,112
260	0,019	0,119
265	0,018	0,126
270	0,017	0,132
275	0,017	0,139
280	0,016	0,146
285	0,016	0,153
290	0,015	0,16
295	0,015	0,167
300	0,014	0,173
305	0,014	0,180
310	0,013	0,187
315	0,013	0,194
320	0,013	0,2

Entonces encontramos que con un error del +4% en el coeficiente y error nulo en la cuenta cero los errores en temperaturas son:

Para una temperatura de 220 k $\Delta T = +1,5$ k

Para una temperatura de 290 k $\Delta T = +2,6$ k

BIBLIOGRAFIA

- BEIROT, N. SCOTT, N.A. CHEDIN, A. and SITBON, P. "Calibration of Geostationary Satellite Infrared Radiometers Using the TIROS-N Vertical Sounder: Application to METEOSAT-1", J.Appl. Meteorol, **21**, 84-89 (1982).
- SCHMETZ, J. "Operational Calibration of the Meteosat Water Vapor Channel by Calculated Radiances", Applied Optics, **28**, 3030-3038 (1989).

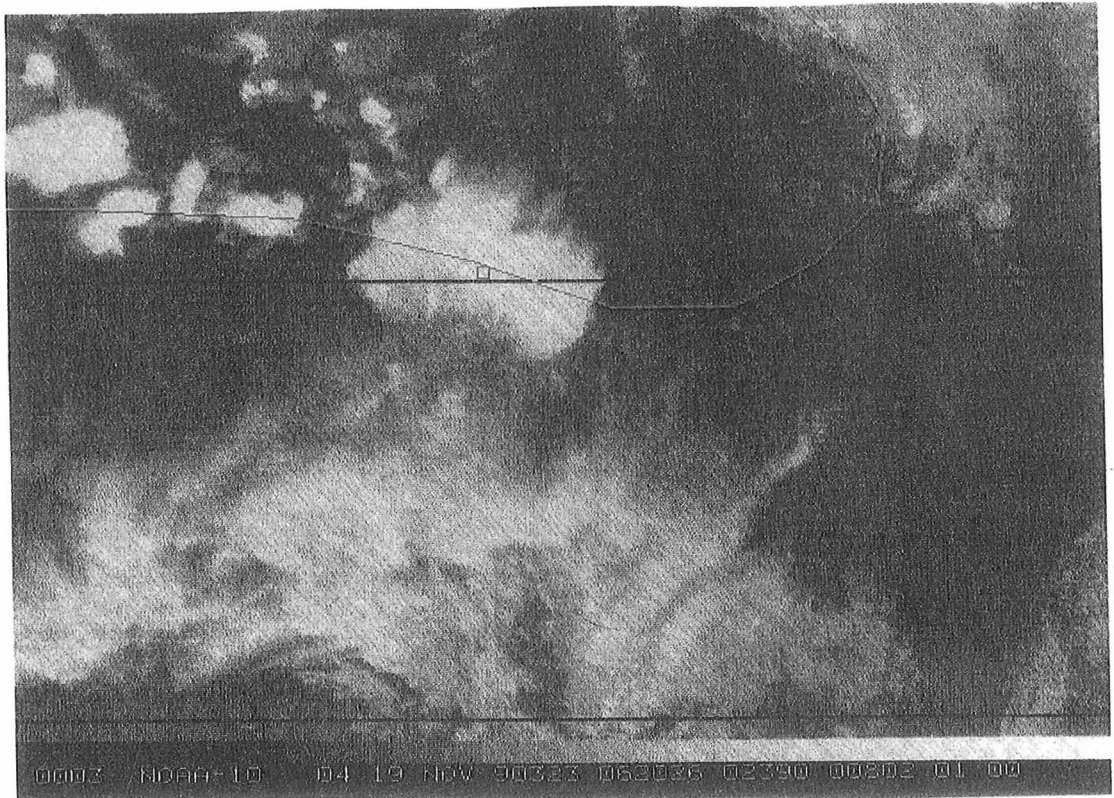
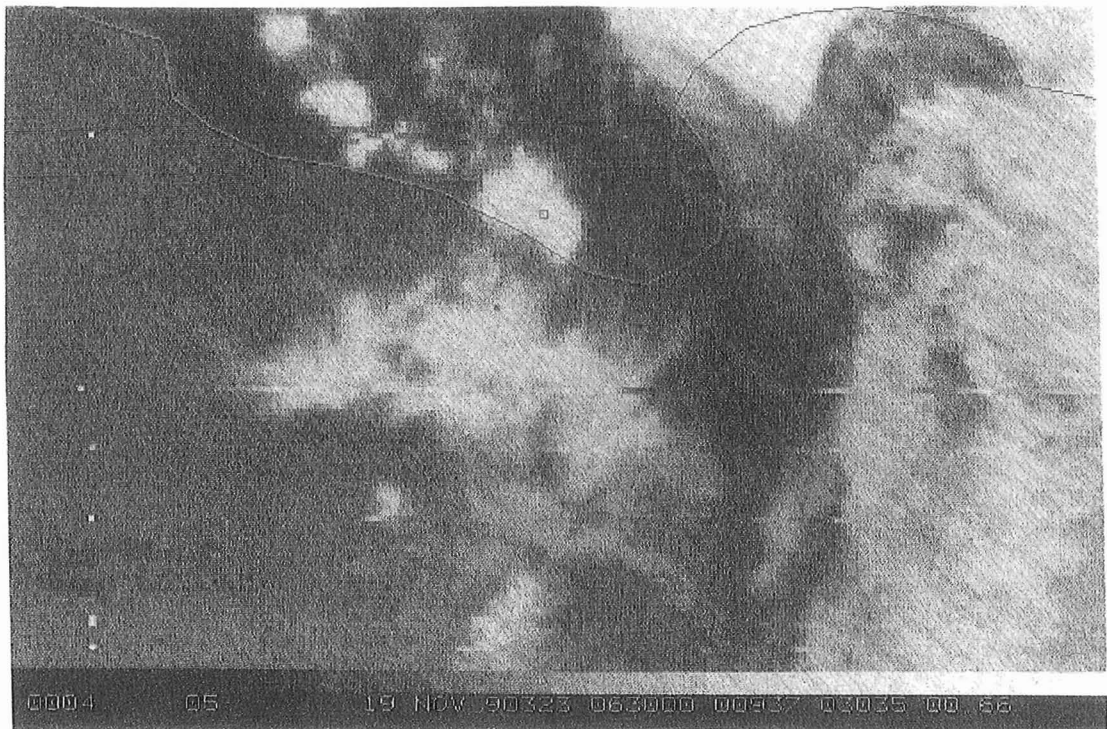
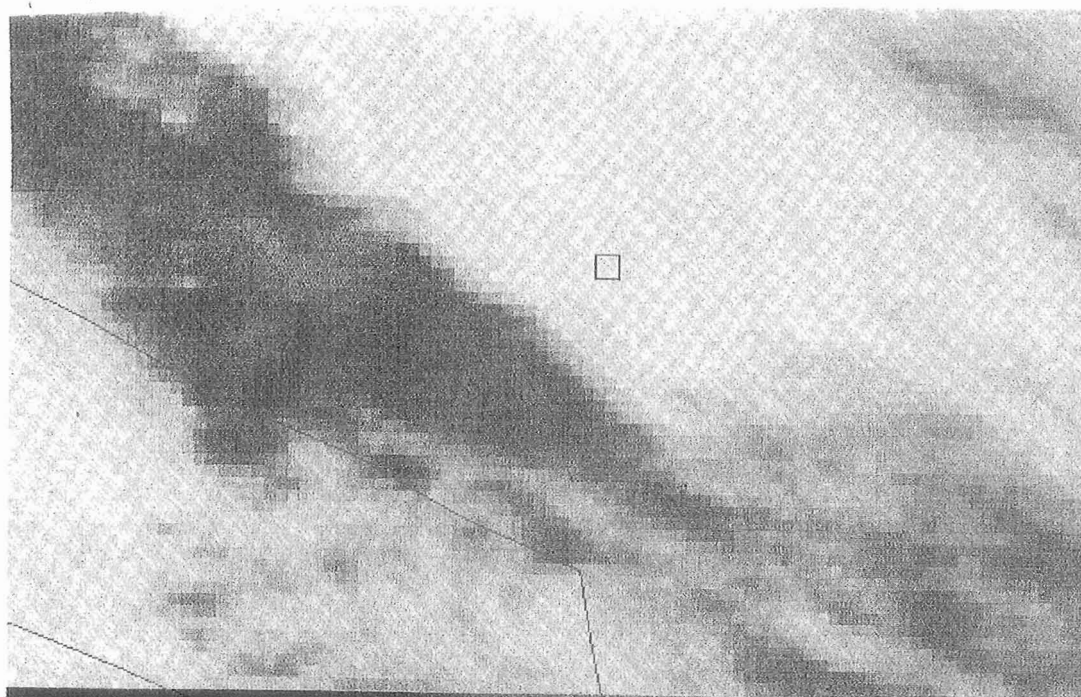
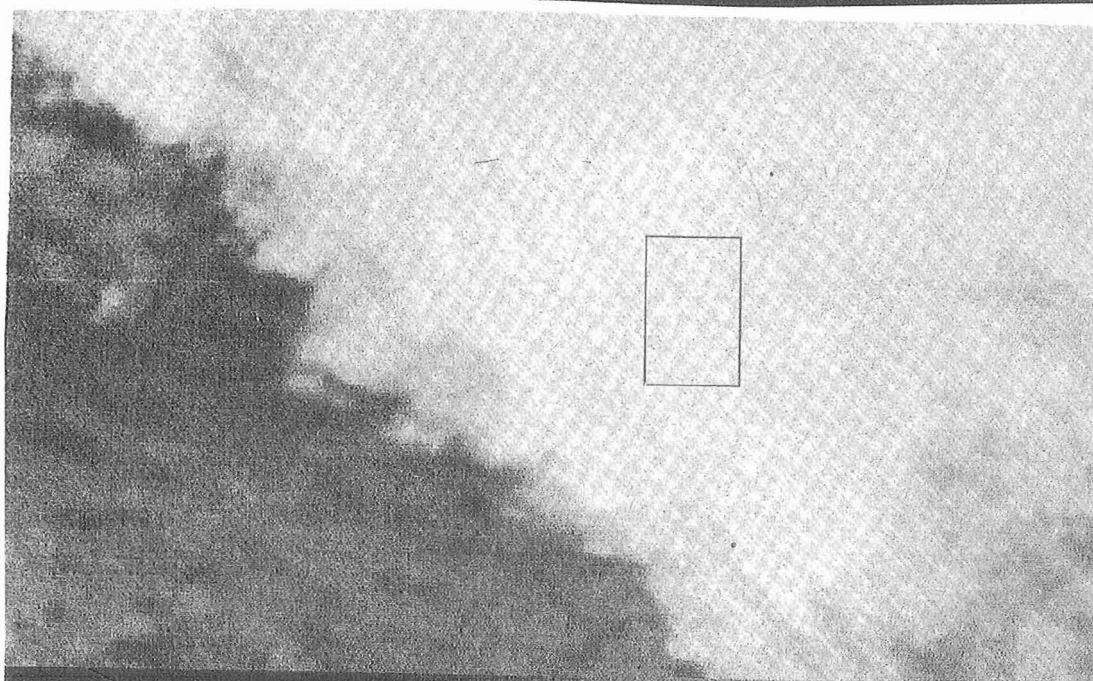


Fig. 1



0002 05 26 NOV 90000 000000 00522 21061 00 20



27 0006 NORF+10 04 28 NOV 90000 005000 01547 01551 00 50

Fig. 2.