

III CONFERENCIA TÉCNICA SOBRE HURACANES Y METEOROLOGÍA TROPICAL TECHNICAL CONFERENCE ON HURRICANES AND TROPICAL METEOROLOGY

México, D. F., Jun. 6-12, 1963

10a. SESIÓN

10th. SESSION

PREDICCIÓN DE HURACANES HURRICANE PREDICTION

LAS BANDAS DE HURACANES COMO PREDICTORAS

JOHN C. FREEMAN, JR. *

RESUMEN

Se revisa una teoría de vientos geociclotróficos en aire húmedo y se postula una relación entre viento y calles de nubes o bandas de huracanes. La aparición de las bandas desde satélites y en radar, se atribuye al movimiento, estructura e intensidad de las tormentas.

En un trabajo conjunto o en una serie de trabajos, el Sr. V. J. Oliver y yo presentaremos una teoría sobre bandas y calles de nubes y algunas pruebas de ella. Esta teoría llenará por lo menos un hueco en el espectro de ondas atmosféricas (estacionarias o de lento movimiento) entre ondas de Helmholtz en capas estables y ciclones de ondas.

En particular, la estructura bandeada en observaciones de tiempo en radar y satélites puede analizarse teniendo estas ondas en cuenta. Hay suficiente fondo físico para dar a una sola fotografía de bandas de nubes una propiedad predictiva y esperamos que el presente trabajo sirva para alentar ensayos de este proceso. Este análisis se basa en la deformación de vientos ciclotróficos y geostróficos resultantes de la pendiente de una capa estable de aire húmedo. Una manera rápida de expresarlo sería por la "fórmula de Margules para aire húmedo". Las bandas de nubes resultantes son paralelas a la deformación del viento. En resumen, el desarrollo teórico es el siguiente:

Consideremos una capa húmeda estable de aire que simplifiquemos postulando una inversión. Investigaremos la forma de esta inversión que produciría una deformación constante del viento (Es conveniente escoger una deformación de viento del oeste para la primera discusión¹).

Si la masa de aire está seca daría la familiar fórmula de Margules:

$$f u = - \frac{\rho - \rho^1}{\rho} \frac{\partial h}{\partial y} = - \frac{\theta^1 - \theta}{\theta} \frac{\partial h}{\partial y}$$

* National Engineering Science Company y Universidad de Sto. Tomás, Houston, Texas.

¹ El viento del oeste aumenta al subir.

HURRICANE BANDS AS PREDICTORS

JOHN C. FREEMAN, JR. *

ABSTRACT

A theory of geocyclostrophic winds in moist air is reviewed and relation between wind and cloud streets or hurricane bands postulated. The appearance of the bands from satellites and radar is related to motion, structure and intensity of the storms.

In a joint paper or a series of papers Mr. V. J. Oliver and I will present a theory of cloud bands and streets and some verification of it. This theory will form at least one complete bridge of the gap in the (stationary or slow moving) atmospheric wave spectrum between Helmholtz waves on stable layers and wave cyclones.

In particular, the banded structure of radar and satellite weather observations can be analyzed with these waves in mind. There is enough physical background to give a predictive property to a single photograph of cloud bands and we hope the present paper will serve to encourage tests of this process. The foundation of this analysis is the geostrophic and cyclostrophic wind shear resulting from the slope of a stable layer of moist air. A quick way of saying it would be "Margules' formula for moist air." The resulting cloud bands are parallel to the wind shear. In summary, the theoretical development is as follows:

We consider a stable moist layer of air which we will simplify by postulating an inversion. We investigate the shape of this inversion that would result in a constant wind shear (It is convenient to choose a west¹ wind shear for the first discussion.)

If the air mass is dry this would give us the familiar Margules' formula

* National Engineering Science Company and the University of St. Thomas, Houston, Texas.

¹ West wind increases as you go up.

como se ilustra en la Figura 1. La inversión puede ser una superficie plana inclinada con una inclinación constante S.

as illustrated in Figure 1. The inversion can be a flat inclined surface with constant slope S.

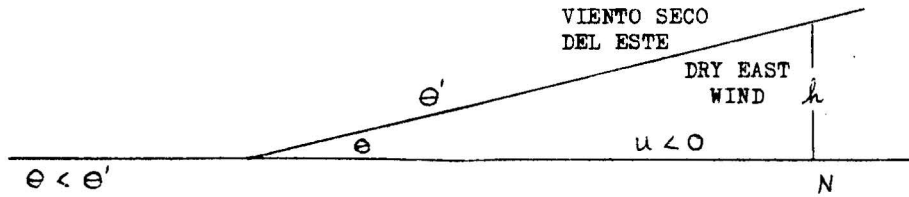


Fig. 1—Una capa estable no-saturada con velocidad constante de viento puede mantener una superficie frontal con una inclinación constante.

Fig. 1—A non-saturated stable layer with constant wind speed can support a frontal surface with constant slope.

Si la capa inferior está húmeda y saturada y la superior no lo está, investigaremos la forma de la frontera requerida para mantener una deformación de viento constante. Encontraremos dos propiedades llamativas e interesantes de la inversión de superficie.

If the lower layer is moist and saturated and the upper one is not saturated we investigate the shape of the boundary required to maintain a constant wind shear. We find two striking and interesting properties of the inversion surface.

- 1) Formará una curva que se inclina más hacia el norte.
- 2) Hay un límite norte para la inversión continua de superficie. Si el viento del este continúa al norte, comenzará una nueva inversión (ver Figura 2).

- 1) It will curve becoming steeper to the north.
- 2) There is a northern limit to the continuous inversion surface. If the east wind continues to the north a new inversion must begin (See Figure 2).

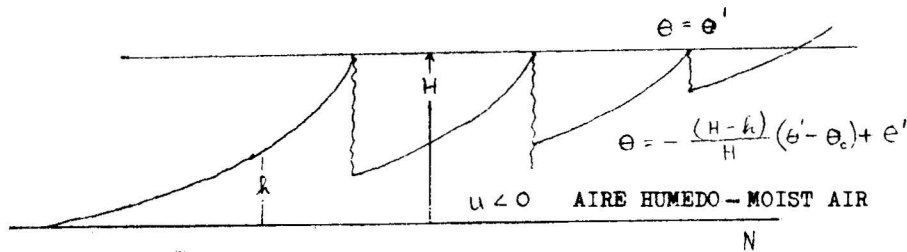


Fig. 2—Una capa saturada estable con velocidad de viento constante tendrá una superficie que se inclinará más al ascender y que tendrá un límite superior. Naturalmente, se esperaría que el aire húmedo continuase subiendo después de H y produjese lluvia.

Fig. 2—A saturated stable layer with constant wind speed will have a surface that gets steeper as it goes higher and has an upper limit. Of course, it would be expected that the moist air would continue to rise past H and result in rain.

Se acepta generalmente en oceanografía y en menor grado en meteorología (y ha sido comprobado por el autor; ver Freeman, Baer y Jung, 1957), que siempre existe un equilibrio casi geostrófico en los vientos y sistemas de corrientes. Así, vemos que teniendo capas húmedas estables y deformación de viento las bandas de nubes más altas (o bandas de nubes-no nubes en la mayoría de las situaciones) son una consecuencia natural del equilibrio geostrófico. La inversión curva y la punta norte de la inversión son consecuencias del proceso adiabático húmedo. Si suponemos que el aire se ha mezclado lo suficiente para que el índice de lapso sea adiabático entonces la diferencia en temperatura potencial entre aire húmedo y seco dependería de la altitud. La diferencia disminuiría con la altura. Así, si $u = \text{constante}$,

It is a generally accepted fact in oceanography and to a lesser extent in meteorology (and has been proven by the author; see Freeman, Baer, and Jung, 1957) that there is always a very nearly geostrophic balance in the winds and current systems. Thus, we see that if we have stable moist layers and wind shear that bands of higher clouds (or bands of clouds-no clouds in most situations) are a natural consequence of the geostrophic balance. The curved inversion and the northern end to the inversion are consequences of the moist adiabatic process. If we assume the air has been mixed around enough that the lapse rate is adiabatic then the difference in potential temperature between the moist and dry air would depend on the altitude. The difference would decrease with height. Thus, if $u = \text{constante}$, $f = \text{constante}$, the only way to keep $f u = -\frac{\theta^1 - \theta}{\theta}$

$f = \text{constante}$, la única forma de mantener $f u = -\frac{\theta^1 - \theta}{\theta}$

$\frac{\partial h}{\partial y} = \text{constante}$, es hacer que $\frac{\partial h}{\partial y}$ aumente a medida

$f = \text{constante}$, the only way to keep $f u = -\frac{\theta^1 - \theta}{\theta}$

$\frac{\partial h}{\partial y} = \text{constante}$ is to have $\frac{\partial h}{\partial y}$ increase as $\theta^1 - \theta$ de-

que $\theta^1 - \theta$ disminuye. Esto da la superficie curva. Cuando $h = H$ para que $\theta = \theta^1$ ya no hay forma de equilibrar $f u$ con esta inversión y debe comenzarse una nueva como en la Figura 2.

Existen dos zonas evidentes de deformación vertical de viento geostrófico en un huracán: (1) Hay una deformación ciclónica de viento entre el aire frenado por el agua y la corriente principal del huracán. Esto es difícil de observar, pero se ha postulado que tiene varios cientos de pies de espesor. No hay más capa estable evidente que la proporcionada por el océano fresco; (2) Existe la deformación anti-ciclónica con un máximo de 20,000 a 30,000 pies. La capa estable para esta deformación sería probablemente la "cima" de los alisios o la capa húmeda en el flujo tropical ordinario.

El grupo inferior de bandas sería casi paralelo a los vientos de superficie y para poderse sostener en una forma constante, deberán moverse hacia el centro (es decir, de izquierda a derecha) más rápidamente que los vientos de "superficie" (o vientos inferiores a la capa estable).

creases. This gives the curved surface. When $h = H$ so that $\theta = \theta^1$ there is no longer any way to balance $f u$ with this inversion and a new one must start as shown in Figure 2.

There are two obvious zones of vertical geostrophic wind shear in a hurricane: (1) There is the cyclonic wind shear between the air slowed down by the water and the main flow of the hurricane. This is difficult to observe but is postulated to be a few hundred feet thick. There is no obvious stable layer for it other than that provided by the cool ocean; (2) There is the anti-cyclonic shear with a maximum at 20,000 to 30,000 feet. The stable layer for this shear would likely be the "top" of the easterlies or moist layer in ordinary tropical flow.

The lower set of bands would be very nearly parallel to the surface winds and in order to be sustained in a constant form must be moving toward the center (i.e., from left to right) faster than the "surface" winds (or the winds below the stable layer).

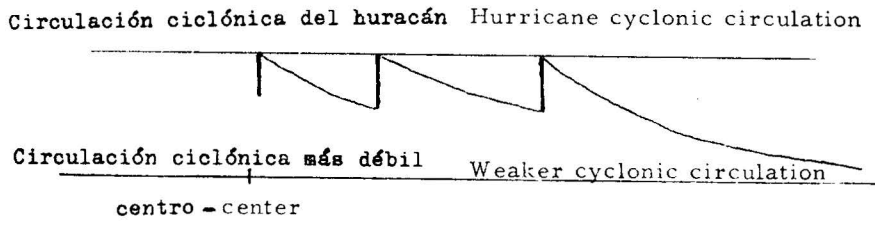


Fig. 3—La circulación ciclónica más débil de los niveles inferiores produce bandas si la pared de nubes mira al interior.

Fig. 3—The weaker cyclonic circulation of the lower levels results in bands with the cloud wall facing inward.

Ya que parece haber muy poco aire claro debajo de las nubes en un huracán y que el contenido de humedad sería muy alto y la estabilidad muy baja, podríamos suponer que las ondas son cortas (3-10 millas de longitud de onda).

Estas ondas representarían muy buenas líneas de corriente de bajo nivel y su incidencia o no-incidencia daría información adicional sobre la tormenta. Por ejemplo, en una tormenta estacionaria se podría esperar que estas bandas se enrollasen hacia adentro alrededor de la tormenta a una velocidad muy próxima a la circulación principal del huracán.

Si hay una componente "delantera" en la corriente principal, el proceso de formación de bandas será mucho más activo en el "lado derecho" de la tormenta.

Las bandas podrían ser estacionarias respecto a la configuración por atrás de la tormenta y avanzar rápidamente al interior frente a la tormenta. Por ello, podríamos esperar que las bandas de bajo nivel se disipasen o moviesen más lentamente que la tormenta sobre el borde principal y ser estacionarias o retardarse tras la onda.

También podríamos esperar que la longitud de onda de bandas de bajo nivel fuera más larga en el lado izquierdo de la tormenta con vientos débiles que en el lado derecho con vientos fuertes. De hecho, estas bandas serían isobaras de bajo nivel bastante buenas.

Since there seems to be very little clear air below clouds in a hurricane and the moisture content would be very high and the stability very low, we would expect these to be very short waves (3-10 mile wave length).

These waves should make very good low level stream lines and their occurrence or non-occurrence should give extra information about the storm. For example, in a stationary storm you would expect these bands to spiral inward all around the storm at a rate very close to the speed of the main hurricane circulation.

If there is a "forward" component in the main flow the band formation process will be much more active on the "right side" of the storm.

The bands could be stationary with respect to the pattern behind storm and moving inward rapidly ahead of the storm. Thus we would expect low level bands to dissipate or move slower than the storm on the leading edge and to be stationary or lagging behind the wave.

Also, we expect the wave length of low level bands to be much longer on the left side of the storm with weak winds than on the right side with strong winds. In fact, these bands should make fairly good low level isobars.

La capa estable de alto nivel puede considerarse como una frontera superior de la circulación del huracán. Como primera aproximación supondremos que hay una celda baja sobre la circulación del huracán, abajo de la capa estable, pero que la deformación de viento vertical es anticiclónica.

En este caso las bandas tienen la forma indicada en la Figura 4.

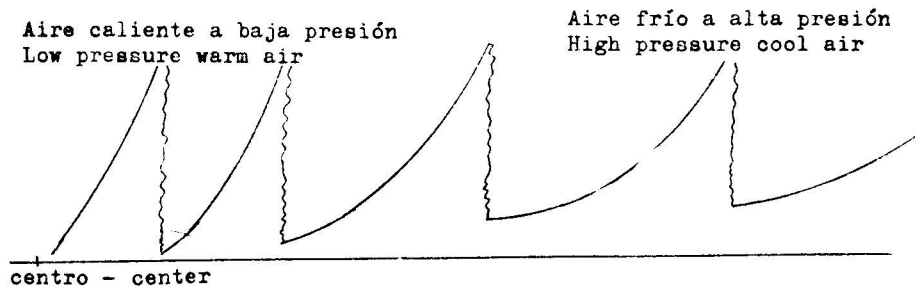


Fig. 4—La circulación ciclónica más fuerte en la circulación principal de huracán produce bandas si la pared de nubes mira al exterior.

Las bandas son tal vez las bandas espiraladas TIROS. Son paralelas a la diferencia entre la circulación de aire superior y la circulación principal de huracán. El afilado borde principal es probablemente una región donde la alimentación de aire húmedo pasa de capas inferiores a superiores y tal vez causa un baja cálida en capas superiores. Se espera que estas bandas tuviesen una longitud de onda de 15-100 millas, dependiendo de la deformación y diferencia de temperatura.

En una tormenta estacionaria estas bandas se enrollarán lentamente hacia afuera de la tormenta.

En una tormenta progresiva estas bandas predominarán y podrían moverse con ella en el cuadrante anterior de la tormenta, quedándose atrás de la tormenta a su comienzo o se disiparán.

Estas bandas son paralelas a la deformación y mientras mayor sea más cercanas estarán las bandas, hasta que representen buenas isotermas con la parte cálida cerca del centro de la tormenta.

Con lo anterior, podemos hacer el siguiente breve comentario acerca de las cualidades predictivas de las bandas de huracanes:

Un estudio de las bandas de bajo nivel de una tormenta fuera de la costa podría darnos una idea del campo de viento instantáneo a la derecha de la tormenta, especialmente el fuerte campo de viento y el siguiente campo de viento.

Como cada vez tenemos más confianza en nuestras predicciones a niveles superiores y consideramos que la escala de corriente de aire superior es mayor y las corrientes más estables, las bandas de tronadas desde satélites y radares nos deberían dar una buena idea de la circulación principal de huracanes comparada con la circulación de aire superior.

Estas ideas se ilustran en las Figuras 5 a 8.

The high level stable layer can be considered as an upper boundary to the hurricane circulation. As a first approximation we will assume there is a low cell above the hurricane circulation under the stable layer but that the vertical wind shear is anti-cyclonic.

In this case the bands have the shape indicated in Fig. 4.

Fig. 4—The stronger cyclonic circulation in the main hurricane circulation results in bands with the cloud wall facing outward.

The bands are very likely the TIROS spiral bands. They are parallel to the difference between the upper air circulation and the main hurricane circulation. The sharp leading edge is likely to be a region where moist air is feeding from low layers to upper layers and probably causing a warm low in the upper layers. These bands would be expected to have a wave length of 15-100 miles, depending on the shear and the temperature difference.

In a stationary storm these bands would spiral slowly outward from the storm.

In a progressive storm these bands would predominate and be able to move with the storm in the forward quadrant of the storm. They would fall behind the storm in its wake or would be likely to dissipate.

These bands are parallel to the shear and the greater the shear the closer the bands, so they should make pretty good isotherms with the warm spot near the middle of the storm.

With this background we get to a brief comment concerning the predictive qualities of hurricane bands.

A study of the low level bands of an offshore storm should give us some idea of the instantaneous wind field, especially the strong wind field to the right of the storm and the following wind field.

Since by and large we have more confidence in our upper level predictions and we feel the scale of upper air flow is larger and that the flows are more stable, the bands of thunderstorms from radar and satellites should give us a good idea of the main hurricane circulation as compared with the upper air circulation.

These ideas are illustrated in Figures 5 through 8.

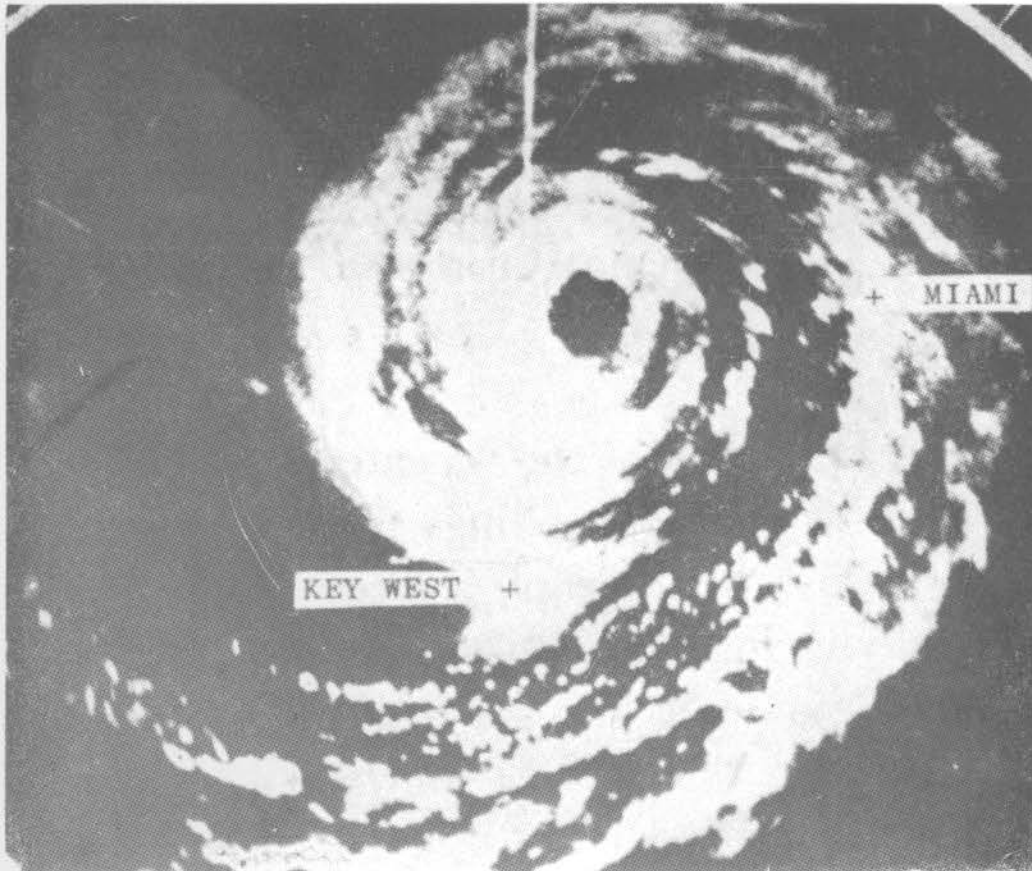


Fig. 5—Bandas con longitud de onda de 40 a 50 millas enrollándose a longitud de onda de 20 millas. Nótese la longitud de onda de 5 a 10 millas detrás de la tormenta. Tomado de Bigler, Hester y Wells.

Fig. 5—Bands of 40 to 50 mile wave length spiraling in to 20 mile wave length. Note the 5 to 10 mile wave length behind the storm. Taken from Bigler, Hexter and Wells.

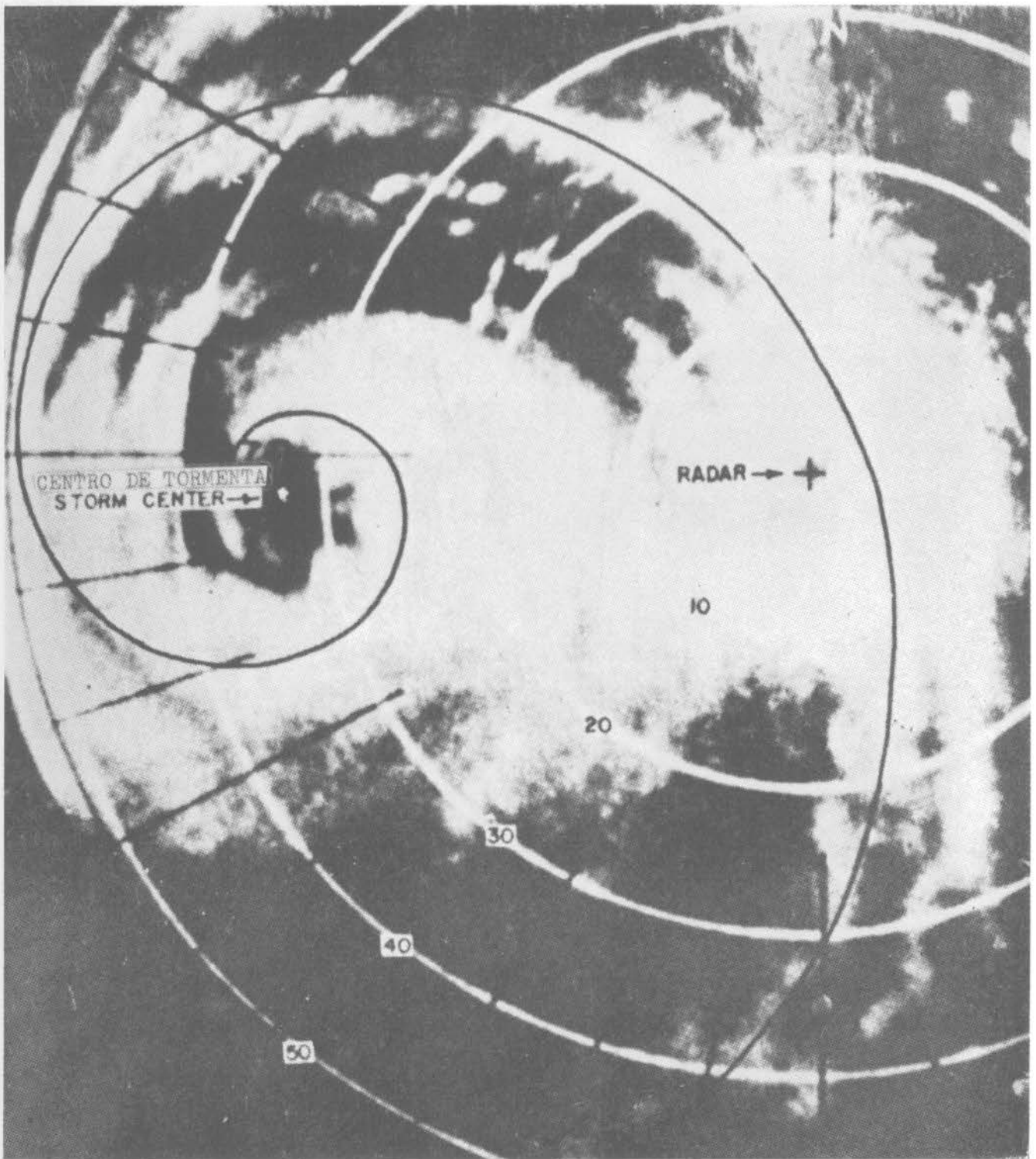


Fig. 6—Banda con longitud de onda de 2 a 5 millas. Tomada de Senn y Hiser.

Fig. 6—Band of 2 to 5 mile wave length. Taken from Senn and Hiser.

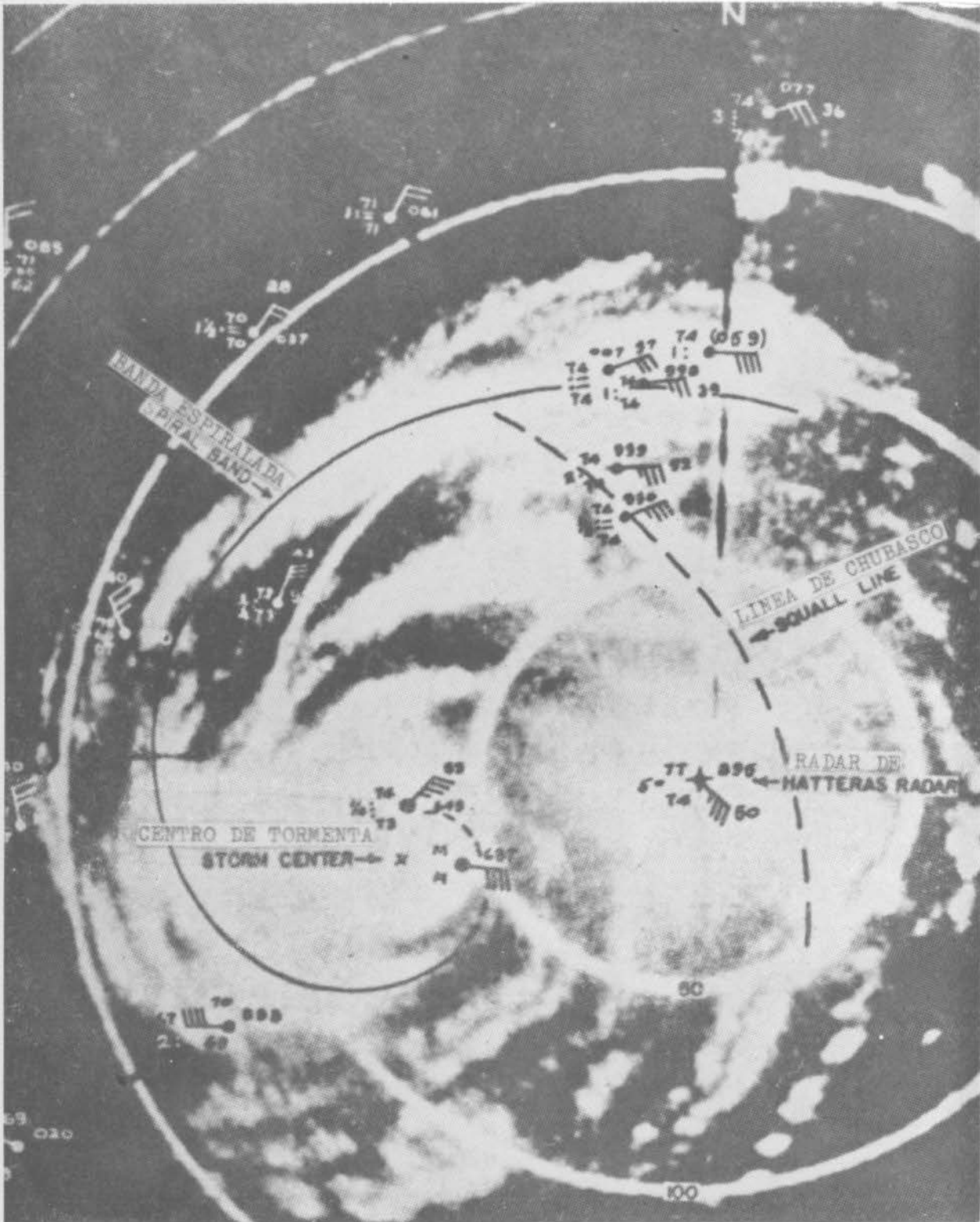


Fig. 7—La misma tormenta de la Figura 6 mostrando bandas de 50 millas de longitud de onda. Tomada de Senn y Hiser.

Fig. 7—The same storm as Figure 6 showing bands of 50 mile wave length. Taken from Senn and Hiser.

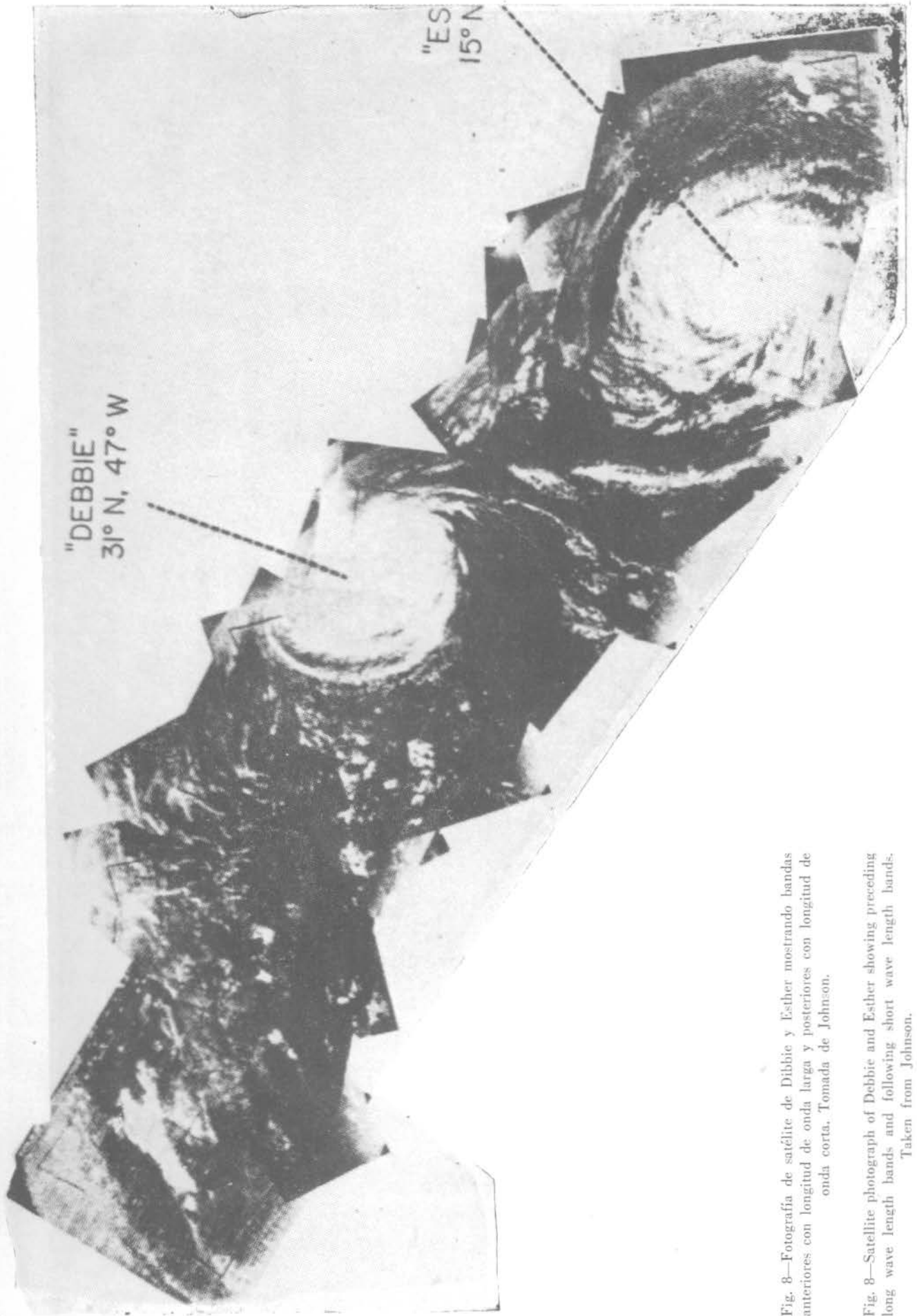


Fig. 8—Fotografía de satélite de Debbie y Esther mostrando bandas anteriores con longitud de onda larga y posteriores con longitud de onda corta. Tomada de Johnson.

Fig. 8—Satellite photograph of Debbie and Esther showing preceding long wave length bands and following short wave length bands. Taken from Johnson.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAPHY

- BIGLER, S. G., P. C. HESTER, JR., & F. E. WELLS. 1962. The Radar Program of the U. S. Weather Bureau. *Bull. American Meteor. Soc.*, 43(11):
- FREEMAN, JR. J. C. s.f.-n.d. Cloud Streets and Geostrophic Winds (inédito-unpublished).
- FREEMAN, JR. J. C., L. BAER & G. H. JUNG. 1954. The Bathystrophic Storm Tide. *Sears Foundation Jour. Marine Res.*, 16(1):
- JOHNSON, S. 1962. Satellites and Weather Forecasting. *Proc. Second Natl. Confer. Peaceful Uses of Space*, NASA SP-8.
- SENN, H. V. & H. W. HISER. s.f.-n.d. Tracking Hurricanes with Radar, *Proc. Sixth Weather Radar Confer.* (Disponible en el Inst. Tecnol. de Massachussets, Available from Massachussets Inst. of Technol.).